

MP10 : Spectrométrie optique

Marion Zannese, Marie Lecroq

## 1 Objectifs pédagogiques du montage

- Mettre en évidence le phénomène de résonance dans différents domaines de la physique
- Identifier les paramètres influençant les caractéristiques de ces résonances et mesurer ces caractéristiques pour différents systèmes (fréquence de résonance, facteur de qualité)

## 2 Objectifs et messages forts du montage

L'objectif du montage est de mettre en évidence le phénomène de résonance dans différents cas de figure et d'identifier ses caractéristiques, pas des méthodes différentes : diagramme de Bode, réponse impulsionnelle, mesure directe...

## 3 Introduction générale du montage

Définition du phénomène de résonance et exemples où celle-ci est recherchée ou, au contraire, veut être évitée. Illustration du phénomène et mise en évidence des différents modes avec la corde de Melde (qualitative).

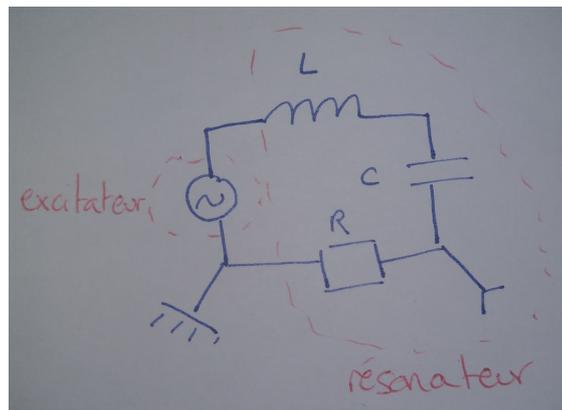
## 4 Proposition de plan

*Expérience introductive* : Corde de Melde

Manip totalement qualitative, mise en évidence des différents modes, notion de ventres et de noeuds

### 4.1 Résonance en électricité : circuit RLC série

#### 4.1.1 Présentation



On a la fonction de transfert suivante :

$$H = \frac{1}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad (1)$$

avec  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$  et  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

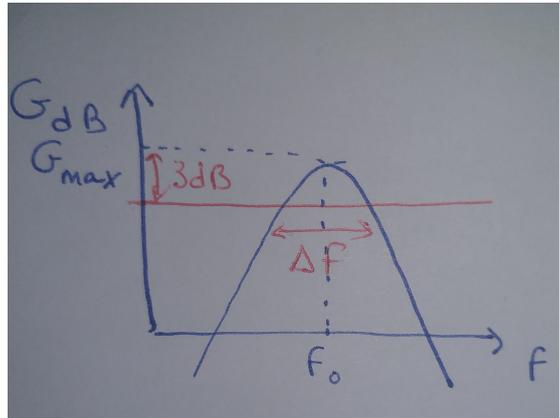
On met d'abord en évidence le phénomène de résonance avec le mode SWEEP du générateur

### 4.1.2 Mesures

On commence par mesurer la fréquence de résonance du système grâce au mode XY de l'oscilloscope (beaucoup plus précis qu'avec Bode car le diagramme n'est pas lissé) On fait varier la fréquence d'excitation du GBF jusqu'à ce que l'on ait une droite en mode XY et non plus une ellipse On est alors à la résonance

Rq : On réalise cette manip avec la plaquette RLC toute prête (avec une bobine et un condensateurs spéciaux en particulier) Avec un circuit avec des boites à décades par exemple, on n'obtiendra rien d'exploitable quantitativement

On réalise ensuite le diagramme de Bode grâce à la macro Igor. On voit bien qu'on a un phénomène de résonance.



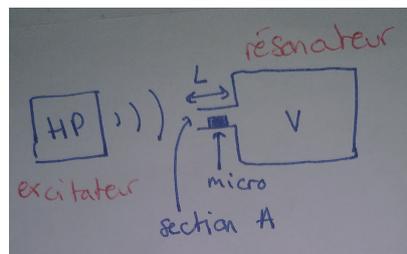
On mesure directement avec Igor la largeur de la bande passante à -3dB. On peut ensuite calculer  $Q = \frac{\Delta f}{f}$  Calcul d'incertitudes

Conclusion en comparant aux valeurs obtenues avec la mesure des valeurs caractéristiques des composants du système (R,L,C, mesurées, donc aussi calcul d'incertitudes)

## 4.2 Résonance acoustique

### 4.2.1 Présentation

Etude de la résonance dans une bouteille en verre.



Avec un modèle très simplifié, on obtient

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (2)$$

Pour ce modèle, on étudie le déplacement d'une petite tranche d'air dans le goulot. Ce modèle est établi sous les hypothèses suivantes :

- le résonateur est assimilé à une cavité fermée de volume V (que l'on appelle la bouteille) qui communique avec l'extérieur par l'intermédiaire d'un petit tube de longueur L et de section A, que l'on appelle le col du résonateur ;
- les dimensions pré-citées sont petites devant la longueur des ondes acoustiques considérées ;
- l'air est considéré comme un gaz parfait ;
- la bouteille est parfaitement thermiquement isolée, ou peut être considérée comme telle dans les échelles de temps mises en jeu au passage d'une onde acoustique ;
- tous les effets dissipatifs, comme le frottement de l'air sur les parois ou les pertes par rayonnement acoustique, peuvent être ignorés, car ils influent relativement peu sur la valeur de la fréquence propre.

Sous l'effet d'une perturbation extérieure, il apparaît un petit déplacement de la colonne d'air à l'intérieur du col, d'amplitude notée  $\xi$ . Le volume correspondant d'air déplacé dans la bouteille est donc :  $dv = A\xi$ .

Compte tenu des hypothèses ci-dessus, la loi de Laplace définit la variation de pression correspondante dans la bouteille :  $dp = -\frac{\gamma p}{V} dv$ .

Cette variation de pression engendre une force de rappel sur la colonne d'air donnée par  $dF = -\frac{\gamma p A}{V} \xi$ .

On obtient l'équation du mouvement

$$\rho AL \frac{d^2 \xi}{dt^2} + \frac{\gamma p A^2}{V} \xi = 0 \quad (3)$$

et avec  $c^2 = \frac{\gamma p}{\rho}$ , on obtient la formule de  $f_0$ .

#### 4.2.2 Mesures

##### Mesure de la fréquence de résonance

On modélise le système par un passe bas d'ordre 2.

On réalise à la main un diagramme de Bode (ça ne marche pas avec la macro Igor, et ça permet de montrer comment le faire à la main). On est assez contraints sur la plage de fréquences qu'on peut explorer (attention à la résonance du HP en dessous d'une soixantaine de Hertz, et à la réponse du micro).

Rq : on a discuté avec Arnaud et Christian de meilleurs micros et HP pour descendre plus bas, ou alors d'autres bouteilles pour que la fréquence de résonance soit plus haute... à voir

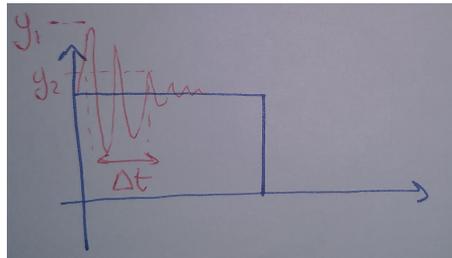
Rq : la fréquence de résonance est remarquablement proche du résultat donné par le modèle vraiment très simplifié, à dire.

##### Mesure du facteur de qualité

On applique un créneau de fréquence 1Hz, suffisamment lent pour pouvoir observer la décroissance exponentielle du régime libre des oscillations.

On a un régime libre en

$$\xi(t) = \xi_0 \cos(\omega_0 t + \phi) \exp\left(-\frac{\omega_0 t}{2Q}\right) \quad (4)$$



On a donc

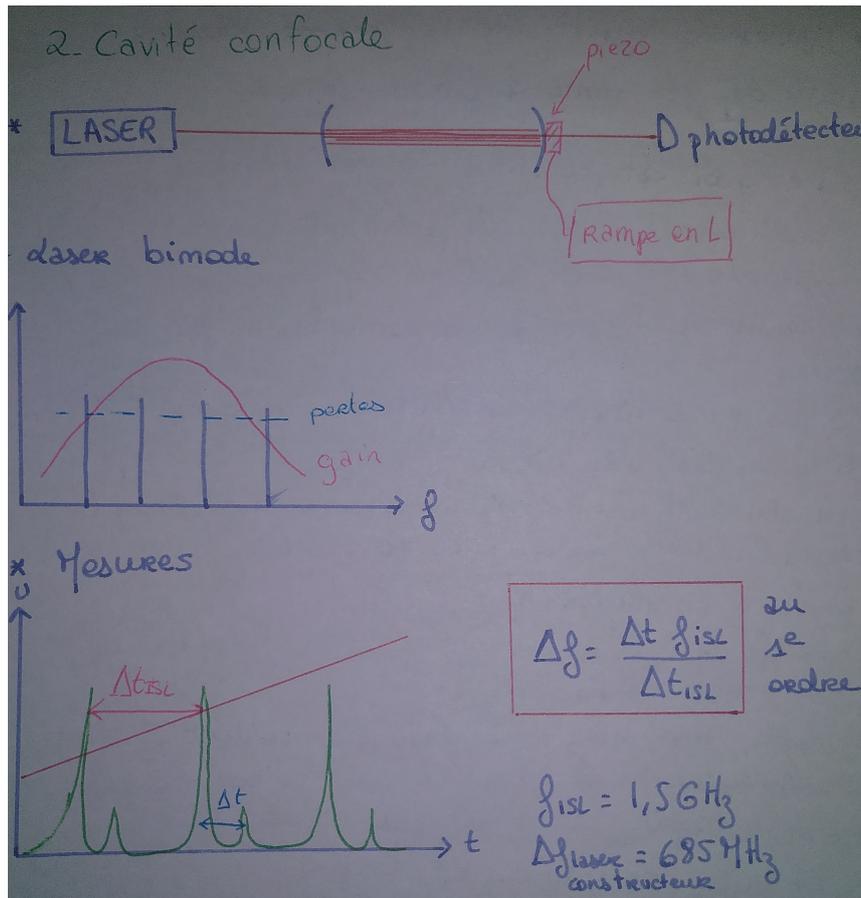
$$Q = \frac{\omega_0}{2} \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{y_1}{y_2}\right)} \quad (5)$$

En mode SINGLE sur l'oscillo, on peut mesurer les amplitudes à deux dates données et donc remonter à Q. Calcul d'incertitudes un peu moche avec la formule des différentielles.

Rq : Cette mesure sera peu précise car le signal n'est pas une belle sinusoïde (bruit, micro mal placé, réponse du haut parleur à 1Hz... ?) et donc pointer au curseur le maximum local n'est pas facile.

Rq : Cette expérience étant "maison", on ne peut pas trouver de valeur tabulée pour comparer Q. En revanche, on sait que d'autres TP ont permis de remonter à une valeur de l'ordre de 30 pour Q, c'est le seul point de comparaison dont nous disposons.

### 4.3 Résonance en optique : cavité cofocale



On veut mesurer l'écart en fréquence entre 2 modes du laser On mesure :

$$\Delta f = \frac{\Delta t f_{ISL}}{\Delta t_{ISL}} \quad (6)$$

au premier ordre, en suivant les notations du schéma précédent.

$\Delta t_{ISL}$  désigne l'écart temporel entre deux pics successifs correspondant à un même mode et  $\Delta t$  l'écart temporel entre deux pics successifs correspondant à deux modes différents

$f_{ISL}$  est donnée par le constructeur et est caractéristique du Laser

Rq : l'alignement entre le laser et la cavité est la seule difficulté de cette manip et il faut bien prendre le temps de bien le faire en préparation, puis croiser les doigts pour qu'il ne bouge pas au cours du montage.

Rq : il faut pour cette expérience utiliser un laser bien précis qui est fait pour la manip.

Rq : bien laisser chauffer le laser pour que la courbe se stabilise (le laisser allumé pendant la présentation du montage).

## 5 Ouvertures possibles, prolongements et conclusions du montage

Je n'ai pas vraiment trouvé d'idée de conclusion ni d'ouverture si ce n'est d'autres exemples de résonance ou bien l'intérêt des mesures que l'on a faites...

## 6 Subtilités du montage et points disciplinaires et expérimentaux associés

Bien expliquer la notion de résonance, ne pas confondre fréquences propres et fréquences de résonance (ce sont les mêmes pour la corde de Melde mais c'est un cas particulier).

Prendre le temps de bien expliquer le fonctionnement de la cavité cofocale

Essayer de varier les méthodes pour remonter à la fréquence de résonance et au facteur de qualité, afin de montrer la variété de méthodes dont on dispose pour cela

**Bien soigner les transitions**, ce que je n'avais pas réussi à faire. Dire "Maintenant, on va voir que ça se passe pareil dans un autre domaine de la physique" n'est pas satisfaisant, essayer de trouver un meilleur fil directeur.

#### Questions et remarques des correcteurs :

- Rq : on aurait pu étudier l'influence de R sur la résonance en se mettant aux bornes de C. On doit dans ce cas utiliser un suiveur pour éviter la hute de tension du GBF à la résonance.
- Choix des paramètres du RLC?  
L et C imposés, R doit être très grand devant la résistance interne de la bobine pour pouvoir la négliger.
- Formule de la cavité cofocale vient d'où?  
Développement limité (rapidement expliqué dans le bouquin d'Arnaud)
- Rq : si le laser n'a pas été chauffé avant, on peut tracer la courbe de gain en persistance pour trouver quel pic correspond à quel mode
- Comment faire pour que les ponts n'entrent pas en résonance?  
Soit fréquences propres pas atteignables, soit amortissement pour réduire beaucoup Q (pas génial car le pot travaille)
- Expliquer le modèle pour la bouteille  
cf précédemment
- Rq : fixer micro pour ne pas qu'il bouge sinon les mesures entre la préparation et la présentation seront faussées
- Rq : si Q est très grand, la fréquence de résonance et la fréquence propre sont presque égales. Amplitude du pic en  $20\log(Q)$  : autre méthode pour remonter à Q éventuellement
- Rq : Q fait le lien entre résonance et dissipation. **Appuyer sur ce lien**
- Choix des paramètres pour la macro Igor pour le diagramme de Bode?  
Sinus cardinal pour fenêtre rectangulaire, choix des durées...
- Rq sur la corde de Melde : modèle où corde infiniment flexible et élastique, mais en réalité on est limité par l'élasticité de la corde.

## 7 Expériences de base et alternatives pour le montage

On a plein de choix : diapason, diapason couplé avec une bobine et un noyau de fer, pendules résonants, corde de Melde quantitative...

Il y a aussi l'histoire de la résonance quadrupolaire de la tasse d'Arnaud, si vous voulez vous lancer dans un développement quadrupolaire et les ondes 2D...mais c'est risqué, et pas de valeurs tabulées ni de refs bibliographiques pour se rassurer.

## 8 Bibliographie pour construire le montage

- *Physique expérimentale* aux éditions De Boeck (celui d'ALD) pour la cavité cofocale
- Polys de TP random pour le RLC et la bouteille (bouteille = TP de concours d'entrée aux ENS)

## 9 Critique des expériences du montage

Nous avons essayé de trouver des expériences dans des domaines variés, mais il est important de trouver un fil conducteur que nous n'avons pas vraiment réussi à trouver.

Globalement les manip marchent plutôt bien, la cavité cofocale est une bonne manip tampon pour le temps de parole.

## 10 Manip surprise

Prouver que le laser est bimode

Avec Michelson, mesure des anti-coïncidences etc cf MP10