

TP18 : Ondes stationnaires sur une corde de Melde

Compétences exigibles du BO

Contenu disciplinaire	Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde. Caractériser une onde stationnaire mécanique par l'existence de nœuds et de ventres ; exprimer les fréquences des modes propres connaissant la célérité et la longueur d'onde.
Formation expérimentale	Visualiser et décomposer un mouvement : mettre en œuvre une méthode par stroboscopie

Matériel à disposition

Matériel	Un vibreur de Melde avec corde, poulie accrochée à l'aide d'une noix à un statif, une règle graduée, un jeu de masses marquées, un stroboscope.
----------	---

Une corde fine de masse linéique μ a une de ses extrémités O fixée à un vibreur de Melde. La tension mécanique de la corde est assurée par une masse m suspendue par l'intermédiaire d'une poulie : on admet que la tension F de la corde est égale au poids $F = P = mg$ du peson suspendu. On note B le point de la corde en contact avec la poulie.



On rappelle que la célérité d'une onde le long d'une corde se calcule grâce à la formule $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ avec μ la masse linéique de la corde et F la tension de la corde.

On excite sinusoidalement la corde à l'aide du vibreur dont on peut faire varier la fréquence d'excitation à l'aide d'un GBF : on étudie donc les **vibrations forcées** de la corde. Le vibreur impose à l'onde créée au point O sa fréquence de vibration, une onde sinusoidale de fréquence f se propage donc de O vers B.

- Suspendre une masse $m = 50 \text{ g}$ à la corde
- Choisir la longueur OB à $L = \dots\dots\dots m$ (choisir une longueur de l'ordre de 70 à 90 cm). Allumer le GBF et régler la fréquence pour avoir un signal sinusoidale de fréquence égale à quelques hertz. Augmenter lentement la fréquence d'excitation : pour certaines fréquences, vous observez un phénomène de résonance (observation de fuseaux stables).

Pour certaines fréquences, on observe des vibrations d'amplitude très supérieure à l'amplitude des oscillations du vibreur, c'est le phénomène de **résonance**. La corde présente alors à l'œil nu un **nombre entier de fuseaux** : c'est un **mode propre**, auquel on associe une **fréquence propre**. Le mode propre dont la fréquence est la plus basse est appelé « **mode fondamental** », la corde en vibration, considérée comme fixe à ses extrémités, comporte alors un seul fuseau ($n=1$) la fréquence propre correspondante est notée f_1 . Les autres modes propres sont appelés « **modes harmoniques de vibration de rang n** » : ils présentent n fuseaux ($n=2,3,4\dots$) et sont associés aux fréquences propres f_n ($f_2, f_3, f_4\dots$).



1. Relever les valeurs des fréquences propres jusqu'au 4^{ème} mode propre. Retrouvez-vous la relation théorique liant les fréquences f_n des harmoniques et la fréquence f_1 du mode fondamental ?
2. Prédire la fréquence associée à une corde présentant 6 fuseaux et essayer de le vérifier par l'expérience.
3. Pourquoi dit-on qu'il y a **quantification** des fréquences des modes propres de vibration ?

Définition du terme quantification (Larousse)

Propriété d'une grandeur physique dont l'ensemble des valeurs numériques possibles est restreint à un ensemble de valeurs discrètes ; opération permettant d'aboutir à la détermination de ces valeurs.

4. Pour quels modes propres le milieu de la corde correspond-il à un nœud de vibration ? même question pour un ventre de vibration. Pour quels modes propres a-t-on un nœud de vibration au tiers de la corde ?
5. Régler la fréquence du GBF de manière à observer le mode harmonique de vibration de rang 3. On éclaire la corde à l'aide d'un stroboscope de même fréquence f_3 (attention, le stroboscope indique un nombre d'éclairs par minute et non pas par seconde !!! il faut donc faire un petit calcul) afin de « figer » la corde (l'arrêt total de tout mouvement apparent est très difficile à obtenir, mais il est facile d'obtenir un mouvement très ralenti) qui prend alors à chaque instant l'aspect d'une **sinusoïde de plus ou moins grande amplitude**.
- Expliquer pourquoi la condition $f_3 = f_{\text{strobos}}$ permet de faire « un arrêt sur image » de la corde en vous posant la question suivante : « soit un point de la corde éclairée par un premier éclair, quel mouvement fait ce point dans l'obscurité et où se trouve-t-il au moment du 2^{ème} éclair ? ».
 - Proposez d'autres valeurs de la fréquence du stroboscope permettant de le réaliser aussi, en expliquant avec soin (un conseil : raisonnez plutôt avec la période)... Vérifiez expérimentalement vos propositions à l'aide du stroboscope.
6. Compléter le tableau suivant après avoir réalisé les expériences appropriées visant à mettre en évidence les paramètres influant sur les fréquences des modes propres. Commenter vos résultats !

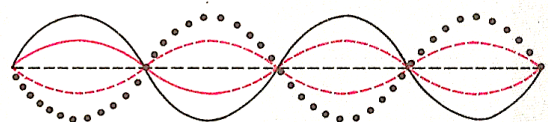
	Expérience 1	Expérience 2 visant à mettre en évidence l'influence de la longueur de la corde	Expérience 3 visant à mettre en évidence l'influence de la tension F de la corde.
Longueur de la corde (en m)	L =	L' =	L'' =
Masse du peson (en kg)	m =	m' =	m'' =
Tension de la corde F (en N)	F = mg =	F' =	F'' =
Fréquence de l'harmonique de rang 3 (en Hz)	$f_3 =$	$f'_3 =$	$f''_3 =$

7. Déduire de vos résultats expérimentaux regroupés dans le tableau ci-dessus, la formule susceptible de régir les fréquences des modes propres, parmi les propositions suivantes :

$$f_n = \frac{nL}{2} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\mu}{F}} \quad f_n = \frac{n}{2F} \sqrt{\frac{L}{\mu}} \quad f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad f_n = 2\pi \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

8. Appliquez la formule retenue sur l'une des expériences du tableau pour en déduire la masse linéique μ de la corde.
9. Voici la représentation d'une corde au 4ème mode propre.

On note λ_4 la longueur d'onde de l'onde, l_4 la longueur d'UN fuseau, c la célérité de l'onde et f_4 la fréquence de l'onde.



Proposez une relation liant :

- λ_4 et l_4 .
 - l_4 et L.
 - λ_4 , c et f_4 .
 - f_4 , c et L.
10. Généraliser les relations obtenues pour le n-ième mode propre (on observe alors n fuseaux de même taille sur la corde de longueur L).
11. En comparant les expressions obtenues aux questions Q7 et Q10, en déduire une expression de la célérité d'une onde se propageant sur une corde.