

CORDE VIBRANTE

On prendra soin de reporter dans le compte-rendu :

courbes visualisées, schémas, mesures et leur incertitude estimée, commentaires et interprétations.

Les graphes et régressions linéaires seront effectuées à l'aide d'un tableur, et imprimées en fin de séance.

Objectifs :

- Mettre en oeuvre une méthode de stroboscopie.
- Décrire et étudier une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.

Recommandations :

Le vibreur s'apparente en fait à un haut-parleur dynamique.

- Travailler avec des fréquences modérées, inférieures à 100 Hz.
- Veiller à maintenir des amplitudes relativement faibles ($< 2\text{-}3\text{cm}$). Ceci garantit la qualité des mesures, la validité de la théorie linéaire, la durabilité du matériel.
- Travailler préventivement avec l'atténuation -20dB pour le GBF, sauf si besoin d'une plus forte amplitude.

I. Oscillations à la résonance - modes propres des ondes stationnaires

I.1.1. Observation des modes

• MANIP 1 : Montage

Réaliser le montage d'une corde tendue par une masse, et excitée par le vibreur. Ce dernier sera alimenté par un GBF suivi d'un amplificateur. On veillera à utiliser une masse totale pas trop grande (150 g au maximum).

On met en marche le vibreur en partant d'une amplitude faible qu'on augmente si besoin. Celui-ci génère un mouvement **transverse** de la corde. Après un régime transitoire de courte durée, la corde effectue des **oscillations forcées**, à une fréquence imposée par le vibreur. On observe alors une **onde quasi-stationnaire**, formée par la superposition d'une onde incidente (se propageant de gauche à droite) et d'une onde réfléchi (de droite à gauche)¹.

On constate que la corde présente des points d'oscillation maximale, appelés *ventres* (de vibration), et des points fixes, appelés *noeuds* de vibration. Deux noeuds consécutifs définissent un *fuseau*. L'existence de ces noeuds correspond à une interférence destructive des ondes incidente et réfléchi à cet endroit.

Q1. Quelle est la relation entre la longueur d'un fuseau et la longueur d'onde λ des ondes transverses se propageant sur la corde ?

En ajustant la fréquence, on atteint une **résonance**, qui se caractérise par une amplitude d'oscillation maximale et un **nombre entier de fuseaux**². L'onde stationnaire observée est alors qualifiée de *mode propre* de la corde. En présence de n fuseaux, le mode propre est appelé *harmonique* de rang n . Dans le cas particulier d'un unique fuseau ($n = 1$), le mode est dit *fondamental*.

Q2. Quelle est la relation entre la fréquence f du mouvement, la vitesse c de propagation des ondes et la longueur ℓ de la corde pour un harmonique de rang n ?

Q3. Quel mode opératoire doit-on suivre pour déterminer la fréquence du mouvement périodique de la corde à l'aide du stroboscope ? On pourra se référer à l'annexe dédiée.

1. L'onde n'est pas parfaitement stationnaire pour deux raisons : i) la réflexion n'est pas parfaite (petite absorption), et surtout parce que ii) la corde interagit de façon complexe avec le vibreur (qui vibre...), ce qui peut conduire à une forme d'instabilité.

2. En réalité le fuseau directement en contact avec le vibreur n'est pas entier puisque le vibreur vibre... cf section II. Mais si la résonance est prononcée on peut négliger cet écart en première approximation.

• **MANIP 2 : Modes propres et stroboscope**

- Faire apparaître le mode fondamental.
- Mesurer sa fréquence. Est-ce la même que celle délivrée par le GBF ?
- Exciter un harmonique d'ordre supérieur. La fréquence est-elle cohérente avec la relation établie ci-dessus ?
- A l'aide du stroboscope, identifier les ventres vibrant en phase ou en opposition de phase ($n \geq 3$).

I.1.2. Vitesse de propagation des ondes transverses

En notant T la tension de la corde, et μ sa masse linéique (par unité de longueur), la théorie linéaire des ondes transverses sur une corde vibrante (vue en SPE) conduit à la vitesse de propagation

$$c = \sqrt{T/\mu}.$$

• **MANIP 3 : Célérité des ondes transverses**

- Mesurer la vitesse de propagation des ondes.
- Comparer avec la valeur attendue d'après la théorie.

II. Oscillations hors résonance - déplacement d'un noeud avec la fréquence

Lorsqu'on se place hors résonance, la fréquence ne correspond pas à celle des modes propres, on observe un nombre fractionnaire de fuseaux. La position des noeuds est toutefois toujours déterminée par une condition d'interférence destructive. Ainsi en théorie, la distance d_k entre le vibreur et le k -ième noeud en partant de la poulie vérifie

$$d_k = \ell_{\text{eff}} - k \frac{c}{2f}.$$

• **MANIP 4 : Position des noeuds**

- Se placer à une fréquence f telle qu'il n'y ait pas un nombre entier de fuseaux.
- Proposer un protocole pour vérifier cette loi, en l'exprimant sous la forme d'une relation affine.
- Effectuer les mesures.
- A l'aide d'un tableur, saisir les mesures, effectuer les calculs nécessaires, tracer le graphe et procéder à une régression linéaire. Retrouve-t-on la même valeur de c ?

III. Polarisation de l'onde

A faible amplitude, le mouvement de la corde se fait dans un plan. On dit que l'onde a une *polarisation rectiligne*³. A plus forte amplitude, le vibreur et la corde ne vibrent alors plus dans un plan.

• **MANIP 5 : Polarisation**

- A l'aide du stroboscope réglé en ralenti apparent, identifier le type de polarisation.
- Montrer qu'à suffisamment grande amplitude, le plan local de vibration de la corde se met alors à tourner.

3. Le vecteur \overrightarrow{HM} formé par un point M de la corde et sa position au repos H évolue le long d'une droite.

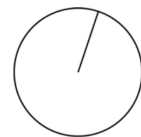
ANNEXE - Le stroboscope

Le stroboscope est utilisé pour étudier des **mouvements périodiques** de période T , trop rapides pour être observés directement à l'oeil (fréquences comprises entre 10 et 200 Hz environ). Il est constitué d'une lampe émettant des flashes (à l'aide d'un dispositif mécanique ou électronique) à une fréquence f_0 connue, variable. Le mouvement à étudier est alors illuminé pendant un temps très court, à intervalles de temps réguliers T_0 . La trajectoire est ainsi en fait *échantillonnée* par le stroboscope.

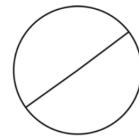
Selon le rapport entre les valeurs de T et T_0 , plusieurs cas peuvent se présenter. Illustrons le principe dans le cas d'un disque donc un rayon est marqué, tournant avec une période T que l'on souhaite mesurer.

Immobilité apparente :

- Si la période du stroboscope T_0 est un multiple entier de la période T du phénomène observé ($T_0 = nT$), on n'observe alors un rayon immobile.
- Si le rapport entre T_0 et T est rationnel ($T_0 = \frac{p}{q}T$ avec p et q entiers naturels), on observe q rayons fixes.



$$T_0 = nT$$



$$T_0 = \frac{3}{2}T$$



$$T_0 = \frac{2}{3}T$$

Mouvements apparents :

Si la période T_0 du stroboscope est proche d'une des deux situations précédentes, on observe un mouvement apparent du ou des rayons. Le mouvement paraît ralenti, direct ou rétrograde.