

**Capacités expérimentales :**

- Fréquence ou période : Mettre en oeuvre une méthode directe ou indirecte de mesure de fréquence ou de période. Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en réalisant des battements.
- Visualiser et décomposer un mouvement. Mettre en oeuvre une méthode de stroboscopie.
- Ondes stationnaires mécaniques. Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.
- Ondes stationnaires mécaniques. Mettre en oeuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.

**Matériel :**

Corde de Melde :

- Corde de Melde sur banc optique avec poulie
- Vibreur + support
- Jeu de masselottes à crochet
- Générateur basses fréquences (GBF)
- Stroboscope (4)
- Écran noir
- Échantillon de corde
- Balance de précision au centième de gramme (2)
- Réglet
- Logiciel Excel

Guitare :

- Guitare
- Accordeur
- Microphone + support + adaptateur prise jack-fiches bananes + amplificateur actif
- Diapasons + caisses 440 Hz
- Excitateur + masselotte
- Mètre ruban
- Oscilloscope numérique
- Cartes d'acquisitions
- Logiciel Latis-Pro

Dans ce TP, on s'intéresse à la mesure de la célérité d'ondes mécaniques transversales sur une corde vibrante fixée à ses deux extrémités : avec la corde de Melde par stroboscopie et avec une corde de guitare par analyse spectrale.

La célérité des ondes transversales sur une corde est de la forme  $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$  avec  $T$  la tension dans la corde et  $\mu$  la masse linéique de la corde.

✍ Vérifier explicitement l'homogénéité de  $c$ .

✍ Déterminer l'expression des fréquences des modes propres  $f_n$  de l'onde mécanique transversale stationnaire, de célérité  $c$ , sur une corde vibrante, de longueur  $L$ , fixée aux deux extrémités par la méthode graphique et la méthode analytique.

✍ Expliquer comment la mesure de la fréquence du mode propre fondamental ou des modes propres de l'onde mécanique transversale stationnaire sur la corde vibrante fixée aux deux extrémités permet de mesurer la célérité des ondes transversales sur la corde.

✍ Rappeler la définition de l'analyse spectrale.

✍ Rappeler comment réaliser expérimentalement l'analyse spectrale d'un signal électrique à l'oscilloscope et sur Latis-Pro.

# 1 Corde de Melde

Le vibreur est alimenté par un signal alternatif délivré par le GBF.

## Quelques précautions expérimentales pour le vibreur :

- Vérifier que le vibreur est sur la position *UNLOCK* (pas *LOCK*!) au risque de le faire chauffer et de l'abimer.
- Pour régler la fréquence du vibreur, augmenter progressivement la fréquence d'excitation en diminuant de calibre à l'approche d'une résonance.
- Pour régler l'amplitude du vibreur, choisir d'abord l'amplitude d'excitation maximale et diminuer l'amplitude à l'approche d'une résonance.
- Rester dans une gamme de fréquences de vibration faiblement audibles (typiquement moins que de l'ordre de la centaine de Hertz).

La corde de Melde est tendue horizontalement entre le vibreur sur le banc optique et une poulie à laquelle est suspendue une masselotte.

## Quelques précautions expérimentales pour la corde de Melde :

- Vérifier que la corde au repos est horizontale et que l'accroche du vibreur et la gorge de la poulie sont dans l'axe du banc optique au risque d'observer des modes transverses.
- Ne jamais démonter la corde de Melde (si besoin utiliser l'échantillon de corde déjà démonté) au risque de désaxer le dispositif.
- Pour modifier la longueur de la corde de Melde, déplacer le vibreur (pas la poulie!) au risque de gêner la suspension de la masselotte.
- Pour modifier la tension dans la corde de Melde, changer la masse de la masselotte dans une gamme raisonnable (typiquement moins que de l'ordre de la centaine de grammes).

 Faire un schéma de la corde de Melde.

On choisira typiquement une longueur de corde  $L$  de l'ordre du mètre et une masse de masselotte  $m$  de l'ordre d'une centaine de grammes.

## 1.1 Observations

- Faire varier la fréquence du vibreur.
-  Décrire l'allure de la corde en fonction de sa fréquence d'excitation.

## 1.2 Mesures des paramètres expérimentaux

- Mesurer la longueur de la corde  $L$ .
-  Donner l'expression de la masse linéique  $\mu$  de la corde en fonction de la masse  $m_{\text{corde}}$  pour une longueur  $L_{\text{corde}}$  d'un échantillon de corde.
- En utilisant l'échantillon de corde (ne pas démonter la corde de Melde!), mesurer la masse linéique de la corde  $\mu$ .
-  Donner l'expression de la tension  $T$  dans la corde en fonction de la masse  $m$  de la masselotte qui y est suspendue via la poulie et de l'accélération de pesanteur terrestre  $g$ .
- Mesurer la tension dans la corde  $T$ .

## 1.3 Mesure des fréquences propres $f_n$ par stroboscopie

On mesure les fréquences propres de la corde de Melde au stroboscope.

### Quelques précautions expérimentales pour le stroboscope :

- Vérifier la gamme des fréquences du stroboscope *RANGE* qui peut être basse *LO* ou élevée *HI*.
- Pour régler la fréquence du stroboscope, diminuer progressivement la fréquence des flashes en diminuant de calibre, de *COARSE* à *FINE*, à l'approche de l'immobilité apparente de la corde de Melde.
- L'affichage du stroboscope est en flashes par minute (pas par seconde!) donc il est préférable de calculer au préalable l'ordre de grandeur de la fréquence en flashes par minute pour le stroboscope à partir de la fréquence en Hertz sur le GBF.

On n'utilise pas le GBF (qui n'est pas un instrument de mesure!) mais si les stroboscopes ne sont pas disponibles, on mesurera exceptionnellement les fréquences au GBF..

- ✎ Expliquer le principe des mesures de fréquences avec un stroboscope.
- Régler la fréquence du vibreur sur l'une des fréquences des modes propres.
- À partir de la fréquence réglée sur le stroboscope :
  - Augmenter ou diminuer légèrement la fréquence.
  - Diviser par deux la fréquence.
  - Multiplier par deux la fréquence.
- ✎ Expliquer vos observations.
- Mesurer la fréquence du mode propre fondamental  $f_1$ .
- Mesurer les fréquences de plusieurs autres modes propres  $f_n$  avec  $n > 1$ .
- ✎ Préciser les précautions expérimentales.

### 1.4 Célérité des ondes transversales sur la corde de Melde

- ✎ À partir de la fréquence du mode propre fondamental, mesurer la célérité des ondes transversales sur la corde de Melde  $c_{Melde 1}$ .
- ✎ Par la méthode de la régression linéaire, valider le modèle et mesurer la célérité des ondes transversales sur la corde de Melde  $c_{Melde n}$ .
- ✎ Comparer les résultats de la mesure de  $c_{Melde}$ .
- ✎ Conclure sur les deux protocoles de mesure de la célérité des ondes transversales sur la corde de Melde  $c_{Melde}$ .
- ✎ Comparer à la valeur attendue de  $c_{Melde}$ .

### 1.5 \* Influence des paramètres expérimentaux

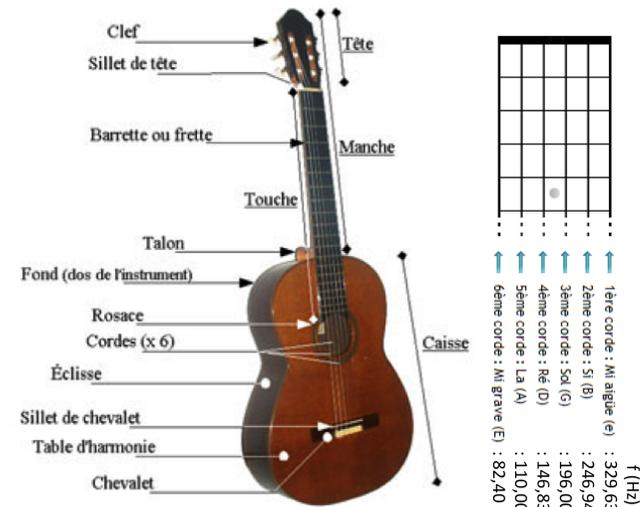
- Proposer et mettre en oeuvre un protocole pour tester l'influence sur les fréquences des modes propres de la corde de Melde des différents paramètres expérimentaux : la longueur et la tension de la corde de Melde.
- ✎ Comment tester l'influence de la masse linéique de la corde de Melde ?

## 2 Guitare

### 2.1 Instrument

La guitare est un instrument à cordes, pincées ou frottées, disposées parallèlement à un manche : une des mains appuie sur les cordes sur le manche de la guitare au niveau des frettes du manche et l'autre main pince ou frotte les cordes au niveau de la rosace (soit avec les ongles et le bout des doigts, soit avec un plectre ou médiator).

Sur la guitare classique, les trois cordes basses (mi, la, ré) sont en nylon filées avec du métal et les trois cordes aiguës (sol, si, mi) sont en nylon.



Les cordes de guitare transmettent les vibrations au chevalet, qui les transmet lui-même à la table d'harmonie. Les résonances à l'intérieur de la caisse conduisent à une amplification des différentes harmoniques transmises à l'air au niveau de la rosace.

Le son est enregistré par un microphone pour convertir le signal sonore en signal électrique.

On admet que les étapes de transmission et d'amplification par les différentes parties de la guitare et la conversion par le microphone sont linéaires.

- ✎ Où placer le microphone pour enregistrer le son de la guitare ?

## 2.2 Observations

- Proposer et mettre en oeuvre des protocoles pour vérifier l'influence des différents paramètres expérimentaux  $L$  et  $T$ .
- ✎ Expliquer vos observations.
- ✎ Peut-on tester l'influence de  $\mu$  ?

On peut par exemple travailler avec la corde Mi aigüe.

- Accorder la corde avec l'accordeur.

## 2.3 Mesures des paramètres expérimentaux

- Mesurer la longueur  $L$  de la corde.
- ✎ Peut-on mesurer la tension  $T$  et la masse linéique  $\mu$  de la corde ?

## 2.4 Mesure des fréquences propres $f_n$ par analyse spectrale

Les analyses spectrales du signal enregistré (converti par le microphone, amplifié par le circuit actif et acquis via la carte) sont réalisées par le calcul spécifique d'analyse de Fourier  $FFT$  dans les traitements du logiciel Latis-Pro \* ou par le module d'analyse de Fourier  $FFT$  dans la fonction  $MATH$  de l'oscilloscope numérique.

- À partir du signal temporel, mesurer la fondamentale  $f_{1,aigüe,t}^{Mi}$ .
- À partir du spectre, mesurer la fondamentale  $f_{1,aigüe,f}^{Mi}$ .
- ✎ Comparer les résultats de la mesure de  $f_{1,aigüe}^{Mi}$ .
- ✎ Conclure sur les deux protocoles de mesure de la fondamentale de la corde Mi aigüe  $f_{1,aigüe}^{Mi}$ .
- ✎ Comparer à la valeur attendue de  $f_{1,aigüe}^{Mi}$ .

### 2.4.1 Célérité des ondes transversales sur une corde de guitare

- ✎ Dédurre des mesures précédentes la mesure de  $c_{aigüe}^{Mi}$ .
- ✎ Comparer à la valeur attendue de  $c_{aigüe}^{Mi}$ .

- \* Par la méthode de la régression linéaire, mesurer la célérité des ondes transversales sur la corde de guitare  $c_{aigüe}^{Mi}$ .

## 2.5 \* Physique musicale

### 2.5.1 Octave

On passe à l'octave en multipliant la fréquence par deux.

- Passer à l'octave avec la guitare.

### 2.5.2 Gamme tempérée

En musique, la gamme tempérée est un système d'accord qui divise l'octave en douze intervalles chromatiques égaux appelés demi-tons.

✎ Expliquer que le passage au demi-ton suivant correspond à une multiplication de la fréquence par  $2^{\frac{1}{12}}$ .

- Vérifier expérimentalement que lorsque l'on raccourcit la corde d'une case en appuyant sur la frette, la fréquence du fondamental augmente d'un demi-ton de gamme tempérée pour la guitare.

### 2.5.3 La 440 Hz

- Avec le matériel disponible, retrouver le La 440 Hz à la guitare.

✎ Justifier qu'on ne s'intéresse pas à la mesure de la célérité d'ondes mécaniques transversales sur une corde vibrante fixée à ses deux extrémités : avec la corde de Melde par analyse spectrale et avec une corde de guitare par stroboscopie.

## Conclusion

Erreurs et bilan (en rouge)

Matériel et logiciel (en vert) : Stroboscope et Microphone

Compte-rendu de TP et Mesures et incertitudes (en noir)

Notions de Physique (en bleu) : Ondes stationnaires

Résonance aux modes propres et décomposition aux modes propres