

TP S3 - Corde de Melde et Analyse Spectrale

Objectifs

L'objectif de ce TP est d'une part, d'étudier le phénomène d'ondes stationnaires sur une corde de Melde, et d'autre part, de réaliser l'analyse spectrale d'un signal en se plaçant dans des conditions d'acquisition optimales. Plus précisément, les capacités suivantes devront être maîtrisées :

- ★ *Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.*
- ★ *Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition pour effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.*
- ★ *Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.*

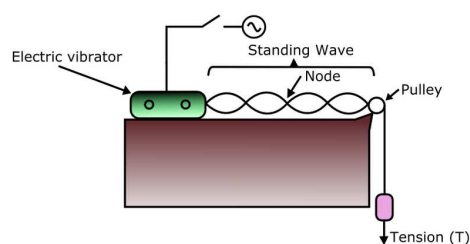
I Présentation du matériel

- ☐ corde excitée par vibreur de fréquence réglable, poulie et masses ajustables
- ☐ grande règle, balance
- ☐ stroboscope reliée à un oscilloscope (déjà connecté)
- ☐ ordinateur avec Latis Pro et boîtier d'acquisition
- ☐ microphone avec alimentation et amplificateur adapté (déjà connecté)
- ☐ 2 diapasons (sans et avec masselotte)
- ☐ flûte à bec

II Étude de la corde de Melde

II.1 Présentation du dispositif expérimental

On souhaite étudier la formation d'ondes stationnaires sur une corde de longueur fixée. Ces ondes stationnaires sont entretenues par un vibreur, de fréquence variable, attaché à l'une des extrémités de la corde. À l'autre extrémité, une masse est accrochée à la corde par l'intermédiaire d'une poulie.



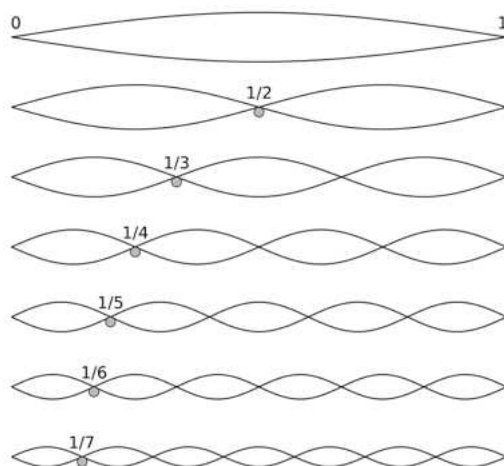
Le tension T de la corde, exprimée en newtons (N), est reliée à la valeur m de la masse accrochée par la relation :

$$T = mg$$

où g désigne l'intensité du champ de pesanteur ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). On rappelle que la célérité c des ondes se propageant sur une corde de masse linéique μ (masse par unité de longueur exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) et de tension T s'écrit :

$$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Pour certaines fréquences d'excitation, on constate que l'amplitude des vibrations de la corde prend une valeur notable : la corde vibre alors dans un état propre. On retrouve alors la structure en ventres et noeuds de vibration étudiée en cours : la distance entre deux noeuds adjacents est égale à une demi-longueur d'onde. La figure ci-dessous donne la représentation des 7 premiers modes propres :



II.2 Utilisation du stroboscope

II.3 Le stroboscope

Un stroboscope est une source de lumière intermittente : par un dispositif mécanique, on produit une alternance de phases lumineuses (flashes) et de phases obscures. Il permet d'observer des phénomènes périodiques dont la fréquence, trop élevée pour l'œil ne permet d'en percevoir qu'un phénomène continu. En réglant la fréquence des flashes sur celle du phénomène, on peut immobiliser le phénomène (on illumine toujours le phénomène dans le même état). En désaccordant légèrement la fréquence, on peut aussi observer le phénomène au ralenti.¹

II.4 Manipulations

- ☞ Régler le vibreur de manière à observer le mode fondamental de vibration de la corde.
- ☞ Régler le stroboscope de façon à observer la corde vibrant au ralenti. Régler le stroboscope de manière à immobiliser la corde.
- ☞ On s'intéresse désormais à la troisième harmonique : le mode propre correspondant présente trois fuseaux. Visualiser le mode propre correspondant. Faire un schéma des fuseaux et indiquer quels sont les points de la corde qui vibrent en coïncidence de phase et quels sont ceux qui vibrent en opposition de phase. Quelle est la relation entre la longueur d'onde λ et la longueur d'un fuseau pour ce mode de vibration ?

1. En plus du matériel fourni, on pourra, avant le TP, télécharger une application gratuite sur son smartphone (Strobe Light Tachometer by Grappetite BV par exemple)

II.5 Mesure de célérité

Avec évaluation directe de l'incertitude (incertitude de type B)

☞ Déterminer la fréquence du mode fondamental. Estimer l'incertitude qui entache cette mesure en précisant son origine.

☞ Mesurer la longueur de la corde et en déduire la longueur d'onde correspondante. Faire apparaître explicitement l'incertitude associée en précisant sa cause.

⚡ Déduire de ce qui précède une mesure de la célérité c de l'onde.

⚡ En déduire la masse linéique de la corde, avec l'incertitude associée. Vérifier la cohérence du résultat avec la valeur annoncée par le constructeur de la corde.

Avec évaluation statistique de l'incertitude par comparaison de mesures (incertitude de type A)

⚡ Mettre en commun les mesures de célérité des différents groupes et tracer la distribution statistique correspondante. À l'aide de cette distribution, estimer l'incertitude de mesure sur l'ensemble des mesures, puis comparer cette estimation à l'incertitude déterminée précédemment.

Prise en compte d'une incertitude systématique

En fait, le mode propre sélectionné n'est pas un mode qui s'annule exactement au niveau du vibreur, de sorte que la longueur d'onde n'est pas exactement égale au double de la longueur de la corde.

☞ Estimer l'ordre de grandeur de l'erreur systématique que l'on commet sur la longueur d'onde, puis sur la vitesse en confondant ces deux grandeurs. Discuter la pertinence de cette assimilation, couramment effectuée dans les manuels scolaires.

II.6 Étude des modes propres

☞ Déterminer expérimentalement les fréquences correspondant aux 7 premiers modes propres.

⚡ Tracer le graphe de la fréquence en fonction du rang de l'harmonique considéré. Vérifier la linéarité de la courbe obtenue. Que cela nous apprend-t-il ?

⚡ Déduire de la courbe une nouvelle mesure de la célérité. Comment pourrait-on évaluer l'incertitude liée à cette mesure ? Est-elle supérieure ou inférieure aux incertitudes associées aux précédentes mesures ?

II.7 Vérification de la loi liant la célérité à la tension de la corde

☞ Proposer un protocole expérimental permettant de vérifier la dépendance annoncée de la célérité avec la tension de la corde. Le mettre en oeuvre.

III Analyse spectrale

On se réfère pour cette partie à la fiche pratique sur l'utilisation de LatisPro pour effectuer une analyse spectrale.²

III.1 Etude de signaux simples

✎ A l'aide du son émis par un diapason, très proche d'un signal monochromatique, optimiser les paramètres d'acquisition pour observer un spectre satisfaisant : constater les effets précédemment décrits sur le spectre d'un trop faible ou d'un trop grand nombre de points d'acquisition.

✎ Faire de même avec le son émis par une flûte à bec ou avec la corde vibrante de l'instrument de votre choix.

III.2 Etude de battements

✎ En frappant deux diapasons légèrement désaccordés, décrire le phénomène de battements observé lors de l'écoute du son produit.

✎ Réaliser l'acquisition du signal résultant. Commenter son allure.

✎ Établir son spectre : on expliquera les précautions à prendre sur la durée d'acquisition pour distinguer les deux fréquences présentes dans le spectre.

III.3 Ouverture aux signaux non périodiques : durée temporelle et largeur spectrale

✎ Réaliser l'analyse spectrale d'un son très bref (on pourra par exemple donner un léger coup sur le micro). Commenter.

Ce qu'il faut retenir !

Effectuer sur votre cahier de laboratoire un bilan du TP résumant :

- ★ les propriétés physiques qui ont été mises en évidence,
- ★ les lois physiques qui ont été démontrées ou utilisées,
- ★ les nouvelles fonctions des différents appareils auxquelles vous avez fait appel. Pour ces dernières, préciser leur rôle et les moyens de les activer.

2. En plus du matériel fourni, on pourra, avant le TP, télécharger une application gratuite sur son smartphone (Accordeur n-Track par exemple)