

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

Qu'est-ce qu'une fréquence ?

C'est le nombre de fois que se produit un phénomène périodique par unité de temps (cad 1 s)

Pr mesurer une fréquence, il faut de : - avoir un phénomène périodique
- mesurer un tps.

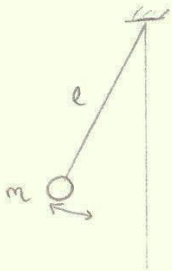
comme l'exige le titre du montage, on s'intéresse aux freq allant de 99 Hz \rightarrow 99 MHz
(domaine de l'optique \approx GHz)

illustration :

I mesure directe d'une fréquence

mesure de la fréquence d'oscillation d'un pendule

L \rightarrow masse + fil



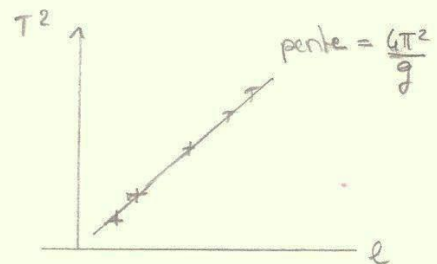
on prend un chronomètre et on compte 10 oscilla^o (on aura pris soin de placer un repère pour être + précis).

à faire pr \neq longueurs

hypothèse des petits angles.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{avec } g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})$$

ds iger on trace $T^2 = f(l)$
puis régression linéaire



$$\left(\text{pente théorique } \frac{4\pi^2}{g} = 4,024 \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-1} \right)$$

\rightarrow les résultats concordent.

+ incertitudes : mesures faites plusieurs fois $\Rightarrow \Delta T = 0,02 \text{ s}$ (0,2 s pr 10 périodes) $\Rightarrow \Delta T^2 = 0,04 \text{ s}^2$

incertitudes pr l : $\pm 0,5 \text{ cm}$ (due à la difficulté de faire une mesure précise à la règle).

II Méthode de mesure par comparaison.

1) Le stroboscope

On utilise un stroboscope pour mesurer la fréquence d'un mouvement allant trop vite pour les yeux. Il s'agit d'une mesure par "accord de fréquence".

Le principe est de prendre une photo du système à intervalle de temps régulier, et lorsque l'on a l'impression visuelle que le système est immobile dans le ref du labo, la freq de flashage du stroboscope est abs un n multiple de la fréquence du système. Pour trouver la freq réelle du système, il faut bien prendre garde à mesurer la fréquence la + élevée possible pour laquelle on a une impression d'immobilité. (sinon on risque de mesurer une freq n fois + petite).

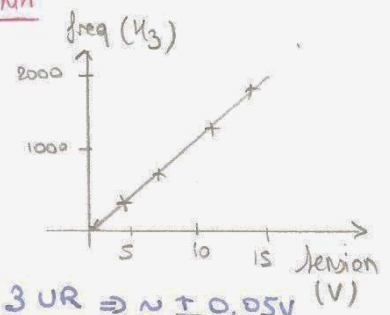
- matériel :
- une à onde + stroboscope associé
 - un stroboscope
 - un voltmètre

a) Etalonnage . mesure de la fréquence de rotation d'un moteur

pour mesurer la fréquence des ondes de la cure à onde on va utiliser un stroboscope. celui-ci doit être étalonné, et on va utiliser pour cela un autre stroboscope. on mesure la vitesse de rotation du disque qui laisse passer périodiquement la lumière (en fait, on fait en sorte que le petit scotch rouge sur le disque soit immobile) ainsi que la tension délivrée par la boîte noire.

Bien prendre garde à partir de la freq la + élevée et la diminuer jusqu'à l'accord (pour ne pas se tromper). Δ le stroboscope fournit une valeur en Flash/min donc convertir en Hz (car diviser par 60)

Ensuite : on trace la courbe d'étalonnage : $freq = f(U)$



puis régression linéaire sur Igor

incertitude : $\left\{ \begin{array}{l} \text{stroboscope } \pm 1 \text{ Hz (négligeable)} \\ \text{voltmètre : } n \times 579 \text{ calibre } 20 \text{ V : } 0,05\% \pm 3 \text{ UR} \end{array} \right. \Rightarrow \pm 0,05 \text{ V}$

b) mesure de la fréquence des ondes à la surface de l'eau + erreurs systématiques éventuelles

on met de l'eau dans la cure et on lance la soufflerie on mesure ensuite la fréquence des ondes dans la cure à onde en immobilisant

les ondes avec le stroboscope de la cete à onde et en relevant V .

→ avec la courbe d'étalonnage on en déduit la fréquence temporelle des ondes.

ex: $V = 8,46 \pm 0,05 \text{ V}$
(freq $\approx 1000 \text{ Flash/min}$)
 $\Rightarrow \underline{f \approx 16 \text{ Hz}}$

↓ penser à multiplier la tension par 2 car qd on utilise le stroboscope, il y a 2 trous ds le disque qui laisse passer la lumière!!

mq: en mécanique, on pt mesurer des freq "à la main" car fréquence de qq Hz.

② Le fréquencemètre numérique

③

a) Principe et fonctionnement

utilisa^o = cardiofréquencemètre

- matériel :
- 1 GBF
 - 1 oscillo
 - 1 compteur
 - 1 afficheur
- + notice 313
- ensc
313.1 et 313.4

schéma :

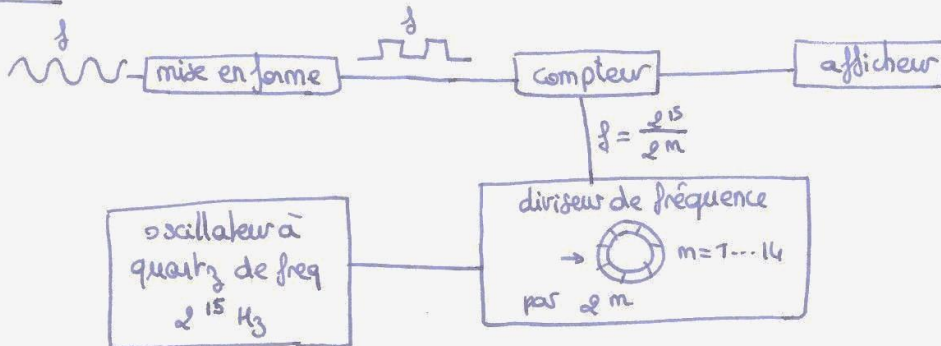
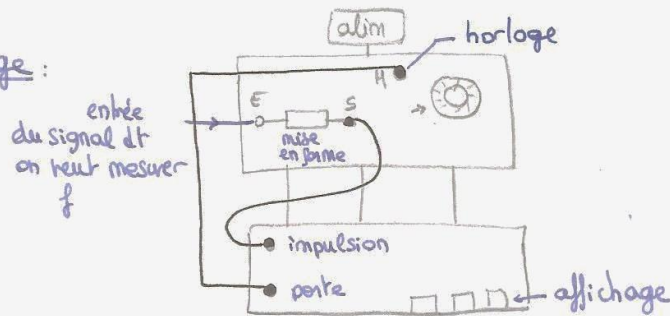


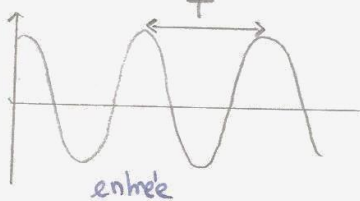
schéma du montage :



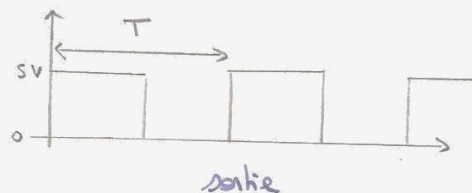
on prend un signal sinusoïdal dont on veut mesurer la fréquence (on prend $f = 10 \text{ kHz}$ amplitude $\sim 10 \text{ V}$)
 Le principe repose sur le fait de compter sur un certain intervalle de temps comme pr le pendule, mais comme ça va trop vite, on va demander à l'électronique de le faire pour nous.

on commence par mettre en forme le signal : on transforme la sinusoïde en un signal créneaux 0, +5V de même fréquence à l'aide d'un comparateur.

à l'oscillo, montrer



comparateur



l'horloge $f_c = \frac{2^{15}}{2^m}$ ($m=1 \dots 16$) commande le démarrage et l'arrêt du compteur, qui compte le nbr de crêtes du signal mis en forme pendant $\frac{1}{2}$ période d'horloge.
 \pm au signal d'active° du compteur : inhibition ou activation du comptage.
 on appelle N le nombre de périodes du signal pd $\frac{1}{2}$ période de l'horloge.



ronher : le signal d'horloge à l'osillo, et qu'en changeant de calibre on multiplie (ou divise) la fréquence par 2 à chaque fois.

$$\frac{T_0}{2} = NT \quad \text{or} \quad \begin{cases} T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{2^m}{2^{15}} \\ T = \frac{1}{f} \end{cases} \Rightarrow \boxed{f = 2N \cdot \frac{2^{15}}{2^m}}$$

le compteur compte N et l'indique sur l'affichage digital $\Rightarrow f$.

incertitude sur f : $\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta N}{N}$

on a N $\Delta N = 1$

faire une mesure $m=6$ $N=8$ $f = 8,2 \pm 1 \text{ kHz}$ } rmq : la vraie valeur de f ne rentre pas dans les bornes d'erreurs.

rmq :

* pour avoir la + petite incertitude possible, il faut que m soit le + grand possible.

faire la mesure avec

$$\begin{cases} m=6 & N=8 & f=8,2 \text{ kHz} \\ m=10 & N=157 & f=10,05 \text{ kHz} \end{cases}$$

* il faut que l'oscillateur soit suffisamment stable pour que l'incertitude sur la fréquence de l'horloge soit négligeable. C'est pour cela qu'on utilise un oscillateur à quartz : grd Q.

* il faut que la tension du signal dt on veut mesurer la freq soit assez élevée sinon ça marche pas (signal mis en forme vraiment laid).

* si on \nearrow trop m : l'affichage ne suit pas (limite 999 \rightarrow besoin d'1 4^e chiffre) monter en prenant $m = 13$ ou 14 .

$m_{lim} = 12$

* si freq trop élevée : le dispositif d'affichage limitant

ex : $f = 10 \text{ kHz}$ $m_{limite} = 12$

$f = 50 \text{ kHz}$ $m_{limite} = 10$

or on est d'autant + précis que m grd de limite en précision.

* si freq trop faible :

$f = 1 \text{ kHz}$ $m = 1 \rightarrow 5$ $N = 0$

$m = 6 \Rightarrow N = 800 \rightarrow f = 819 \text{ kHz}$

\rightarrow ds les choux !

\rightarrow le système affiche des valeurs plus vite qu'il ne les obtient : dc ça ne marche pas. De +, l'erreur devient très important.

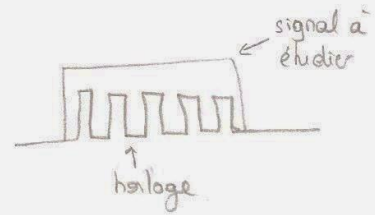
b) fonctionnement en périodemètre

qd freq trop faible \rightarrow fréquencemètre marche pas.

on peut als intervertir l'horloge et le signal mis en forme à l'entrée du comparateur: on compte maintenant le nombre de période d'horloge sur 1/2 période du signal mis en forme.

la période du signal est donc

$T = 2N \frac{2^m}{2^{15}}$



incertitude

$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta N}{N}$

mesure : $f = 1 \text{ kHz}$ $\Rightarrow m = 4$
 $N = 8$

$T = 9,77 \pm 10^{-9} \text{ s}$
 $\Rightarrow f = 1,02 \pm 0,13 \text{ kHz}$

rmq :

l'incertitude sur la freq est donc d'autant + faible que m est petit : on a + de signaux d'horloge comptés et dc N est grand

c) limitation due au signal

en fait, on ne peut mesurer des signaux + compliqué parvu qu'il n'y ait qu'un seul passage par zéro par période.

utilisation d'un signal qui n'est + une sinusoïde : ex ac GBF : sinc (GBF = aib, built in, select waveform)
 $T = 10 \text{ kHz}$.

montrer après la mise en forme → les créneaux ne correspondent pas à T .



Et la méthode repose sur la mise en forme du signal étudié : il faut qu'il y ait un seul créneau par période pr compter la "maie" fréquence. Une sinusoïde trop bruitée aura une mise en forme ayant des passages par zéro intempestifs et dc on mesurera une fréquence trop élevée.

(Prévenir ce pb, la plupart des fréquence mètres utilisent un comparateur ayant une tension de seuil pr éviter les changements dus au bruit).

III Etude d'un diapason

⚠ pr relier PASCO à l'ordi il y a un sens (logo au dessus) 5

1) Etude de la fréquence centrale et facteur de qualité

→ analyse du son produit par un diapason au moyen d'un système d'acquisition.

matériel : - ordi (ex DELL 01)

- boîtier PASCO + son alim
- carte PCMCIA
- Diapason + boîte de résonance
- micro

- ds un premier temps, mesurer la freq du diapason à l'oscillo

$$f = 439,1 \pm 1 \text{ Hz}$$

→ faire la mesure lors du passage par 0 (et pas au niveau du max) et sur plusieurs périodes pr + de précision.

Pr cette expérience on envoie le signal sortant d'un micro amplifié sur l'une des entrées d'un boîtier d'acquisition "pasco" + logiciel DataStudio.

Le système PASCO permet de récupérer une tension (+ $f_{ech} = 20 \text{ kHz max}$)

Le micro est un récepteur de pression acoustique fonctionnant sur piles pr la gamme de freq audibles (20 Hz - 20 kHz) ainsi que pr la gamme des ultrason jusqu'à 60 kHz ac cpd une sensibilité moindre.

ds un premier tps, on pt relier le micro à l'oscillo : et on observe un signal de l'ordre du volt (on aura dc pas besoin de demander au logiciel d'amplifier le signal).

on allume l'ordi une fois que tt est branché.

Dans DataStudio, on choisit le type de boîtier utilisé puis placer le type de capteur souhaité sur l'entrée utilisée, ds "sensor" choisir base résolution

$$\text{et } f_{ech} = 2,5 \text{ kHz (par ex)}$$

(critère de Shannon : $f_{ech} \leq 2 f_{max}$)

Puis, on lance l'acquisition, on tape sur l'un des bras du diapason

on laisse acquérir les points (20 faire de bruit) puis "file" → "export data" → créer fichier

On récupère les données avec Igor (data → load waves → load general text)

puis append column to table : données + index

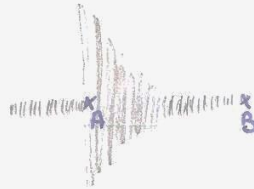
smg : faire l'acquisition sur n (60) pr avoir suffisamment de points.

On veut calculer la transformée de Fourier. Pr qu'elle fonctionne correctement, il faut que la colonne "numéro de point" corresponde à un temps.

ainsi, aller ds "data" → "change wave scaling" → choisir la colonne concernée (ici "tension") et régler start ac le 1^{er} pt de la colonne de tps et end avec le dernier point de cette colonne.

ensuite tracer tension = $f(\text{temps})$

et mettre des curseurs pr limiter
la plage sur laquelle on va calculer
la TF



puis aller ds "Analysis" → "fourier transform"

et préciser - ds output type "magnitude"

- cursors → définis ci-dessus

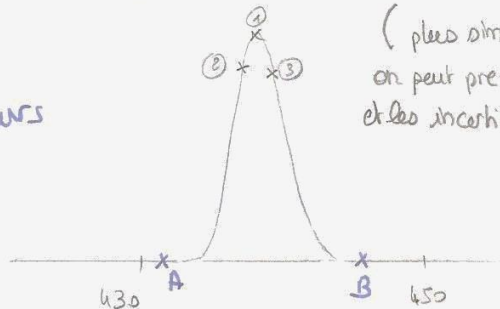
- Padding Next 2^N → pr faire sur un nbr exact de 2^N .

tracer ensuite FFT

augmenter l'échelle, placer des curseurs

faire un ajustement:

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{x}{b} - \frac{b}{x} \right)^2}}$$



(plus simple que le fit
on peut prendre f_0 ac ①
et les incertitudes ② et ③)

penser à donner des valeurs approximatives pr

A, Q, b : A \sim 4000
 b \sim 440
 Q \sim 1000

(curseurs nécessaires car sinon
comme il y a beaucoup de 0
le fit donne une fonction
nulle).

le fit donne $b = f_0 = 440,01 \pm 0,0009$

$Q = 3121,2 \pm 42,5$

→ freq du diapason très piqué autour de $f_0 = 440\text{Hz}$ puisque Q est grand
FFT → mesurer des freq

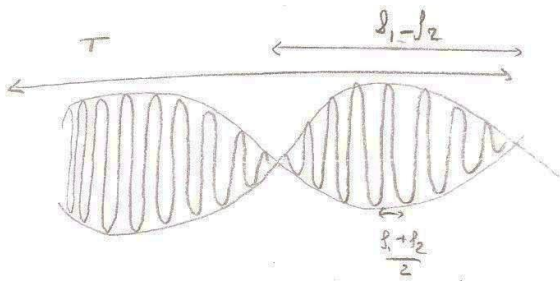
2) phénomène de battement

matériel : 2 diapasons + 1 masse
 1 micro
 1 oscillo

La masse introduit un désaccord sur le diapason concerné.

on tape sur les 2 diapasons et on observe à l'oscillo le phénomène de battement
car les 2 diapasons sont de fréquence proche.

si on fait varier la position de la surcharge, on change la freq du diapason et dc
des battements → application : accord des instruments de musique.



$$\cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right)$$

⑥

$$T = \frac{4\pi}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{2}{f_1 - f_2}$$

on mesure $f_1 - f_2 = 10,7 \text{ Hz}$

(avec les curseurs)

puis

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = 439,7 \text{ Hz} \\ f_2 = 428,9 \text{ Hz} \end{array} \right.$$

} mesurés à l'oscillo pr voir si les résultats concordent.

et on compare les résultats.

méthode rapide de mesure d'une différence de fréquence

Conclusion

on a donc vu quelques méthodes de mesure de freq, méthode employée dépend du domaine de freq ;

(la fréquence est l'unité la mieux connue en physique, l'étalon est l'horloge atomique à césium)

bonne méthode de mesure rapide de freq : l'oscillo.