

CORDES VIBRANTES ET TUYAUX SONORES

CONTEXTE DU SUJET

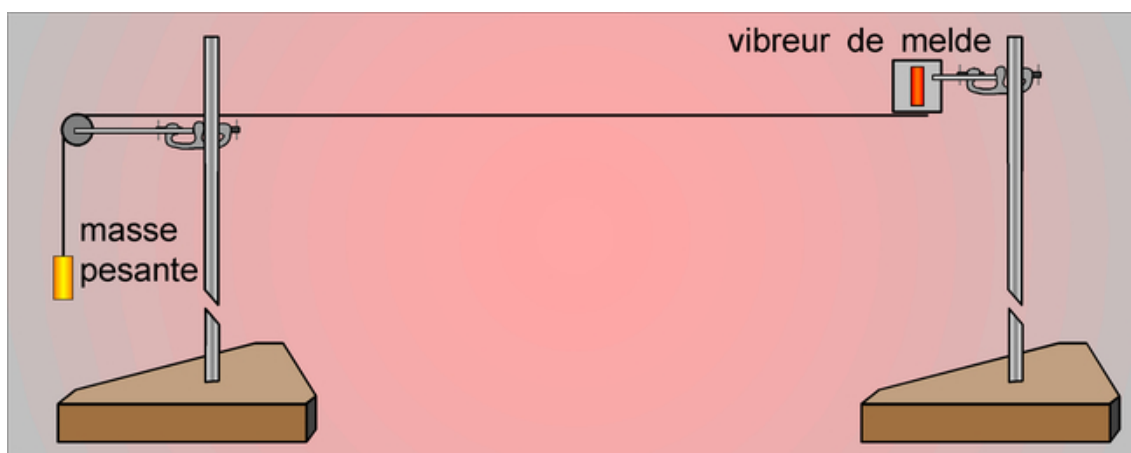
Dans un instrument de musique, un élément vibrant produit une onde sonore complexe qu'il est possible de décomposer en une somme d'un très grand nombre de sons purs : c'est l'analyse harmonique des sons complexes. L'objet de la présente étude est de comprendre le lien entre la façon dont l'élément vibrant entre en vibration d'une part et la composition en harmoniques du son complexe produit d'autre part.

L'étude comporte deux parties : dans la **première partie**, on s'intéressera à ce qui se passe pour une **corde vibrante** tendue entre deux points fixes, ce qui modélise la plupart des instruments à cordes tels que la guitare, le violon, le piano, etc. Dans la **seconde partie**, on étudiera le cas des **tuyaux sonores** qui modélisent la plupart des instruments à vent tels que l'orgue, la flûte, la trompette, etc.

PREMIÈRE PARTIE : COMPORTEMENT D'UNE CORDE TENDUE ENTRE DEUX POINTS FIXES

LA CORDE DE MELDE

Afin d'observer de quelle manière une corde peut vibrer lorsqu'elle est soumise à des excitations mécaniques de différentes fréquences, on relie une de ses extrémités à un vibreur et l'autre, en la faisant passer par une poulie, à une masse marquée pour la tendre. Le vibreur et la poulie sont maintenus à la même hauteur à l'aide de deux supports. La corde, entraînée par le vibreur, peut vibrer à des fréquences que l'on peut sélectionner à l'aide d'un générateur de basses fréquences (GBF). Ce dispositif expérimental est appelé « corde de Melde ». L'observation de la corde peut se faire soit en lumière ambiante, soit en lumière stroboscopique.



Étant donné le matériel nécessaire, les expériences seront réalisées par le professeur.

1. Quelle est l'expression de la force $\vec{F}$ qui modélise l'action mécanique exercée sur la corde par la masse marquée ?
2. Lorsque la corde est tendue par une masse marquée donnée et que sa longueur est fixée, décrire l'évolution de l'aspect de la corde lorsque la fréquence du vibreur augmente.
3. Relever les valeurs des fréquences f_1 , f_2 , f_3 , etc pour lesquelles la corde présente un aspect particulier. Quel est justement l'aspect de la corde pour ses fréquences ?
4. Faire un schéma annoté de l'aspect de la corde pour la fréquence f_3 en utilisant les mots suivants : nœud de vibration, ventre de vibration, corde tendue, onde stationnaire.
5. Quelle relation semble exister entre les fréquences pour lesquelles la corde présente un aspect particulier ?

Chaque état vibratoire de la corde, caractérisé par l'une des fréquences f_i est appelé **mode propre de vibration de la corde**. Lorsque la corde est pincée, grattée (cas de la guitare par exemple) ou frottée (cas de l'archet du violon par exemple), elle entre dans un état vibratoire complexe qui est une combinaison de ses modes propres de vibration.

6. Proposer une explication à l'analyse harmonique des sons complexes.
7. Quels paramètres, autres que la fréquence du vibreur, est-il possible de modifier pour étudier le comportement d'une corde vibrante ?
8. Comment est-il possible de modifier ces paramètres dans le cas d'un instrument de musique à cordes comme le violon ou la guitare par exemple ?
9. Proposer un mode opératoire permettant de mener des investigations expérimentales afin de déterminer l'influence de l'un de ces paramètres au choix.

SECONDE PARTIE : COMPORTEMENT D'UN TUYAU SONORE

LES TUYAUX DES ORGUES

Un orgue est constitué de tuyaux sonores de différentes longueurs. Généralement, ces tuyaux sont à embouchure de flûte (voir ci-dessous) : l'air entrant dans le tuyau vient frapper le biseau de ces tuyaux ouverts à leur extrémité inférieure. L'autre extrémité des tuyaux peut être soit ouverte (« tuyau à bouche » qui produit un son « brillant »), soit fermée (« tuyau à anche » qui produit un son « creux »).



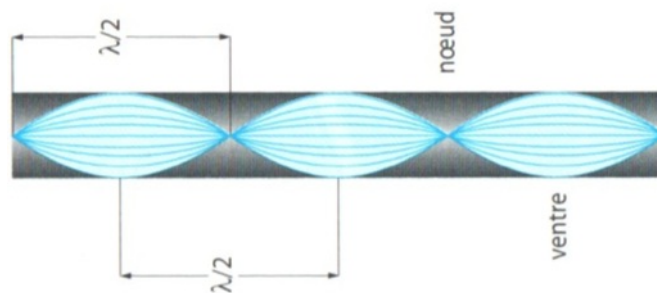
ONDES STATIONNAIRES DANS UN TUYAU SONORE

Comme dans tout instrument à vent, un tuyau sonore d'un orgue émet le son désiré lorsqu'il est le siège d'ondes sonores stationnaires qui résultent de la superposition d'ondes incidentes et d'ondes réfléchies sur ses extrémités ouverte(s) ou fermée(s).

Ces ondes stationnaires ne peuvent s'entendre, pour un tuyau donné, que pour certaines fréquences que le tuyau lui-même va sélectionner. Ces fréquences sont appelées « fréquences de résonance » ou « harmoniques ».

Dans le tuyau sonore d'un instrument à vent, l'existence d'une onde sonore stationnaire se traduit par l'existence de maxima (ventres) et de minima (nœuds) de pression. Un tuyau fermé se terminera donc par un ventre de pression alors qu'un tuyau ouvert se terminera par un nœud de pression. La distance séparant deux nœuds (ou deux ventres) de vibration est égale à la moitié de la longueur d'onde, soit $\frac{\lambda}{2}$.

Le schéma ci-dessous représente un exemple d'onde stationnaire dans un tuyau ouvert à ses deux extrémités.



MATÉRIEL MIS À DISPOSITION

- un ordinateur muni du logiciel d'acquisition de données Latis Pro
- une interface d'acquisition de mesures pouvant servir de GBF sur ses sorties analogiques
- un microphone à électret et son module amplificateur avec sorties en fiches bananes
- un haut-parleur sur support
- trois tubes en plastique de longueur respective 20 cm, 30 cm et 50 cm environ

1. Mise au point d'un protocole expérimental permettant de mettre en évidence les fréquences de résonance d'un tuyau sonore

- 1.1.** À l'aide du matériel proposé, comment peut-on générer une onde sonore à une certaine fréquence ?
- 1.2.** À l'aide du matériel proposé, comment est-il possible de savoir si la fréquence de l'onde sonore produite précédemment est une fréquence de résonance pour le tuyau utilisé ?
- 1.3.** Pour un tuyau donné, comment procéder expérimentalement pour repérer ses différentes fréquences de résonance ?
- 1.4.** À l'aide d'un schéma, résumer le mode opératoire à mettre en œuvre pour mesurer les 5 ou 6 premières fréquences de résonance d'un tuyau sonore.

2. Réalisation du protocole et exploitation des résultats expérimentaux

2.1. Mesurer précisément la longueur de chacun des trois tuyaux et noter les valeurs mesurées.

2.2. Pour chaque tuyau sonore, déterminer expérimentalement les 5 ou 6 premières fréquences de résonances du tuyau et noter les résultats dans le tableau de mesures ci-dessous

L_{th} (en cm)	L_{exp} (en cm)	f_1 (en Hz)	f_2 (en Hz)	f_3 (en Hz)	f_4 (en Hz)	f_5 (en Hz)	f_6 (en Hz)

2.3. Pour le tuyau le plus court, représenter, à l'échelle, l'onde stationnaire s'établissant dans le tuyau pour chacun des fréquences f_1 , f_2 et f_3 (un schéma pour chaque fréquence).

2.4. Dédurre de la question précédente l'expression de la longueur L du tuyau en fonction de la longueur d'onde λ de l'onde stationnaire pour une onde de fréquence f_n où $n \in \mathbb{N}^*$.

2.5. En utilisant la relation liant la longueur d'onde λ et la fréquence f_n , en déduire l'expression de L en fonction de n , f et v (la célérité du son dans l'air).

2.6. Exprimer enfin f_n en fonction de L , n et v .

2.7. En calculant les valeurs théoriques des fréquences de résonance, tester la cohérence des résultats expérimentaux avec l'expression établie précédemment et discuter des sources d'incertitude possibles.