

## TP 10 : ondes stationnaires et battements.

### 1. Etude de la corde de Melde.

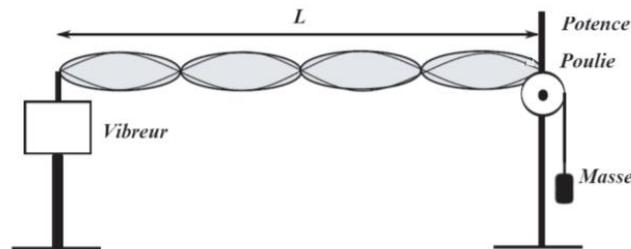
#### 1.1. Introduction.

On cherche à mesurer la fréquence des modes propres résonants sur la corde de Melde et sur les cordes de guitare pour en déduire la célérité des ondes transversales sur les cordes.

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.

#### 1.2. Présentation de la corde de Melde.



La corde de Melde est disposée sur le banc optique entre le vibreur et une poulie où est suspendue une masse. On emploie un vibreur qui sera alimenté par un signal sinusoïdal pur 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 le détruire.
- On prendra le temps d'estimer le plus précisément possible les fréquences des modes propres d'oscillation en modifiant le chiffre défilant sur l'affichage du GBF lorsqu'on tourne la molette et en laissant le temps à la corde de présenter une amplitude d'oscillation constante.
- Pour régler l'amplitude du vibreur, choisir d'abord l'amplitude d'excitation maximale (soit 20Vpp) sur le GBF, on pourra la diminuer lorsqu'on approche de la résonance d'un mode propre de la corde de Melde si cette dernière amène à un mouvement de la corde trop important.
- Rester dans une gamme de fréquences de vibration faiblement audibles (typiquement, on restera sous les 100Hz)

#### Quelques précautions expérimentales pour la corde de Melde :

- Vérifier que la corde au repos est horizontale.
- Vérifier que le vibreur et la poulie sont dans l'axe du banc optique.
- 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 masse.
- Pour modifier la tension dans la corde de Melde, changer la masse dans une gamme raisonnable (on restera en dessous de la centaine de grammes).

**(Pour commencer, 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.)**

#### 1.3. Observations et mesure sur la corde de Melde.

- Faire varier la fréquence du signal envoyé par le GBF pour exciter le vibreur et effectuer les relevés suivants :
  - Pour les quatre fréquences les plus faibles, faire une représentation graphique du fuseau observé en lumière naturelle et y ajouter la représentation graphique d'une position instantanée de la corde observée avec le stroboscope lorsqu'il est synchronisé sur le mouvement de la corde.
  - Etablir alors un tableau donnant pour chaque mode propre de vibration de la corde, la fréquence de résonance, le nombre de nœuds et de ventres ainsi que leur localisation et la longueur d'onde qu'on en déduit. Estimer alors pour chaque cas la célérité des ondes progressives transverses le long de cette corde.
  - En déduire une estimation de cette célérité.

- D'autre part :
  - mesurer la masse d'un échantillon de corde, ainsi que sa longueur. En déduire une estimation de sa masse linéique.
  - Donner une estimation de la tension de la corde.
  - En déduire une estimation de la célérité des ondes progressives transverses se propageant le long de cette corde.
  - Comparer les deux estimations et commenter.

## 2. Enregistrements des sons émis par différents systèmes et exploitation.

### 2.1. Analyse spectrale du son émis par une guitare.

Lorsqu'on joue de la musique sur un instrument, les sons produits sont associés à des sons qu'on peut caractériser par :

- Une fréquence fondamentale qui donne la note jouée, les correspondances sont données par le tableau ci-contre.
- Un timbre associé à la nature complexe du son émis et qui peut être analysé en observant son spectre par l'analyse de Fourier en amplitude.

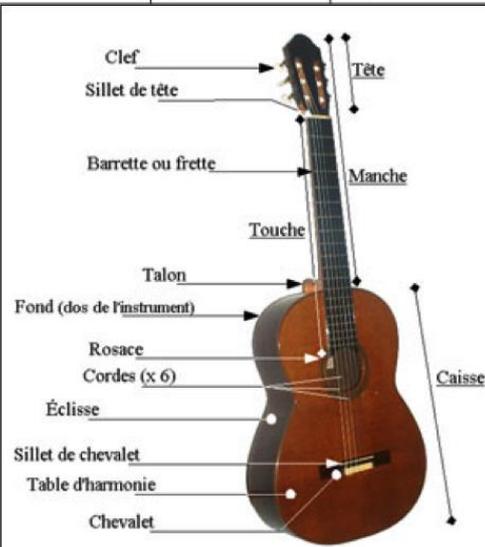
| Note | Note selon la notation anglo-saxonne | Fréquence accordé au 440 Hz |
|------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Do   | C                                    | 261,63 Hz                   |
| Ré   | D                                    | 293,66 Hz                   |
| Mi   | E                                    | 329,63 Hz                   |
| Fa   | F                                    | 349,23 Hz                   |
| Sol  | G                                    | 392,00 Hz                   |
| La   | A                                    | 440,00 Hz                   |
| Si   | S                                    | 493,88 Hz                   |

La guitare est un instrument à cordes pincées ou frottées. Les cordes sont disposées parallèlement au manche, qui est coupé de frettes. Une des mains appuie sur les cordes sur le manche de la guitare 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).

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 fréquences transmises à l'air.

Le son amplifié sort de la caisse par la rosace et peut être enregistré par un microphone.

On admet que les étapes d'amplification des fréquences par les différentes parties de la guitare sont linéaires (aucune nouvelle fréquence n'est créée ni annihilée).



On rappelle dans le tableau ci-dessous les fréquences fondamentales attendues sur une guitare accordée :

| Numéro     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $f_1$ (Hz) | 330 | 245 | 196 | 148 | 110 | 82,4 |

#### On peut par exemple travailler avec la corde Mi aigüe.

- Commencer par accorder la corde avec l'accordeur.
- Mesurer la longueur  $L$  de la corde Mi aigüe.
- A l'aide du microphone, de la carte d'acquisition et du logiciel Latis Pro, effectuer des acquisitions du son émis par la guitare jusqu'à obtenir un résultat satisfaisant.
  - Noter alors les caractéristiques de l'acquisition étudiée (durée Total d'acquisition, nombre de points).
- Réaliser l'analyse spectrale en amplitude du son émis par la corde Mi aigüe.
  - Commenter l'allure du spectre en précisant :
    - ✓ La valeur de la fréquence fondamentale de ce spectre, et la cohérence de cette valeur avec les performances affichées par l'accordeur.
    - ✓ La présence d'harmoniques dont on précisera l'ordre, commenter l'absence ou la présence des harmoniques de rang pair et impair.
    - ✓ Préciser dans un tableau les amplitudes du fondamental et des premières harmoniques non nulles.

**2.2. Enregistrement des battements générés par deux diapasons.**

Lorsque deux sources émettent des ondes sinusoïdales pures de même nature (ici illustré sur des ondes sonores) de fréquences très proches, elles sont susceptibles de produire des **battements**. Ce type de phénomène est parfois observable lorsque deux fenêtres d'un véhicule sont ouvertes en même temps, émettant chacune une onde sonore. Comme les conditions d'excitation sont quasi-identiques sur les deux fenêtres, ces deux ondes sont de fréquences très proches et un « battement sonore » souvent très désagréable se produit.

On va reproduire ce phénomène à l'aide de deux diapasons dont les fréquences sont très proches mais non identiques.

- Exciter le premier diapason (non modifié) à priori et enregistrer le son émis, en faire l'analyse spectrale et indiquer la fréquence à laquelle il vibre.
- Exciter le second diapason (modifié à l'aide d'une masselotte fixée sur une de ces branches) et enregistrer le son émis, en faire l'analyse spectrale et indiquer la fréquence à laquelle il vibre.
- Exciter maintenant les deux diapasons en même temps et enregistrer le son perçu à l'aide du microphone.
- Représenter alors sur votre compte-rendu l'allure de la courbe temporelle relevée et indiquer la pseudopériode des variations de l'amplitude du son enregistrée. Vérifier la cohérence de cette pseudopériode avec les fréquences de vibration des deux diapasons.

---

**Matériel :**

Sons (2) :

2 Diapasons 440 Hz + caisse + excitateur + masselotte  
Microphone + support + adaptateur prise jack-fiches  
bananes amplificateur actif  
Oscilloscope numérique

Guitare (2) :

— Guitare  
— Accordeur  
— Mètre ruban  
— Microphone + support + adaptateur prise jack-fiches bananes + amplificateur actif  
— Carte d'acquisition Campus  
— Logiciel Latis-Pro

Corde de Melde (12) :

— Corde de Melde sur banc optique avec poulie  
— Jeu de masselottes à crochet  
— Vibreur + support  
— Générateur basses fréquences (GBF)  
— Stroboscope (4)  
— Échantillon de corde  
— Mètre ruban  
— Balance (2)

---

**CAPACITES EXIGIBLES illustrée lors de ce TP :**

- Ondes stationnaires mécaniques. Décrire une onde stationnaire observée par stroboscopie sur la corde de Melde.
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.
- Déterminer une différence relative de fréquence à partir d'enregistrements de battements ou d'observation sensorielle directe.