



Objectifs

- Etudier les vibrations libres d'une barre métallique
- Mesurer la fréquence d'oscillation
- Déterminer l'évolution de la fréquence en fonction de la longueur
- Calculer le décrétement logarithmique et le facteur d'amortissement



Matériel

Désignation	Qté	Référence
Réglet flexible 1000 mm	1	740344
Aimants en ferrite	1	263017
Bobine de transformateur	1	280031
Stroboscope	1	322089
Iniscope II - Oscilloscope numérique 2x25 MHz	1	297705
Inisource51F - Générateur de fonctions	1	293510



Durée et niveau de difficulté

Préparation : 15 minutes

Exécution : 1 heure et 45 minutes

Difficulté



Informations de sécurité

Aucun risque particulier cependant veuillez ne pas écarter excessivement la barre (vibrations non sinusoïdales).



Problématique

Dans cette expérience, on étudie les vibrations d'une barre métallique en régime libre. L'objectif est d'analyser les caractéristiques des vibrations telles que la fréquence propre, le décrétement logarithmique et les modes de résonance. **Quel lien peut-on établir entre la longueur de la barre vibrante et la fréquence de vibration observée ?**



Protocole

I. Vibrations libres

- Fixer solidement la barre avec la pince pour la longueur de vibration de 20 cm.
- Placer deux aimants superposés sous le réglet et à son extrémité.
- Positionner la bobine en dessous de ces aimants.
- Ecarter légèrement l'extrémité du réglet de quelques millimètres et relâcher pour lancer la vibration (ne pas trop écarter pour rester le plus proche possible d'une vibration sinusoïdale).
- Brancher la bobine à l'oscilloscope.
- Régler ensuite la base de temps et la sensibilité verticale pour visualiser plusieurs pseudo-périodes.
- Appuyer sur run/stop de l'oscilloscope pour figer le signal.
- Mesurer la période T (temps entre deux maxima successifs) à l'aide des curseurs de temps sur l'oscilloscope.
- Reporter directement la valeur de T dans un tableau Excel
- Dans Excel, ajoutez les colonnes suivantes :
 - L (longueur en m)
 - T (période en s)
 - $F = 1/T$ (fréquence en Hz)
 - $1/L$ (m^{-1})
 - $1/L^2$ (m^{-2})
- Refaire la mesure de T pour plusieurs longueurs entre 20 et 60 cm, par pas de 5 cm (donc $L = 20, 25, 30, \dots, 60$).
- Complétez le tableau Excel avec toutes ces valeurs.
- Tracez dans Excel les courbes : $f = f(1/L)$, $f = f(1/L^2)$
- Analysez les courbes obtenues.





Décrément logarithmique

Fixer la barre pour une longueur de 20 cm.

Faire vibrer la barre comme expliqué précédemment, puis figer la courbe.

Relever l'amplitude du premier maximum A_1 .

Relever l'amplitude d'un maximum A_n , séparé de plusieurs périodes.

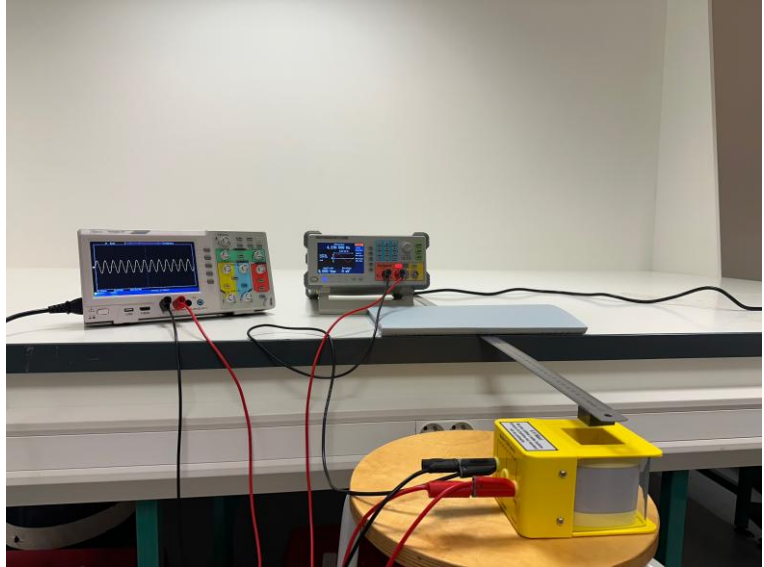
Reportez ces valeurs dans un tableau Excel (avec les colonnes suivantes : L, A_1 , A_n , n).

Calculer dans Excel le décrément logarithmique avec la formule suivante : $\delta = \frac{1}{n-1} \ln \left(\frac{A_1}{A_n} \right)$.

Calculer ensuite le facteur d'amortissement : $\varepsilon = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + 4\pi^2}}$.

Répéter pour les longueurs de barre suivantes : L = 40 cm, L = 50 cm.

Analyser les résultats obtenus.



Montage de la manipulation

Vibrations forcées

Réutiliser le même montage que lors de la partie I cependant veuillez relier le GBF à la bobine. Fixer la barre pour qu'elle vibre sur une longueur de 30 cm.

Réglez le GBF :

- forme sinusoïdale
- tension la plus faible possible permettant une vibration visible
- fréquence proche de la valeur attendue

Observez la réponse de la barre sur l'oscilloscope

Recherchez progressivement la fréquence de résonance en balayant autour de la valeur attendue :

- augmentez ou diminuez la fréquence par petit pas
- notez la zone où l'amplitude du signal est maximale (résonance)

Lorsque la résonance est atteinte, figez la courbe (Run/Stop) et mesurez la période T à l'aide des curseurs de l'oscilloscope.

Calculer la fréquence de vibration de la barre

Vérifiez la résonance au stroboscope :

- Réglez le stroboscope à la fréquence mesurée
- Affinez le réglage pour que la barre reste immobile
- Notez la fréquence du stroboscope
- Doublez la fréquence du stroboscope
- Doublez à nouveau

Qu'observe-t-on ?

Deuxième mode de vibration

Fixez la barre pour qu'elle vibre à une longueur de 40 cm

Déplacez l'aimant et la bobine à une distance d'environ 20 cm de la pince

Réglez le GBF sur une fréquence d'environ 6.3 fois plus élevée que celle du premier mode

Balayer autour de cette valeur pour trouver la fréquence exacte du deuxième mode de vibration (amplitude maximale observée).

Réglez le stroboscope sur la fréquence trouvée et observez la barre





Résultats

I. Vibrations libres

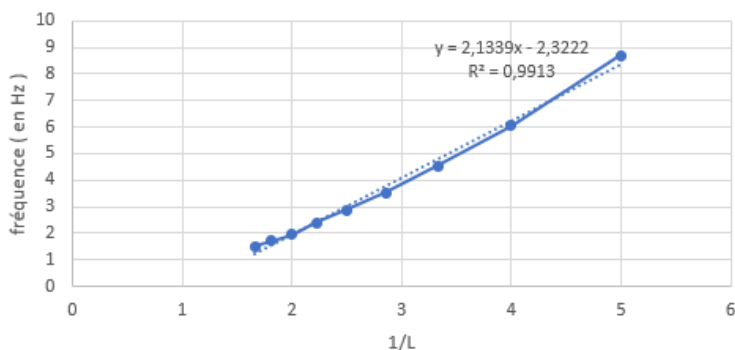
Pour chaque longueur L , la période T a été mesurée et la fréquence $f=1/T$ calculée.

La fréquence diminue quand la longueur augmente, en accord avec le modèle théorique d'une barre en porte-à-faux.

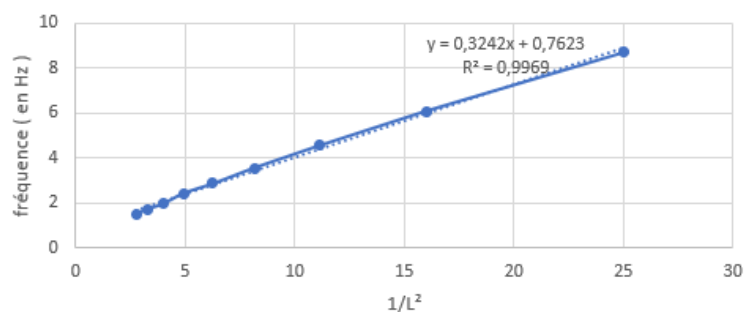
Longueur (en m)	Fréquence f (en hz)	$1/L$	$1/L^2$	T
0,2	8,695652174	5	25	0,115
0,25	6,060606061	4	16	0,165
0,3	4,545454545	3,333333333	11,11111111	0,22
0,35	3,533568905	2,85714286	8,16326531	0,283
0,4	2,857142857	2,5	6,25	0,35
0,45	2,403846154	2,22222222	4,9382716	0,416
0,5	1,960784314	2	4	0,51
0,55	1,724137931	1,81818182	3,30578512	0,58
0,6	1,515151515	1,66666667	2,77777778	0,66

Les courbes $f=f(1/L)$ et $f=f(1/L^2)$ montrent que $f=f(1/L^2)$ est quasiment linéaire, confirmant que la fréquence fondamentale est inversement proportionnelle au carré de L .

fréquence en fonction de l'inverse de la longueur



fréquence en fonction de l'inverse du carré de la longueur



Décroissement logarithmique et facteur d'amortissement

Le décroissement logarithmique δ et le facteur d'amortissement ϵ indiquent un amortissement faible mais non nul, légèrement plus marqué pour les barres longues, lié à la dissipation mécanique (flexion, poids).

L (en m)	$A1$ (en V)	A_n (en V)	n	δ	ϵ
0,2	3,28	1,6	8	0,10254854	0,01631893
0,4	0,58	0,3	8	0,09417795	0,0149872
0,5	0,27	0,16	8	0,07474973	0,01189595





II. Vibrations forcées – Premier mode

La résonance a été obtenue en balayant la fréquence du GBF ; l'oscilloscope a permis de mesurer T et donc $f=1/T$.

Au stroboscope :

À f , la barre paraît immobile $\rightarrow$ fréquence réelle.

À $2f, 4f, \dots$, elle semble encore immobile mais ce sont des harmoniques visuels.

Seule la première immobilité correspond donc à la fréquence propre.

Fréquence stroboscope (en Hz)	Observation barre
4,3	immobile
8,6	immobile (harmonique)
17,2	immobile (harmonique)

Vibrations forcées – Deuxième mode

Pour $L=40$ cm et excitation au milieu, une nouvelle résonance est apparue à une fréquence $\approx 6,3 \times f_1$, en accord avec la théorie.

Au stroboscope, la barre présente :

un nœud fixe à la pince,

un nœud intermédiaire ($\approx 1/5$ de la longueur),

deux ventres (un au centre, un à l'extrémité).

L'amplitude est plus faible que dans le premier mode, car l'énergie se répartit sur plusieurs segments.



Conclusion

La fréquence fondamentale de la barre en porte-à-faux diminue avec la longueur libre selon une loi en $1/L^2$, avec un amortissement faible mais mesurable. La résonance, confirmée au stroboscope, révèle des illusions d'harmoniques, tandis que le second mode met en évidence les nœuds et ventres attendus.

