Montage 30 : Acoustique

Par Guillaume Follet, présenté le 5 Mai 2017.

Introduction

Dans ce montage, nous allons donc étudier les ondes acoustiques. Les ondes acoustiques sont des ondes infrasonores, sonores et ultrasonores qui peuvent se propager dans n'importe quel milieu, fluide ou solide à une vitesse dépendant du milieu.
On va réaliser différentes expériences afin de déterminer les propriétés des ondes acoustiques.
Tout d'abord, nous allons mesurer la fréquence d'un diapason surchargé, puis nous allons étudier la célérité des ondes sonores dans deux milieux, l'air et l'aluminium, nous allons ensuite étudier les interférences de deux ondes ultrasonores et enfin nous verrons la diffraction des ondes ultrasonores par une fente.

<u>I - Mesure de fréquence par phénomène de battement</u>

Non pertinent : le phénomène de battement n'est pas lié aux ondes acoustiques.

Nous avons un diapason surchargé dont on cherche la fréquence. Nous allons pour cela utiliser le phénomène de battement.

Le battement est présent quand on a addition de deux ondes de fréquences fondamentales proches. Si on additionne deux ondes de pulsation w1 et w2, on remarque une onde résultante de cette forme comprenant deux sinus. L'un portant une pulsation égale à la moyenne des pulsations et l'autre à la moitié de la différence des deux pulsations.

On va donc prendre un diapason équilibré dont la fréquence est connu et vaut 440 Hz. Nous allons exciter les deux diapasons en même temps, ces diapasons sont équipés d'une caisse de résonance afin d'amplifier la vibration, et nous allons regarder ce que l'on observe en sortie d'un microphone relié à un oscilloscope.

En regardant sur l'oscilloscope, on voit bien un signal de sortie représentant deux sinusoïdales. Nous mesurons à l'aide des curseurs la période correspondant à la sinusoïde de basse fréquence

On mesure T' =

L'incertitude de la mesure vient de la lecture sur l'oscilloscope

Nous pouvons calculer la différence de pulsation entre le diapason surchargé et le diapason équilibré.

Dw = 4pi/T' =
On propage l'incertitude de T' sur Dw, ce qui donne d(Dw) = 4pi d(T') / (T')^2

On a donc la différence de fréquence Df = Dw/2pi
L'incertitude vaut d(Df) = d(Dw)/2pi

Pour savoir si la fréquence du diapason surchargé est plus petite ou plus grande que la fréquence du diapason équilibré, il y a un moyen très simple. On écoute le son des deux diapasons, on remarque que le diapason surchargé a un son plus grave que le diapason équilibré. Donc, la fréquence du diapason surchargé est plus petite que la fréquence du diapason équilibré.

Soit f2 = f1 - Df = 440 - =

On a donc trouvé la fréquence d'un son de fréquence inconnu grâce au phénomène de battement. Une autre caractéristique des ondes acoustique que l'on peut étudier est la célérité. Tout d'abord, nous cherchons à mesurer la célérité dans l'air puis dans l'aluminium.

II - Mesure de la célérité des ondes acoustiques

1 - Célérité dans l'air

Nous avons un émetteur d'ondes ultrasonores, composé d'un cristal piezoélectrique, qui fonctionne à une fréquence optimale de 40 kHz, c'est à dire où il y a résonance du cristal, que l'on alimente avec un GBF qui envoie des trains d'ondes composé de 3 cycles et d'une période de 5 ms. On a également un récepteur d'ondes ultrasonores.

On relie l'émetteur à la voie 1 d'un oscillateur et le récepteur à la voie 2. On va donc observer le décalage temporel entre le signal émis et le signal reçu, ce qui correspond au temps que met le signal pour parcourir la distance émetteur-récepteur.

On prend 2 points, un à l'abscisse x1 et l'autre à l'abscisse x2. On mesure donc le décalage pour chaque abscisse. C'est une mesure par temps de vol.

x1 = Dt1 = x2 = Dt2 =

Les incertitudes sur l'abscisse sont dus à la mesure avec une règle, les incertitudes sur le décalage temporel sont dus à la lecture sur l'oscilloscope.
On peut donc facilement relier ces grandeurs à la vitesse des ultrasons dans l'air :

c = (x2-x1)/(Dt2-Dt1)
Avec la propagation des incertitudes, on a Dc =

On peut le comparer avec la valeur théorique, c = racine ((gamma*R*T)/M)
Gamma = 1,4 ; R = 8,314 J/mol.K et M = 0,029 kg/mol

2 - Célérité dans l'aluminium

On dispose d'une barre d'aluminium de 61,0 cm de long, avec une incertitude de 0,1 cm du a la mesure à la règle, on place de chaque côté deux microphones reliés à un oscilloscope. L'idée de la mesure est la même que précédemment, c'est à dire que l'on va mesurer le décalage temporel pour calculer ensuite la célérité. On n'utilise pas les ondes ultrasonores car il y a un problème d'impédance acoustique. C'est à dire que la différence d'impédance est trop forte, il faut adapter l'impédance si on veut utiliser ces ondes. On choisit donc de taper sur la barre pour créer des ondes sonores.

On mesure Dt =
L'incertitude est du à la lecture sur l'oscilloscope.
Comme il y a des incertitudes sur l'endroit où mettre les curseurs (au début de la montée, au milieu, …), il faut faire plusieurs mesures et en tirer une moyenne avec un écart type.
On a donc c = Dt/L =
Avec la propagation des incertitudes Dc =

On peut comparer cette valeur avec la valeur théorique. La célérité transverse dans un métal s'écrit cth = racine (E/p) où E = 69 GPa est le module d'Young, une constante lié à la compression du métal et p = est la masse volumique.

Soit cth = 5055 m/s

On peut enfin remarquer que la célérité du son dans un métal, en l'occurrence l'aluminium, est largement supérieur à la vitesse du son dans l'air.

Nous avons donc pu mesurer la célérité des ondes dans deux milieux différents. On va maintenant étudier deux propriétés liés à la propagation des ondes dans l'air, les interférences entre deux ondes ultrasonores et la diffraction d'une onde ultrasonore par une fente.

III - Propriétes de la propagation

1 - Interferences à deux ondes

On dispose d'un source d'ondes ultrasonores de fréquence 40 kHz et d'un récepteur relié à un oscilloscope. Entre l'émetteur et le récepteur, on place deux fentes espacés de 5 cm. On a une configuration analogue aux fentes d'Young. On va donc ici voir si les propriétés des ondes lumineuses, notamment la valeur de l'interfrange se retrouve dans le cas d'ondes ultrasonores.

On place le récepteur à une distance fixe du milieu des deux fentes. On déplace le récepteur suivant un arc de cercle. On va donc mesurer la position où l'amplitude reçu est maximale.

On a donc les positions suivantes

x1 = x2 = x3 = x4 = x5 =
Les incertitudes sont du à la mesure à la règle.

On peut donc calculer l'interfrange i = (x5-x1)/4 =
Avec la propagation des incertitudes, on a Di =

On compare cette valeur avec la valeur théorique. Dans le cas des fentes d'Young, on a i = Lambda D / a
où lambda = c/40000 = ; D = 34.5 cm ; a = 5 cm

On en déduit que les deux valeurs sont proches, donc les ondes ultrasonores et les ondes lumineuses ont un comportement similaires face à des fentes d'Young

Application : Casque actif, anti bruit. Le casque va créer le son extérieur déphasé de pi, il va y avoir des interférences destructives. Le bruit extérieur sera annihilé dans le casque.

2 - Diffraction par une fente

Non pertinent de faire Interf + Diffraction

Comme précédemment, on dispose d'un émetteur et d'un récepteur d'ultrasons. On place entre les deux une fente de largeur réglable. On va également voir les les propriétés de la diffraction des ondes ultrasonores sont les mêmes que pour la diffraction des ondes lumineuses.

Pour cela, nous allons mesurer la largeur du pic central de diffraction. En effet, en regardant l'amplitude du signal reçu, on remarque le comportement du type sinus cardinal carré. On a donc un pic central dont on peut mesurer la largeur.

On choisit donc a = et on a L1 et L2 de chaque côté du 0, donc L=L1+L2
Les incertitudes sont dus aux mesures faites avec une règle.

En préparation, nous avons réalisés plusieurs points pour plusieurs valeurs de largeur de fente.
On va donc comparer ces points avec la formule théorique de la largeur du pic de diffraction qui vaut L=(2*Lambda*D)/a

Pour cela, on utilise un code en langage python, où on importe notre fichier de données, on inverse la valeur de a, pour pouvoir faire une régression linéaire. On trace les points et la régression linéaire.

On en déduit que les ondes ultrasonores ont un comportement similaire face à une fente que les ondes lumineuses.

Conclusion

Au cours de ce montage, nous avons pu voir différentes caractéristiques des ondes acoustiques, tout d'abord, la fréquence et la vitesse des ondes acoustiques. Enfin, nous avons vu que les lois des ondes lumineuses s'appliquent également aux ondes acoustiques, nous en avons vu deux, les interférences et la diffraction par une fente.

Bibliographie

Physique expérimentale aux concours de l'enseignement : Électricité, électromagnétisme, électronique, acoustique, Jean-Paul Bellier, Dunod.
Dictionnaire de physique expérimentale Tome 1 La Mécanique, Lucien Quaranta, Editions Pierron.

Autres manipulations possibles

Résonance acoustique avec un tube
Resonateur de Helmholtz
Effet Doppler avec l'échographie doppler comme application
Ondes guidés