

# TP de Physique n°3 :

## « Cordes »

### **Objectifs :**

- Visualiser des ondes stationnaires à l'aide de l'expérience classique de la « corde de Melde » (qui est explicitement au programme de MPSI). Etudier précisément l'influence de la tension de la corde sur la vitesse de propagation des ondes le long de celle-ci.
- Etudier les principes physiques qui régissent un instrument de musique : le ukulélé.
- Enregistrer des battements et vérifier que le signal réel est bien conforme à la théorie vue en cours.

### **I Expérience de la corde de Melde :**

Pour cette expérience, vous disposez d'une corde dont une extrémité est reliée à un vibreur, qui permet de faire osciller l'extrémité de la corde à une fréquence variable. Le vibreur est alimenté par un générateur basses fréquences (vous utiliserez celui de la marque « DMS »), ce qui vous permet de contrôler la fréquence et l'amplitude des oscillations imposées à l'extrémité de la corde.

Vous ferez passer l'autre extrémité de la corde sur une poulie et accrocherez une masse au bout afin de tendre la corde (vous disposez de plusieurs masses différentes de façon à pouvoir faire varier la tension de la corde).

Vous disposez également d'un mètre-ruban afin de pouvoir mesurer la longueur vibrante de la corde (que l'on notera  $L$ ).

1) Augmentez progressivement la fréquence du vibreur, en commençant à 2 Hz environ. Décrivez et expliquez précisément ce que vous observez (vous ferez des schémas du dispositif expérimental et de vos observations). Pourquoi dit-on que la corde « entre en résonance » à certaines fréquences ? Notez les valeurs des « fréquences de résonance » pour la corde que vous utilisez. Comment ces différentes valeurs sont-elles reliées entre-elles ?

2) Retrouver la formule théorique des différentes fréquences de résonance de la corde en dessinant les différentes ondes stationnaires qui peuvent exister sur la corde.

3) On se propose de retrouver le résultat précédent en utilisant un autre raisonnement : l'idée est de dire que le vibreur génère une onde progressive sinusoïdale qui se propage le long de la corde puis se réfléchit à son extrémité (au niveau de la poulie). L'onde réfléchie se superpose alors à l'onde incidente. Quand ces deux ondes interfèrent constructivement, elles s'ajoutent et l'amplitude du mouvement de la corde devient très grande : la corde entre en résonance.

a) Quel est le décalage temporel  $\Delta t$  entre l'onde incidente initiale (issue du vibreur) et l'onde qui s'est réfléchi à l'extrémité de la corde (au niveau de la poulie) quand elle arrive à nouveau au niveau du vibreur ?

b) En déduire le déphasage  $\Delta\varphi$  entre ces deux ondes.

c) En déduire l'expression des fréquences de résonance  $f_n$  de la corde.

4) a) Rappelez l'expression de la célérité  $c$  des ondes sur la corde en fonction de sa tension  $T$  et de sa masse volumique  $\mu$ , que l'on a conjecturée en cours par une analyse dimensionnelle.

b) En utilisant les différentes masses, établir et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant à la fois de vérifier la dépendance de  $c$  en fonction de la tension  $T$  et de mesurer la masse linéique  $\mu$  de la corde. Comme très souvent en physique expérimentale, on présentera les résultats graphiquement et on essaiera de faire apparaître une droite.

Comparez la valeur de  $\mu$  obtenue à celle annoncée par le fabricant de la corde.

## **II La physique du Ukulélé :**

- 1) Enregistrez le signal sonore émis par une des cordes du Ukulélé quand elle vibre. Vous utiliserez la corde de votre choix, enregistrerez le signal sur plusieurs périodes et choisirez judicieusement les paramètres d'échantillonnage de façon à avoir un enregistrement de qualité.
- 2) Réalisez le spectre de ce signal. Commentez. Quelle est la note jouée par cette corde ? L'instrument est-il correctement accordé ?
- 3) Enregistrez à nouveau le son en bloquant cette fois-ci la corde au niveau de la première frette (i.e. la frette la plus proche de l'extrémité du manche). La note jouée est-elle bien un demi-ton supérieure à celle obtenue quand la corde vibre dans son intégralité ?
- 4) En utilisant deux cordes adjacentes et en jouant sur leurs tensions (attention tout de même à ne pas les tendre trop car elles risqueraient de claquer), essayez d'entendre le phénomène de battements. Une fois que vous entendez les battements, enregistrez le signal sonore avec le micro. La forme du signal est-elle conforme à la théorie ? Réalisez le spectre du signal et commentez le résultat obtenu.
- 5) Mesures les distances  $L_n$  entre le sillet de chevalet et chaque frette. Montrez graphiquement (en essayant de faire apparaître une droite) que ces valeurs suivent une suite géométrique, et déterminez la raison de cette suite. Commentez.

### **Documents : Quelques notions de musique :**

#### **1. La gamme tempérée :**

- Les différentes notes de la gamme tempérée se suivent dans l'ordre suivant : Do, Ré, Mi, Fa, Sol, La, Si, Do... Un « cycle » (ou ensemble de 8 notes) s'appelle une octave.

En musique, on utilise en général 9 octaves (au maximum), numérotées de 0 à 8.

- Chaque note est caractérisée par sa fréquence. La note servant de référence pour accorder les instruments est en général le La<sub>3</sub> (La de la troisième octave) qui a par convention une fréquence de 440 Hz.

Le passage d'une note à la note du même nom à l'octave supérieure multiplie sa fréquence par 2. Ainsi, le La<sub>4</sub> a une fréquence de 880 Hz et le La<sub>2</sub> a une fréquence de 220 Hz.

- Chaque octave est divisée en fait en 12 demi-tons :

Do, Do#, Ré, Ré#, Mi, Fa, Fa#, Sol, Sol#, La, La#, Si, Do.

On voit que deux notes successives (Do et Ré par exemple) sont séparées en général par deux demi-tons (c'est à dire un ton) sauf pour les notes Mi et Fa ainsi que Si et Do qui ne sont séparées que d'un seul demi-ton.

La note intermédiaire entre Do et Ré (par exemple) peut se noter, de manière équivalente, Do# (Do dièse) ou Réb (Ré bémol).

Les fréquences des 12 notes (si on compte les dièses) composant une octave suivent une série géométrique de raison  $2^{\frac{1}{12}}$  (racine douzième de 2, ou 2 puissance un douzième). Autrement dit, pour passer d'une note à la note un demi-ton au dessus, on multiplie sa fréquence par  $2^{\frac{1}{12}}$ . Ainsi, quand on s'est déplacé d'une octave, la fréquence de la note a ainsi été multipliée par  $\left(2^{\frac{1}{12}}\right)^{12} = 2$ .

Le tableau qui suit donne les fréquences des différentes notes de la gamme tempérée.

Note \ octave	0	1	2	3	4	5	6	7
do ou si <sup>#</sup>	32,7	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093	4186,01
do <sup>#</sup> ou ré <sup>b</sup>	34,65	69,3	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92
ré	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64
ré <sup>#</sup> ou mi <sup>b</sup>	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03
mi ou fa <sup>b</sup>	41,2	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04
fa ou mi <sup>#</sup>	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65
fa <sup>#</sup> ou sol <sup>b</sup>	46,25	92,5	185	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91
sol	49	98	196	392	783,99	1567,98	3135,96	6271,93
sol <sup>#</sup> ou la <sup>b</sup>	51,91	103,83	207,65	415,3	830,61	1661,22	3322,44	6644,88
la	55	110	220	440	880	1760	3520	7040
la <sup>#</sup> ou si <sup>b</sup>	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62
si ou do <sup>b</sup>	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13

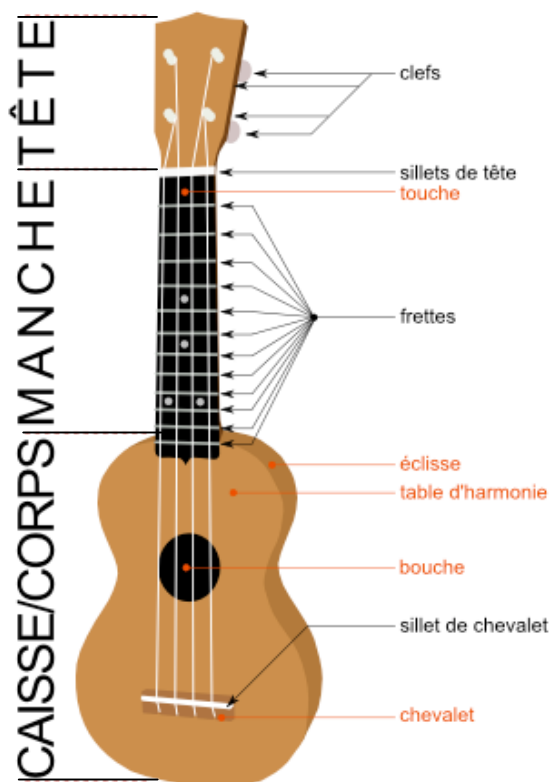
### Fréquences (en Hertz) des notes dans la gamme tempérée

## 2. Hauteur et timbre d'un son :

La hauteur d'un son correspond à la fréquence de ce son. Plus précisément, si on décompose le signal sonore en série de Fourier, la hauteur correspond à la fréquence du fondamental. Plus cette fréquence est élevée, plus on dit que le son est aigu, plus elle est basse, plus le son est grave.

Deux sons de même hauteur (i.e. même fréquence du fondamental) émis par deux instruments différents ne sont pas exactement identiques : on dit qu'ils ont des timbres différents. Si on fait une décomposition en série de Fourier, le timbre dépend en fait des amplitudes relatives des différentes harmoniques.

## 3. Le Ukulélé :



Le Ukulélé est un instrument à cordes pincées originaire de Hawaï, datant de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Il est constitué d'un manche sur lequel sont tendues 4 cordes (au lieu de 6 pour une guitare) qui vont émettre le son en vibrant, et d'une caisse de résonance en bois qui permet d'amplifier ce son.

En haut du manche (sur la tête) se trouvent des clefs qui, quand on les tourne, permettent de modifier la tension des cordes et ainsi de régler la fréquence des sons émis, c'est à dire d'accorder l'instrument.

Le long du manche se trouvent des barrettes métalliques, appelées « frettes », qui permettent de faire varier la longueur vibrante d'une corde et ainsi de jouer différentes notes. En pratique, il ne faut pas appuyer sur la corde directement au niveau d'une frette, mais mettre son doigt dans la case au dessus.

L'accordage standard d'un Ukulélé est sur un accord de Do sixième, soit Sol, Do, Mi, La de la quatrième vers la première corde (la première corde est celle qui est la plus proche du sol en position de jeu).