EXERCICE III - CONCERT DE VIOLONS (4 points)
BAC S 2011 Spécialité Métropole http://labolycee.org

Avant de débuter un concert, les instrumentistes doivent accorder leurs instruments.
Le chef d'orchestre dispose de repères techniques simples mais efficaces pour vérifier la justesse des sons émis par l'orchestre

L'objet de cet exercice porte sur l'étude des sons émis par des violons, la vérification de l'accord entre deux violons et la participation du chef d'orchestre à ces réglages.

Pour tout l'exercice, on considère la célérité v du son dans l'air, à 20°C, égale à 340 m.s^{-1}.

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes.

1. Le violon

La **figure 1** représente les enregistrements réalisés dans les mêmes conditions, de sons de fréquence f_1 = 440 Hz (la_3) émis par un violon d'une part et par un diapason d'autre part.

1.1. Parmi les caractéristiques physiques d'un son musical figurent la hauteur et le timbre. En analysant les deux oscillogrammes de la **figure 1**, préciser la caractéristique qui différencie les sons des deux émetteurs.

1.2. Quel nom donne-t-on à la fréquence f_1?

1.3. Calculer les valeurs des fréquences f_2 et f_3 présentes dans le spectre fréquentiel du violon.

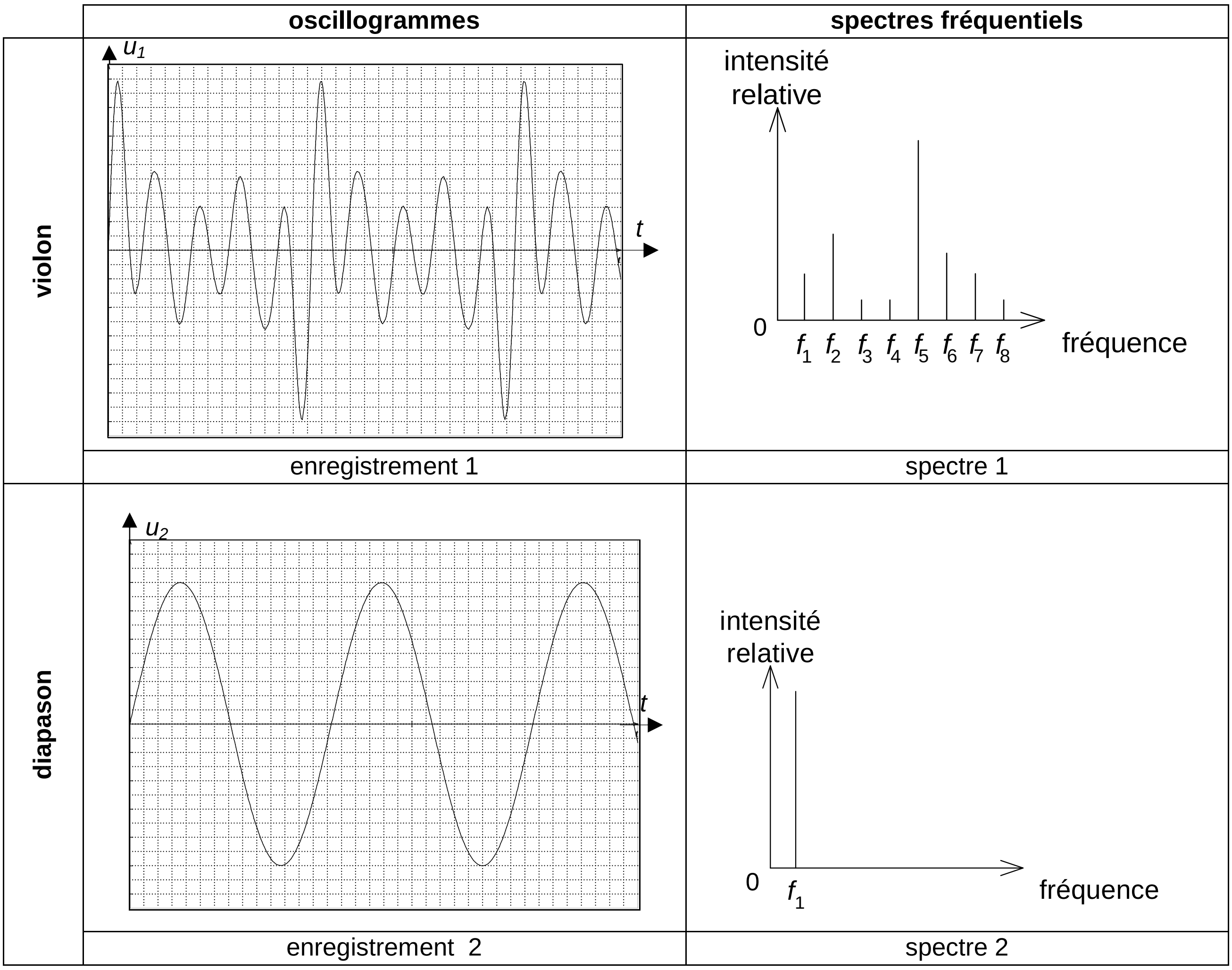


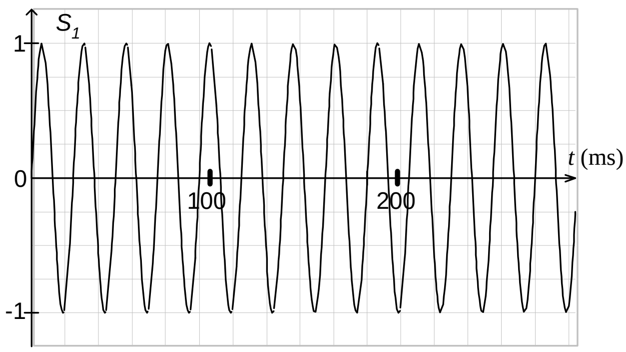
Figure 1. Enregistrements et spectres fréquentiels des deux émetteurs sonores

2. L’ensemble des violons

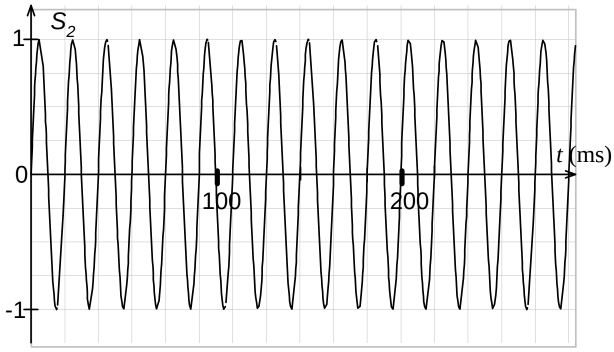
2.1. Les battements

Avant le concert, les violonistes cherchent à accorder leur instrument en jouant la note la_3 de fréquence égale à 440 Hz. La fréquence émise par chaque instrument n’étant pas rigoureusement égale à 440 Hz, le son résultant est alternativement plus ou moins intense : on entend des battements qui sont des variations périodiques de l’amplitude sonore.

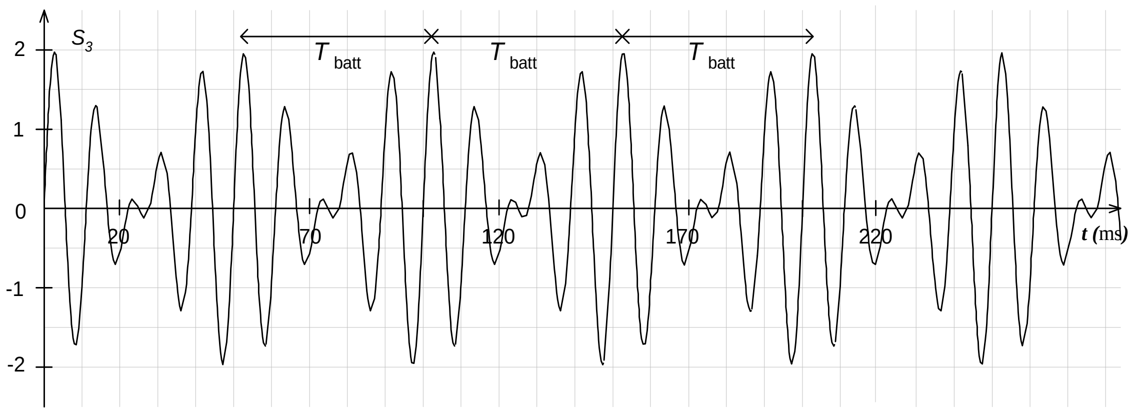
Pour rendre compte de ce phénomène, on simule à l’aide d’un ordinateur des signaux dont les fréquences f_a (courbe 1 de la **figure 2**) et f_b (courbe 2 de la **figure 2**) diffèrent légèrement : f_a = 420 Hz et f_b = 460 Hz.
Ensuite, on effectue l’addition de ces deux signaux (courbe 3 de la **figure 6**).
Les courbes obtenues sont rassemblées **figure 2** ci-dessous.



courbe 1



courbe 2



courbe 3

Figure 2. Courbes simulant les signaux sonores

2.1.1. La période des variations d’amplitude, encore appelées battements, est notée T_{batt} (voir courbe 3 de la **figure 2**). On souhaite vérifier que $f_{batt} = \dfrac{1}{T_{batt}} = \dfrac{f_b - f_a}{2}$. Pour cela, déterminer la valeur de f_{batt} à partir de la courbe 3 et la comparer à celle de $\dfrac{f_b - f_a}{2}$.

2.1.2. Lorsque le musicien constate l’arrêt des battements, que peut-il en conclure ?

2.2. Comment accorder les violons ?

2.2.1. On considère une corde de violon. On note L la distance entre les deux points d'attache sur l'instrument. Excitée dans son mode fondamental à la fréquence f_0, la corde est le siège d'ondes stationnaires, on observe un fuseau. Donner la relation entre L et la longueur d'onde λ.

2.2.2. Les ondes stationnaires résultent de la superposition d'ondes progressives de célérité v. Exprimer v en fonction de f_0 et L.

2.2.3. On donne $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$ avec F la valeur de la tension de la corde et μ sa masse linéique. Vérifier l'homogénéité de cette équation.

2.2.4. Donner une expression de la fréquence f_0 en fonction de F, μ et L.

2.2.5. Si la corde d'un violon émet un son de fréquence 460 Hz, comment doit-on agir sur la corde pour retrouver la note la_3 de fréquence 440 Hz ?

2.3. Niveau sonore et intensité

Au début du concert, un groupe musical comportant dix violons se produit.

On rappelle que le niveau sonore, exprimé en décibels (dB) d'une source sonore est donné par la formule :

$$L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

Avec : I_0 : Intensité de référence correspondant à l'intensité minimale audible : $1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2} ;
I_1 : Intensité sonore donnée par une source sonore en W.m^{-2}.

Soit pour n sources sonores : $L_n = 10 \times \log\left(\dfrac{n.I_1}{I_0}\right)$

On rappelle : $\log(a \times b) = \log a + \log b$

2.3.1. Vérifier que le niveau sonore minimal perceptible est de 0 dB.

2.3.2. On estime à 70 dB le niveau sonore produit par un seul violon à 5 m. Calculer le niveau sonore produit par le groupe musical. On considère que tous les violons sont à 5 m de l'auditeur.

2.3.3. L'exposition à une intensité sonore $I = 1{,}0 \times 10^{-1}$ W.m^{-2} peut endommager l'oreille de l'auditeur. Combien de violons doivent jouer pour atteindre cette intensité pour un auditeur situé à 5 m ? Conclure.

3. Conduite d'un orchestre à l'oreille

L'octave entre deux notes, obtenue historiquement en divisant la longueur d'une corde d'instrument par deux, pour obtenir ainsi une fréquence double, est devenue le support des gammes en musique.

Dans la gamme dite tempérée, l'octave est divisée en douze intervalles de fréquences appelés demi-tons tels que le rapport des fréquences de deux notes successives soit le même.

Si on note f_1, f_2, ...f_i, f_{i+1}... , f_{12} les fréquences séparées par un demi-ton, on obtient $\dfrac{f_{13}}{f_1} = 2$ par définition de l'octave.

3.1. Vérifier que pour deux fréquences successives f_i et f_{i+1} séparées par un demi-ton le rapport constant des deux fréquences $\dfrac{f_{i+1}}{f_i}$ est égal à $2^{\frac{1}{12}}$.

3.2. Un chef d'orchestre dispose de capacités auditives développées qui lui permettent de distinguer et reconnaître précisément et en particulier la note la_3 et la note si_3 située deux demi-tons au-dessus. Calculer la fréquence de la note si_3 sachant que celle du la_3 est égale à 440 Hz.