Résonance

Matériel

-corde de Melde + vibreur + masse

-GBF

-2 diapasons + marteau + masses

-micro

-plaquette potentiostat

-alimentation ±15V

-résistance variable

-inductance de 40 mH

-capacité de 100 nF

-RLC mètre

-oscilloscope

-balance

-règle

-poulie + potence + noix

-laser He-Ne

-Fabry-Pérot Thorlabs

-oscilloscope 4 voies

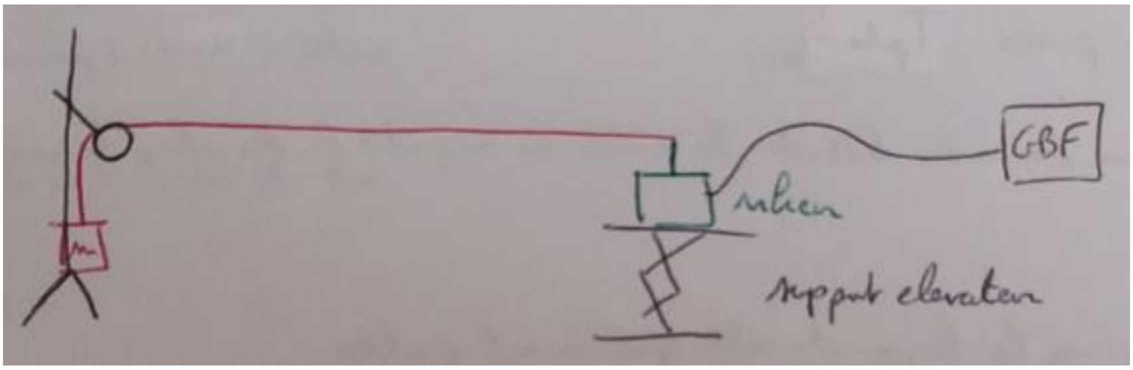
Introduction

La résonance est un phénomène selon lequel certains systèmes physiques (électriques, mécaniques...) sont sensibles à certaines fréquences. Un système résonant peut accumuler de l'énergie, si celle-ci est appliquée sous forme périodique, et proche d'une fréquence dite « fréquence de résonance ». Il existe de nombreux domaines où l'on peut observer la résonance, par exemple une balançoire, des objets célestes (on parle de résonance orbitale) ou encore les instruments de musique. Parfois, la résonance est à éviter car néfaste, en mécanique notamment, on peut citer l'exemple du pont de Tacoma. Et parfois, elle est souhaitée, c'est le cas pour l'électronique ou encore l'optique.

On considère un système constitué d'une source excitatrice et d'un résonateur, que l'on peut visualiser comme une boîte noire répondant à la sollicitation de la source. On dit de ce système qu'il présente une résonance lorsque, sous certaines conditions d'excitation, le transfert d'énergie entre l'excitateur et le résonateur est maximal. On visualise assez bien ce transfert sur la corde de Melde.

Pour rappel, $f_0 = \frac{c}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{mg}{\mu}}$, µ est la masse linéique de la corde, m la masse qui tend la corde et L la longueur de la corde.

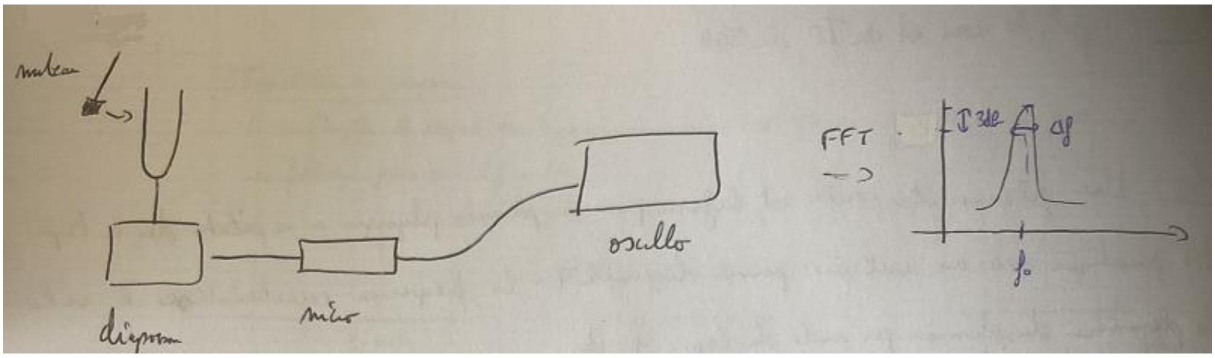
A la résonance, le transfert d'énergie est maximal.



I Diapason

On frappe un diapason et on récupère le signal avec un oscilloscope via un micro. On récupère le signal sur IGOR et on fait la TF pour mesurer la fréquence du diapason. On mesure f_0 et Δf, on en déduit le facteur de qualité Q. La fréquence d'échantillonnage doit être au moins 2 fois plus grande que la fréquence du diapason (critère de Shannon). On prend f_e = 1 kHz. On doit avoir un maximum de points : N = f_e T_0, $T_0 = \frac{1}{\delta f}$, δf est le pas en fréquence

Il faut que $\delta f \ll \Delta f = \frac{f_0}{Q}$, Δf est la bande passante à -3 dB.



On peut mettre en évidence le phénomène de battements :

On frappe deux diapasons (dont l'un est désaccordé), on récupère le signal à l'oscilloscope via un micro. On observe des battements. On mesure la fréquence des battements à l'oscilloscope, $T_{batt} = \frac{2}{|f_1 - f_2|}$.

On en déduit $f_1 - f_2$. On peut mesurer la période du signal rapide : $T_{rapide} = \frac{2}{f_1 + f_2}$, on en déduit f_2 (diapason désaccordé).

II Circuit RLC

Circuit RLC série, résistance, GBF et oscilloscope en série. Le gain ne vaut pas 1 mais $\frac{R}{R+r}$, r contient toutes les résistances parasites (GBF, bobine, condensateur…) et vaut environ 70 Ω. On doit donc se placer à des valeurs de R élevées. La bobine a un caractère capacitif au-delà de quelques dizaines de kHz.

On applique en entrée une excitation sinusoïdale à la fréquence f, d'amplitude 10 Vpp (pas de saturation des composants a priori). On observe à l'oscilloscope la réponse temporelle aux bornes de R, ainsi que l'entrée (respectivement sur les voies 2 et 1 car on va utiliser Igor par la suite). Mettre les mêmes échelles en ordonnée sur les deux voies, et une valeur de résistance de 1 kΩ.

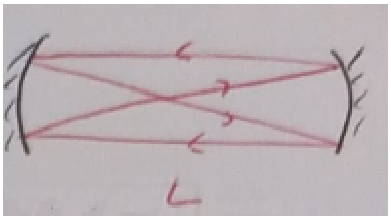
On se place en mode XY et on fait varier la fréquence. A la résonance, on observe une droite.

(par exemple pour R = 1 kΩ, L = 50 mH et C = 10 nF, on a f_0 = 7,1 kHz)

On se place en réponse impulsionnelle en utilisant la macro d'Igor. On choisit pour la durée de l'impulsion $\frac{1}{f_0}$, on prend N = 500 points, donc la durée d'acquisition est de $\frac{N}{f_0}$. On trace le diagramme de Bode avec Igor, et pour différentes valeurs de R, on mesure f_0 et la bande passante à -3 dB Δf. Le facteur de qualité vaut $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$. On trace ensuite Q en fonction de $\frac{1}{R}$ et on obtient une droite de pente $\sqrt{\frac{L}{C}}$.

III Cavité Fabry-Pérot : résonance optique

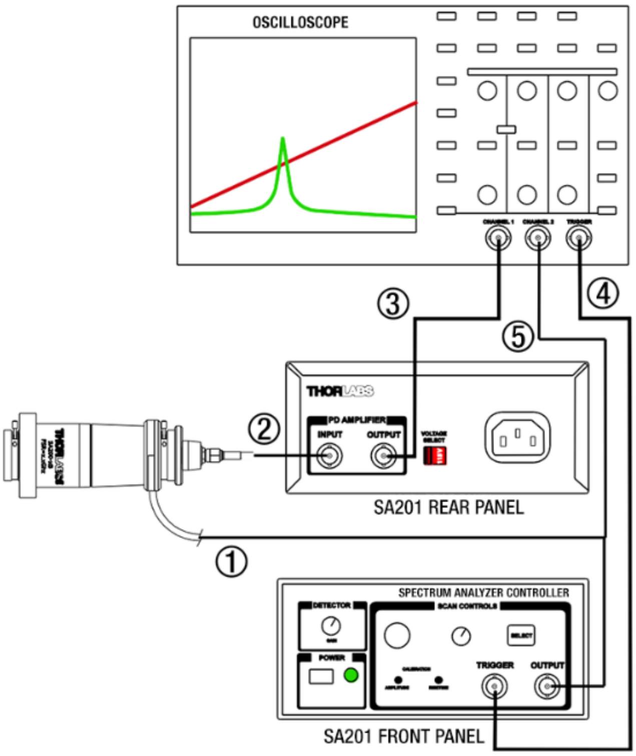
Il s'agit d'une cavité confocale formée de deux miroirs de rayon R séparés de L.



Une onde peut entrer en résonance dans la cavité à condition qu'elle interfère constructivement avec elle-même après un tour dans la cavité. C'est ce qu'on appelle la condition de phase. Si l'on appelle L la longueur de la cavité, cette condition se traduit par :

$\Phi(x+2L) = \Phi(x) + 2n\pi$, donc $\frac{2L}{\lambda} = n$, soit $\nu = n\frac{c}{2L}$

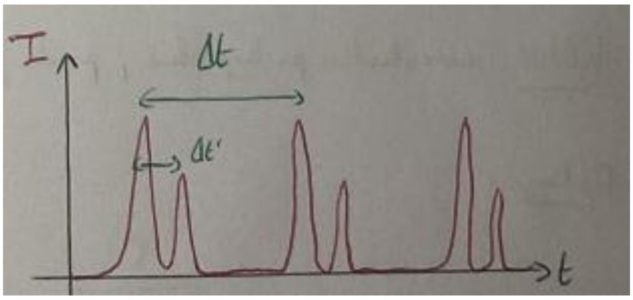
Chacune de ces fréquences peut résonner dans la cavité, elles sont séparées par l'intervalle spectral libre : $ISL = \frac{c}{2L}$, L_{cav} = 4L



Mettre le 2e miroir assez loin pour rendre l'observation plus facile. Utiliser un diaphragme et régler pour voir le faisceau comme il faut sur le miroir M2, de façon à voir une réflexion sur le diaphragme (déplacer la vis du miroir pour que la réflexion soit sur le trou du diaphragme).

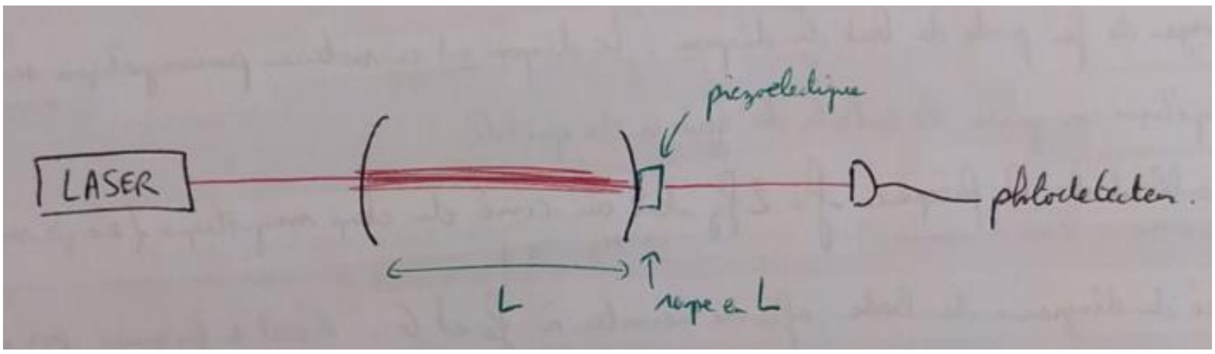
On mesure L et on en déduit ISL.

On utilise un laser bimode. On envoie une rampe de tension sur le piézoélectrique et on obtient :



Au premier ordre : $\frac{\Delta f}{ISL_{cav}} = \frac{ISL_{laser}}{ISL_{cav}} = \frac{\Delta t'}{\Delta t}$, ISL_{cav} = 1,5 GHz

En mesurant Δt et Δt' on peut remonter à Δf



On peut aussi mesurer ISL_{laser} avec un analyseur de spectre et le comparer au résultat précédent

Conclusion

Dans ce montage, nous avons mis en évidence le phénomène de résonance en étudiant différents systèmes physiques : la corde de Melde, le diapason, le circuit RLC et le Fabry-Pérot.