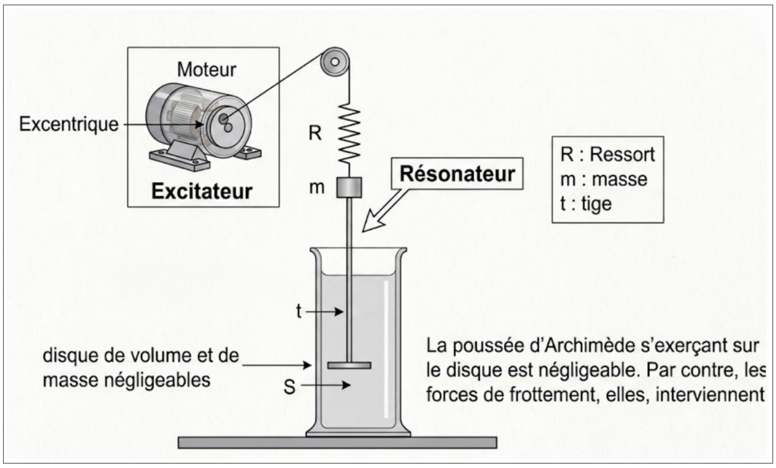
TP : Étude du Phénomène de Résonance

Objectif : Tracer la courbe de résonance d'un oscillateur électrique (circuit RLC série), déterminer sa fréquence de résonance et étudier l'influence de la résistance du circuit sur la largeur de la résonance (bande passante).

I. Présentation expérimentale du phénomène

1. Résonance mécanique



L'Excitateur : il est composé d'un moteur électrique couplé à un **excentrique** et une poulie. Ce système transforme le mouvement rotatif du moteur en un mouvement oscillatoire vertical sinusoïdal. C'est la source de la **force motrice externe**. Sa fréquence (f) peut être modifiée en variant la vitesse du moteur.

Le Résonateur : c'est le système mécanique qui va osciller en réponse à l'excitation.

Il est composé :

• d'un **ressort (R)** de raideur k (suspendu).

• d'une **masse (m)** suspendue au ressort.

• d'une **tige (t)** avec un **disque (S)** immergé dans un bécher rempli d'un liquide.

L'amortissement: le disque (S) immergé fournit **l'amortissement par friction fluide**.

Contrairement à un système libre, l'énergie est dissipée par le liquide, ce qui est crucial car cela limite l'amplitude à la résonance (empêchant le système de se briser) .

Lorsque la fréquence de l'excitateur (moteur) est modifiée de "bas" vers "élevé", l'amplitude des oscillations de la masse (m) suit une courbe de résonance caractéristique.

1. Basses Fréquences ($f < f_0$, où f_0 est la fréquence propre du système) :

Observation : l'excitateur bouge lentement. Le résonateur (masse) suit le mouvement, mais avec peu d'amplification.

Explication : la masse a le temps de réagir à la force externe. L'amplitude des oscillations est faible, et le système oscille presque en phase avec l'excitateur.

2. Proche de la Fréquence de Résonance ($f \approx f_0$) :

Observation : l'amplitude des oscillations de la masse devient **très grande**.

Explication : la fréquence de la force motrice correspond à la fréquence naturelle à laquelle le système préfère osciller ($f_0 = 1/(2\pi)\sqrt{(k/m)}$). Le système stocke de l'énergie et l'amplifie considérablement. L'amortisseur (disque S) dissipe beaucoup d'énergie, limitant l'amplitude maximale et l'empêchant de devenir infinie.

3. Hautes Fréquences ($f > f_0$) :

Observation : l'excitateur bouge très rapidement. L'amplitude des oscillations de la masse **diminue** et devient à nouveau faible.

Explication : le résonateur ne peut plus suivre le rythme rapide imposé par l'excitateur. L'inertie de la masse l'empêche de réagir rapidement. À très haute fréquence, la masse peut sembler presque immobile par rapport à l'excitateur, même si ce dernier oscille vigoureusement. Le système tend à s'immobiliser par rapport à sa position d'équilibre.

2. Résonance électrique

Dans un circuit électrique, le rôle de l'excitateur est joué par un **Générateur de Basses Fréquences (GBF)** et le résonateur est un **circuit RLC série**.

II. Manipulations et Mesures

1. Caractéristiques des composants et réglages

Choisissez les composants suivants pour votre circuit RLC série:

- **Condensateur :** C = 22 nF
- **Bobine d'inductance :** L = 1,15 H *(à mesurer précisément)*
- **Résistance totale :** $R = R_{rhéo} + r$ (où $R_{rhéo}$ est un rhéostat et r la résistance interne de la bobine).

Réglages du GBF :

- **Forme :** sinusoïdale
- **Amplitude :** $U_{max} = 5$ V ,

2. Branchements

L'oscilloscope permet de visualiser :

- Sur la **Voie 1** : la tension u_1 aux bornes du GBF.
- Sur la **Voie 2** : la tension u_2 aux bornes du rhéostat $R_{rhéo}$ (proportionnelle à l'intensité i du courant).

III. Mesure de la fréquence de résonance de l'intensité

1. Approche théorique et incertitudes

- **Fréquence théorique :** $f_{\text{th}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$

Calculer la valeur : fth=…………… Hz

- **Calcul de l'incertitude Δf :** En utilisant la méthode logarithmique :

$$\ln(f) = -\left(\ln(2\pi) + \frac{1}{2}(\ln(L) + \ln(C))\right) \implies \frac{df}{f} = -\frac{1}{2}\left(\frac{dL}{L} + \frac{dC}{C}\right)$$

Ce qui nous donne la formule d'incertitude :

$$\Delta f = 0{,}5 \cdot f \cdot \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C}{C}\right)$$

Sachant que l'on prend ±5% d'incertitude pour les capacités, bobines et condensateurs utilisés, calculez Δf

💡 **Exemple de calcul pour une résistance :** si une résistance de 1 kΩ est connue à ±5%, alors ΔR = 5×1000 / 100 = 50Ω. On l'écrira : R = $(1{,}00 \pm 0{,}05)\times10^3$ Ω.

Résultat final théorique : f_{th} = ………… ± …………… Hz

2. Détermination expérimentale

Dessiner le circuit RLC série, indiquez les voies 1 et 2 sur votre schéma.

Construisez le circuit et faites vérifier le montage par votre professeur avant de brancher.

Visualisez à l'oscilloscope les tensions u_1 (qui doit rester constante) et u_2.

1. Fixer R=1 kΩ.
2. Faire varier la fréquence (entre 800 Hz et 1200 Hz) de façon à obtenir les courbes **en phase**.
3. Estimer la fréquence, puis recommencer la manipulation 2 **fois** pour estimer l'incertitude statistique.

Essai	1	2	3
f_{exp} (Hz)			

Exploitation des mesures :

- **L'incertitude :** $\Delta f = (f_{max} - f_{min})/2$ =……….. Hz
- **La valeur moyenne :** f_{moy} =……….. Hz
- **Valeur finale expérimentale :** f_{exp} = ……….. ± ……….. Hz

Question : la valeur de f change-t-elle si l'on prend : R = 100Ω, R = 1 kΩ, R = 10 kΩ ?

IV. Tracé de la courbe de résonance et Bande Passante

La courbe de résonance représente l'évolution de l'amplitude Im de l'intensité en fonction de la fréquence f du générateur.

1. Relevé de points

Pour une fréquence f variant de 0,5 kHz à 5 kHz, relever U_2 (lu sur l'oscilloscope) en prenant soin de maintenir U_1 constante. On prendra environ une douzaine de points.

⚠️ **Consigne de précision :** faire varier la fréquence par pas de **1 kHz**, sauf **au voisinage de la résonance** où l'on resserrera les mesures avec un pas de **0,1 kHz**.

- Relever soigneusement la valeur expérimentale f_0 pour laquelle l'intensité I est maximale (les signaux I et U_1 sont alors en phase).
- Calculez l'amplitude de l'intensité : $I = U_2 / R$.
- Recommencer toute l'opération avec une deuxième résistance R = 0,5 kΩ.
- **Tracer sur le même millimétré les deux graphes I en fonction de f.**

2. Étude de la bande passante (Δf)

La largeur de résonance (ou bande passante) Δf est la largeur du domaine de fréquences pour lesquelles l'amplitude vérifie :

$$I > \frac{I_r}{\sqrt{2}}$$

Si ce domaine est délimité par deux fréquences coupures f_1 et f_2, on a : $\Delta f = f_2 - f_1$.

1. Déterminer graphiquement I_r (intensité maximale) pour vos deux courbes et compléter le tableau :

R	0,5 kΩ	1 kΩ
$I_r = I_{\max}$		

2. Représenter la largeur de la bande passante Δf sur vos deux graphiques.

3. Compléter le tableau comparatif suivant :

R	0,5 kΩ	1 kΩ
$\Delta f_{\text{th}} = \frac{R}{2\pi L}$		
$\Delta f_{\text{exp}} = \ldots\ldots$	$+\Delta(\Delta f)$	

Incertitude sur la bande passante : l'incertitude associée à la mesure de la bande passante se calcule par :

$$\Delta(\Delta f) = \Delta f \cdot \left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta L}{L}\right)$$

V. Conclusion

Sur votre compte-rendu, résumez et commentez vos résultats.

Concluez notamment sur **l'influence de la valeur de la résistance R** sur l'acuité de la résonance (forme de la courbe) et sur la largeur de la bande passante.