

M25 : Mesure des fréquences temporelles (domaine de l'optique exclu)

Sou Anne-Lyse
20 Novembre 2015

Les V suivi de parenthèses sont en fait des racines carrées, désolée je n'avais pas la bonne version de traitement de texte sous la main.

Introduction :

Qu'est-ce qu'une fréquence ? Il s'agit du nombre de fois qu'un événement périodique se produit par unité de temps de mesure. D'un point de vu mathématique la fréquence est l'inverse d'une période. La fréquence de répétition de certains phénomènes permet de mesurer une durée par exemple l'arrivée du solstice d'hiver permettait aux hommes de savoir qu'une année s'était écoulée. Une mesure de fréquence d'un oscillateur se fait toujours par comparaison à partir d'un autre oscillateur qui est sert donc d'étalon de mesure. Il s'agit souvent du temps mesuré par des pendules (mouvement de balancier ou bien oscillateur à quartz), des chronomètres ou même des cadrans solaires si on remonte plus loin dans l'histoire. Bien évidemment en fonction de l'étalon la mesure est plus ou moins précise, il est évident que l'horloge atomique donne une bien meilleure précision qu'un cadran solaire. Toutefois l'intérêt de mesurer une fréquence provient avant tout de la précision qu'offre cette mesure qui peut ensuite être répercuté sur la mesure d'autres grandeurs (masse, longueur ...) comme nous le verrons par la suite.

Dans ce montage nous allons nous concentrer sur des dispositifs qui sont présents dans tout laboratoire d'enseignement et que par conséquent tout le monde a déjà utilisés pour diverses occasions. Nous allons plus précisément nous intéresser aux mesures de fréquences de ces oscillateurs : le pendule simple, la corde vibrante et le diapason.

I) Mesure d'une fréquence

A) Avec le temps comme étalon :

Pour mesurer une fréquence le plus intuitif est de compter le nombre de fois ou se produit un événement en déclenchant un chronomètre. On va mesure la fréquence d'oscillation d'un pendule.

Matériel :

2 chronocompteurs
1 fourche optique
1 dispositif de pendule pesant

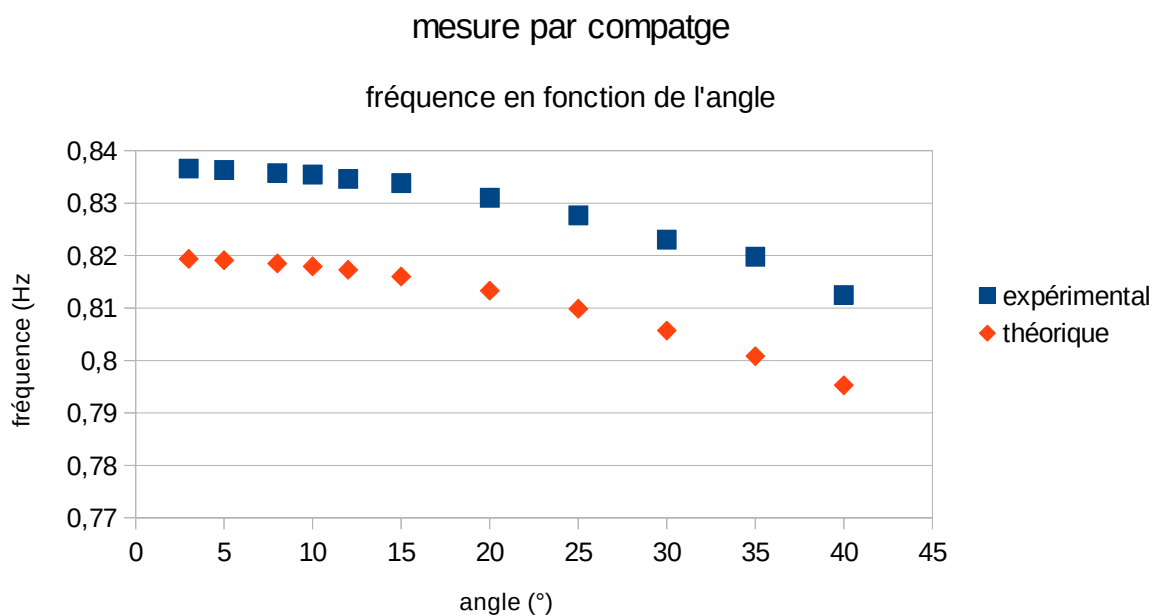
Expérience :

On compte le nombre de fois que le pendule passe par sa position d'équilibre avec l'un des chronocompteur pendant que l'autre sert de chronomètre (il faut appuyer sur neutralisation pour celui qui sert de chronomètre après le déclenchement de celui ci lors du premier passage du pendule devant la fourche). Il est nécessaire de mesurer plusieurs périodes afin d'avoir un résultat

plus précis. Deux passages du pendules devant la fourche correspondent à une période cependant pour accéder à une période il faut $2n+1$ passage car au début le pendule déclenche le comptage mais il faut 2 passages de plus pour l'oscillation.

En préparation faire la mesure pour plusieurs angles et on retrouve l'isochronisme des petits angles en traçant la fréquence en fonction de l'angle.

On peut comparer avec la théorie grâce à la formule de Borda : $T(\theta_0) = T_0(1 + \frac{\theta_0^2}{16})$



Attention on voit un décalage des deux courbes même si l'allure est la bonne ! Cela provient sûrement de T_0 qui est la période pour un pendule simple or ce n'est pas ce qui a été utilisé ! Il faut donc parler de ça et du moment d'inertie de ce dispositif. Le calcul peut être mené ou non mais il faut savoir en parler.

=> Calcul pour un pendule pesant : (Pour simplifier il vaut mieux prendre un pendule constitué uniquement de la barre).

bilan des forces : Poids et Réaction de l'axe

TMC : $M(P) = -m g l \sin\theta = I \theta''$

$\omega_0 = \sqrt{mgl/I}$ avec $I = 1/12 ml^2$

B) Utilisation du stroboscope comme étalon :

On va comparer la fréquence de vibration d'une corde par rapport à la fréquence d'éclairement d'un stroboscope.

Matériel :

dispositif corde de Melde

stroboscope

Expérience :

On fait vibrer la corde, afin de mieux voir le phénomène il est préférable de se placer à la résonance où l'amplitude sera maximale. Lorsque le stroboscope atteint la même fréquence que la corde, cette dernière n'est plus censée bouger.

/!\ Pour le calcul d'incertitude ici il vaut mieux faire une incertitude statistique en reproduisant l'expérience plusieurs fois.

II) Applications de la mesure de fréquence pour trouver d'autres grandeurs

A) Mesure indirecte d'une masse

Si on pose une masse considérée comme ponctuelle sur l'une des branches d'un diapason on observe une diminution de la fréquence de résonance. Il y a linéarité du déplacement en fréquence avec la masse ainsi on peut s'en servir comme d'une balance. Grâce à ce principe il a été possible de peser de très petits objets tels que des cellules (pas avec un diapason d'autres oscillateurs).

Matériel :

1 diapason qu'on peut désaccorder en mettant des masselottes

1 micro relié à un système d'acquisition (ordinateur ou oscilloscope selon ce avec quoi vous êtes le plus à l'aise).

En préparation on relève les fréquences correspondantes à différentes masses permettant de tracer une droite d'étalonnage. Pour faire l'acquisition de la fréquence on utilise certains critères pour avoir le maximum d'information.

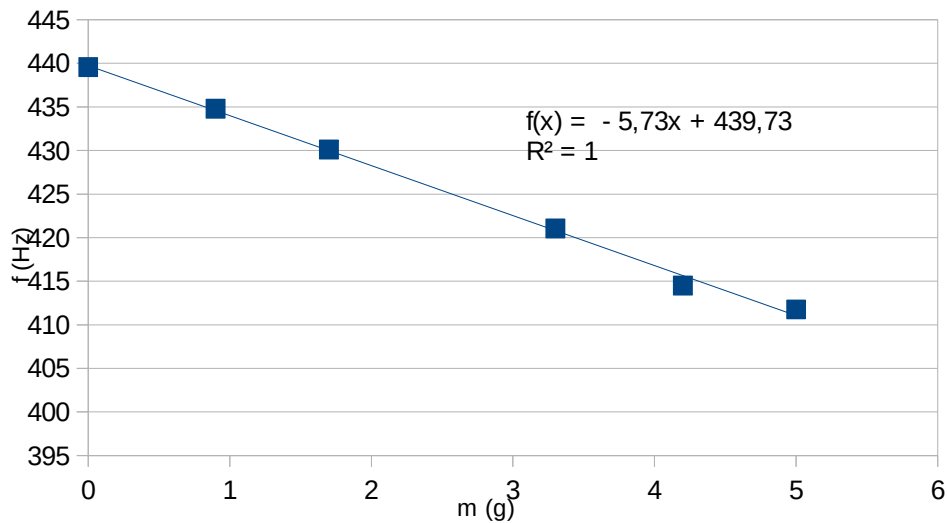
Critère de Shannon : f_e (échantillonnage) = $2 f_s$ (signal)

l'incertitude nous donne le temps d'acquisition: $\delta f = 1/T_a$.

Pour le calcul d'incertitude il faut passer par regressi qui va donner l'incertitude sur le coefficient directeur et l'ordonnée à l'origine de la droite en connaissant l'incertitude sur la masse et la fréquence.

On peut alors retrouver une masse inconnu à partir d'une fréquence.

Trouver une fréquence par comparaison fréquence en fonction de la masse



B) Mesure indirecte d'une vitesse de mobile

Matériel :

1 émetteur d'ultrason

1 récepteur d'ultrason

1 mobile sur un banc à coussin d'air pourvu d'un écran sur lequel peut se réfléchir le signal

1 GBF

1 multiplieur sur lequel on envoie le signal reçu par le récepteur et le signal émis

1 fourche optique pour déclencher l'acquisition

1 oscilloscope ou un ordinateur

Pour connaître la fréquence à utiliser pour l'émetteur il faut tester à quelle fréquence le signal reçu par le récepteur est le plus important (on place l'émetteur et le récepteur l'un en face de l'autre).

Utilisation de l'effet Doppler.

On utilise un multiplieur afin d'observer 2 fréquences très proches, on va observer une enveloppe de petite fréquence qui correspond à la soustraction des fréquences à l'intérieur de laquelle on a des grandes fréquences qui correspondent à la somme des deux signaux.

Pour appliquer les critères nécessaires à l'échantillonnage, précédemment évoqués, il faudrait des périodes d'échantillonnage très petites (trop), donc on met un filtre RC afin d'enlever les trop grandes fréquences. On a plus que l'enveloppe qui nous permet de trouver le Δf (on peut utiliser la transformée de Fourier) et donc grâce à la formule de l'effet Doppler on remonte à la vitesse du mobile.

Pour l'incertitude on utilise celle donnée par le temps d'acquisition et le critère de Shannon.

C) Mesure indirecte d'une vitesse de propagation d'une onde

On reprend la manipulation avec le stroboscope, la mesure de fréquence nous permet de remonter à la raideur de la corde. En effet on peut dire que la vitesse de phase et de groupe sont

identiques.

$$c = \sqrt{T/\mu} = \lambda \nu = L/(2n)$$

μ est la masse linéique et peut être trouvé en pesant une corde puis en la mesurant.

Bibliographie :

BUP 892 de Boisgard : Oscillateur en interaction

Physique PC/PC* de Dunod pour la théorie sur la corde Melde

Physique expérimentale aux concours de l'enseignement, Dunod