Corde de Melde

Sujet du TP : Le but de ce TP est d'étudier les ondes stationnaires transversales générées par l'excitation d'une corde tendue : on cherchera expérimentalement les conditions de résonance correspondant aux premiers modes de vibration on mesurera la vitesse de propagation des ondes. On s'intéressera ensuite à l'analyse du son produit par une corde tendue.
Compétences exigibles :
- Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.
- Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.

	S'APPROPRIER	ANALYSER	REALISER	VALIDER	COMMUNIQUER
Questions		Q5 - Q6 -Q7	Q1-Q2-Q3-Q9-Q10-Q14	Q4-Q8-Q11-Q12-Q15	Tout
Notes					

Note finale :

I. Rappels théoriques. Excitation d'une corde tendue : expérience de Melde

Une corde de longueur L et de masse linéique μ est fixée à une extrémité et tendue à son autre extrémité par une masse m. Elle est ainsi soumise à la tension $T = mg$ supposée uniforme. Si on excite transversalement cette corde à une extrémité avec une fréquence v, une onde se propage puis est réfléchie à son autre extrémité fixe, ce qui crée un système d'ondes stationnaires.

- La célérité d'une onde transversale est alors $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, plus la corde est tendue, plus les ondes transversales se propagent vite.
- Il y a résonance entre la réponse en amplitude de la corde et l'excitation imposée, chaque fois que les fréquences de vibrations, v_n vérifient la relation : $v_n = n\frac{c}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ où L est la longueur de la corde. Les n valeurs de v_n sont appelées fréquences propres de la corde. La longueur d'onde λ_n associée au mode n, est donnée par la relation :

$$\lambda_n = \frac{c}{v_n} = \frac{2L}{n}$$

- Relation de dispersion : il s'agit de la relation qui lie la pulsation de l'onde ($\omega = 2\pi v$) à la norme de son vecteur d'onde k, définie par :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \text{ Il s'en suit : } \quad \omega = ck = k\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Ici ω est proportionnelle à k , car c est indépendante de la pulsation. Une onde présentant cette propriété est dite non dispersive.

II. Manipulations

1. Dispositif de la corde de Melde

Une corde est mise en vibration grâce à un vibreur alimenté par un générateur de basse fréquence. Une charge fixée à l'extrémité de la corde permet de la maintenir tendue. La longueur L ainsi que la tension T de la corde sont réglables.

Q1 Alimenter le vibreur par l'intermédiaire du GBF. Tendre la corde à l'aide d'une masse m = 100 g. Faire apparaître la résonance d'un faisceau. Déterminer sa fréquence de vibration à l'aide du stroboscope. Expliquez la méthode de mesure. Pourquoi doit-on chercher la plus grande fréquence des éclairs assurant l'immobilité apparente de le corde ? Qu'observe-t-on si on divise cette fréquence par deux ? Si on la multiplie par 2/3 ?

2. Ondes stationnaires sur la corde de Melde

a. Le mode fondamental

Régler la longueur de la corde à L = 1,0 mètre environ (la mesurer).

Q2 : Augmenter très progressivement la fréquence de l'excitateur et noter vos observations. On notera en particulier la valeur de la fréquence f lors de l'obtention d'un fuseau d'amplitude maximale. Ce mode de vibration est le mode propre fondamental de vibration de la corde. La fréquence correspondante est la fréquence propre fondamentale (notée f_1) de la corde. Comment appelle-t-on ce phénomène ?

b. Influence de la lonqueur de la corde sur la fréquence du mode fondamental

Tendre la corde grâce à une masse marquée m = 100 g et régler la longueur de la corde à $2,0$ m.
Faire varier la fréquence de l'excitateur de manière à faire vibrer la corde dans le mode fondamental. Noter la fréquence f_1 obtenue.
$\boxed{\text{Q3}}$: Augmenter la longueur de la corde, chercher à nouveau la fréquence f_1 pour différentes longueurs.

L(m)														
f_1(Hz)														

$\boxed{\text{Q4}}$ Tracer le graphique adapté pour en déduire la célérité c.

Nous allons reproduire cette régression linéaire avec Python en ajoutant les barres d'erreur.
Ouvrir le fichier Python reglin.py (obtenu par IA :"écris programme python de régression linéaire à partir d'une série de mesures Y=f(X), avec polyfit. Prendre en compte les incertitudes sur X et Y, toujours les mêmes pour toutes les valeurs. Tracer la droite et les barres d'erreur, donner son équation"), le comprendre et le compléter avec vos mesures.
$\boxed{\text{Q4}}$: Donner les résultats obtenus avec le script Python.

c. Les modes harmoniques

On revient à la longueur initiale $L = 1,0$ m.
Faire varier à nouveau la fréquence de l'excitateur et noter sa valeur lors de l'obtention de $1, 2, 3$ puis 4 fuseaux d'amplitude maximale.
$\boxed{\text{Q5}}$: Schématiser vos observations et décrire la manière dont vibre la corde pour ces modes harmoniques de rangs 2,3 et 4 . (Utiliser le stroboscope pour une meilleure visualisation).

$\boxed{\text{Q6}}$: Que pouvez-vous dire des fréquences harmoniques de rang 2,3 et 4 (notées $f_2, f_3, f_4 \dots$) lorsque vous les comparez à la fréquence fondamentale ? Retrouver la relation simple entre v_1 et les fréquences harmoniques.

$\boxed{\text{Q7}}$: Quelle relation y a-t-il entre la longueur d'onde λ_n de l'harmonique de rang n de la vibration observée et la longueur L de la corde ?

$\boxed{\text{Q8}}$: Tracer alors la courbe f = f(1/λ) et en déduire la valeur de la célérité c . Vous pouvez utiliser le script Python précédent en le modifiant pour répondre à cette question. Expliquez succinctement ce que vous faites.

d. Influence de la tension T sur la célérité c

Reprendre cette série de mesures avec une masse m = 50 g. Proposer un protocole, l'appliquer et vérifier la compatibilité avec la variation théorique attendue.

e. Influence de la masse linéique de la corde

Remplacer la corde précédente par une corde de masse linéique différente. Reprendre $L = 1,0$ m et $m = 100$ g .

$\boxed{\text{Q9}}$: Déterminer à nouveau la célérité c pour la corde étudiée.

$\boxed{\text{Q10}}$: Déterminer, par pesée directe de votre corde, la masse linéique de chacune des cordes utilisées.

$\boxed{\text{Q11}}$: En regroupant les résultats des parties d) et e), vérifier la formule de la célérité $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

III. Émission d'un son par une corde pincée

1. Enregistrement du son émis par une corde

On utilise un sonomètre : c'est une caisse de résonance en bois sur laquelle sont tendues deux cordes de même longueur $L = 1,2m$; Cette fois-ci, la corde n'est plus soumise à une excitation périodique, mais à une brève perturbation lorsqu'on la frappe ou la pince : la corde est en oscillations libres. On désire $\begin{cases}\text{observer l'allure des vibrations de la corde.}\\ \text{déterminer la fréquence de ces vibrations et celle du son émis.}\end{cases}$

Le son sera analysé par un micro relié à une interface. Le signal de sortie du micro est assez faible, il est amplifié (montage inverseur et filtrage) avant d'être envoyé sur l'interface d'acquisition. Il est donc nécessaire d'alimenter l'ensemble micro + amplificateur par une alimentation $+15$ V$/-15$ V.

- Placer le chevalet pour que la longueur de la corde soit égale à $1,0$ m.
- Placer le micro à l'intérieur de la caisse de résonance.
- Faire un enregistrement du son émis par la corde, initialement pincée : le signal est appliqué en voie EA0 de l'interface, en utilisant Latis-Pro.

Paramétrage : La durée d'acquisition τ doit être suffisante (250 ms, 10000 points) car la résolution en fréquence de la transformée de Fourier est égale à $\Delta f = 1/\tau$. D'autre part, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à $2f_{\max}$ (théorème de Shannon) pour garder toutes les informations sur le signal. On constate que le signal n'est pas sinusoïdal : le son est alors complexe.

$\boxed{\text{Q12}}$: Déterminer les fréquences caractéristiques qui apparaissent. Vérifier que l'oscillation de la corde peut s'interpréter comme étant la résultante de la superposition de l'ensemble des fréquences propres de la corde. Déduire des fréquences observées la vitesse du son sur la corde étudiée.

2. Influence de l'excitation

Le calcul montre que l'amplitude de l'harmonique n, pour une corde de longueur L fixée aux deux extrémités, initialement pincée à la distance a de l'une des extrémités vaut : $a_n = \dfrac{2\hbar L}{a(L-a)}\dfrac{1}{(n\pi)^2}\left|\sin\left(\dfrac{n\pi a}{L}\right)\right|$ où h représente la distance dont on a initialement écarté la corde par rapport à sa position d'équilibre.

$\boxed{\text{Q13}}$: Que se passe-t-il pour les harmoniques paires quand a = L/2 ? Vérifiez-le sur le spectre en pinçant la corde en son milieu.

On suppose a = L/n où n est un entier. Montrer qu'on supprime alors l'harmonique de rang n . Le vérifier pour n = 3 et 4.

NB : On ne s'attardera pas sur l'amplitude des harmoniques observées, étant donné que la caisse de résonance, ainsi que le micro utilisés sont susceptibles de modifier les amplitudes de manière différente selon les fréquences.

3. Influence de la longueur de la corde sur la fréquence du mode fondamental

- Déplacer le chevalet pour diminuer la longueur de la corde (choisir une longueur du tableau ci-dessous).
- Effectuer un nouvel enregistrement. Mesurer la fréquence du mode fondamental du son émis par la corde.

$\boxed{\text{Q14}}$: Compléter le tableau ci-dessous.

L(m)	$0,4$	$0,6$	$0,8$	$1,0$	$1,2$
f_1(Hz)					

Q15 : Quelle relation vérifie-t-on ?