

3. Entendre l'arbitre lors d'un match

Le basket-ball est un sport dans lequel le public peut se manifester bruyamment à n'importe quel moment. Pour autant, l'arbitre, qui signale les fautes grâce à un sifflet, doit pouvoir être entendu par tous les joueurs.

On admet que l'on peut distinguer un son très bref et aigu du bruit ambiant si son niveau sonore est supérieur d'au moins 3 dB à celui du bruit ambiant.

On rappelle que :

- le niveau d'intensité sonore noté L_{son} s'exprime en dB et est lié à l'intensité sonore I au point considéré par :

$$L_{\text{son}} = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

où $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ est conventionnellement la plus faible intensité sonore détectable par l'oreille humaine et où \log désigne le logarithme décimal ;

- si une source sonore ponctuelle de puissance sonore P est placée dans un milieu sans obstacle et non absorbant, alors l'intensité sonore à une distance d de la source s'exprime par :

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

- les sons trop forts constituent un danger pour l'appareil auditif. Lorsque le niveau d'intensité sonore est trop important, il faut porter des protections auditives, comme des bouchons d'oreilles. La figure 5 donne quelques ordres de grandeur de niveaux d'intensité sonore et indique, notamment, le seuil de danger au-delà duquel le son peut entraîner des lésions dans l'oreille.

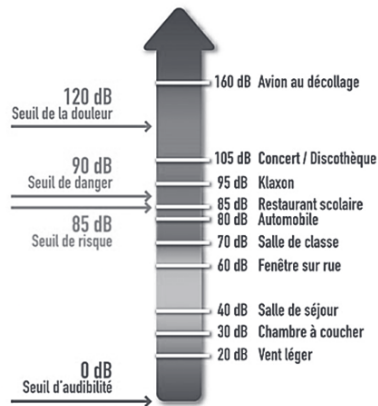


Figure 5. Échelle des niveaux d'intensité sonore perçus par l'oreille (source *mur-silenzo.com*)

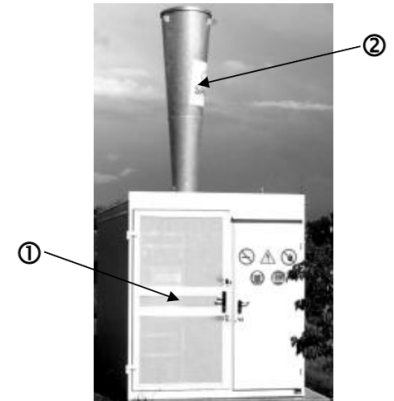
Q16. On suppose que l'arbitre siffle au moment où est commise une faute. À cet instant, il est à une distance $d_1 = 20 \text{ m}$ du joueur le plus éloigné sur le terrain et à une distance $d_2 = 1,0 \text{ m}$ d'un joueur remplaçant assis sur un banc au bord du terrain. À l'aide d'un calcul, déterminer si le joueur remplaçant doit porter des protections auditives, sachant que le bruit ambiant est de l'ordre de 80 dB.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

EXERCICE 2 – SÉCURITÉ ACOUSTIQUE (5 points)

Le réchauffement climatique a un impact sur la fréquence et l'intensité des épisodes de grêle. « Une fréquence augmentée de 30 %, une intensité augmentée en moyenne de 10 % à 15 % », assure Jean Jouzel, climatologue et ancien membre du GIEC.

Afin de protéger leurs cultures des dégâts que peut engendrer la grêle, certains agriculteurs ont opté pour l'installation de canons anti-grêle (photographie ci-contre). Il s'agit de générateurs d'ondes de choc brèves, composés d'une chambre d'explosion (1) et d'un diffuseur conique (2).



<https://www.francebleu.fr>

Le principal inconvénient de ce type d'installation est la nuisance sonore liée aux explosions bruyantes qui se succèdent quand un orage est annoncé.

Dans cet exercice, nous allons nous intéresser aux questions suivantes : de quel ordre est le risque sonore lié à l'utilisation du canon anti-grêle pour une personne qui habite ou travaille à proximité ? Peut-on le prévenir à l'aide d'un dispositif nommé « silencieux », installé sur le canon ?

Données :

- Puissance acoustique d'un canon anti-grêle : $P = 503 \text{ W}$
- Pour une source sonore ponctuelle, l'intensité sonore I à une distance d de la source est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation : $I = \frac{P}{4 \times \pi \times d^2}$
- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,00 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- Niveau d'intensité sonore : $L = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

1. Risque sonore du canon anti-grêle

On se propose d'étudier le risque sonore du canon anti-grêle pour une personne qui travaille ponctuellement à proximité afin de la conseiller sur des actions de prévention.

Q1. Calculer la valeur de l'intensité sonore I_1 perçue par un travailleur situé à une distance $d_1 = 1,00 \text{ m}$ du canon anti-grêle.

Q2. Montrer que le niveau d'intensité sonore L_1 à la distance $d_1 = 1,00 \text{ m}$ du canon vaut $L_1 = 136 \text{ dB}$.

Q3. À l'aide du document 1, page 8, indiquer quels conseils donner à une personne exposée au bruit qui travaille dans un périmètre d'un mètre autour d'un canon anti-grêle en fonctionnement.

Document 1 - Valeurs limites d'exposition

Exposition quotidienne pendant 8 h	Bruits courts	Actions requises
Quel que soit le niveau		Pas d'obligation à mettre en place des actions spécifiques. Évaluation du risque. Suppression ou réduction au minimum des risques liés à l'exposition au bruit.
Supérieur ou égal à 80 dB et inférieur à 85 dB	Supérieur ou égal à 135 dB et inférieur à 137 dB	Mise à disposition de protections individuelles contre le bruit (PICB). Information et formation des travailleurs sur les risques et les PICB. Examen audiométrique préventif proposé.
Supérieur ou égal à 85 dB et inférieur à 87 dB	Supérieur ou égal à 137 dB et inférieur à 140 dB	Mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction d'exposition au bruit. Signalisation des endroits concernés et limitation d'accès. Port obligatoire des PICB. Contrôle du port effectif des PICB. Examen audiométrique préventif régulier.
Supérieur ou égal à 87 dB	Supérieur ou égal à 140 dB	Signalisation des endroits concernés, limitation et contrôle des accès. Adoption immédiate de mesures de réduction du bruit.

D'après https://www.cmsm.fr/wp-content/uploads/2019/12/bruit_et_reglementation.pdf

On se propose maintenant d'étudier le risque sonore du canon anti-grêle pour un habitant du secteur, exposé de manière continue au bruit du canon.

Sur le plan ci-dessous, on note C la position du canon anti-grêle et H la position de l'habitant dans son habitation. On note d_2 la distance entre le canon et l'habitation ($d_2 = HC$).



On admettra que $L_2 = L_1 - 20 \times \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$.

Q4. À l'aide du plan, déterminer la valeur de la distance d_2 et en déduire la valeur du niveau d'intensité sonore L_2 d'une détonation entendue au niveau de l'habitation H.

Q5. Déterminer si les détonations du canon anti-grêle présentent un risque sonore pour les habitants de l'habitation H et expliquer pourquoi.

Le niveau d'intensité sonore n'est pas le seul facteur de risque. On appelle émergence sonore ε_s la modification du niveau d'intensité sonore ambiant du fait d'un bruit soudain. L'émergence sonore peut entraîner une augmentation du stress.

En première approche, on peut évaluer l'émergence sonore par la différence de niveau d'intensité sonore entre un son ponctuel et le son ambiant. Le code de la santé publique indique que l'émergence sonore ne doit pas dépasser +5 dB le jour et +3 dB la nuit.

Ces éléments vont permettre d'affiner l'étude du risque acoustique autour de l'habitation. Le niveau d'intensité sonore moyen ambiant autour de l'habitation H, L_H , vaut $L_H = 65$ dB. Au moment d'une explosion du canon, le niveau d'intensité sonore de la détonation entendue au niveau de l'habitation H, L_2 , est mesuré à $L_2 = 75$ dB.

Q6. Calculer, au niveau de l'habitation, la valeur de l'émergence sonore ε_s due au fonctionnement du canon.

Q7. Commenter ce résultat en considérant les attendus du code de la santé publique.

2. Réduction d'un risque au moyen d'un silencieux

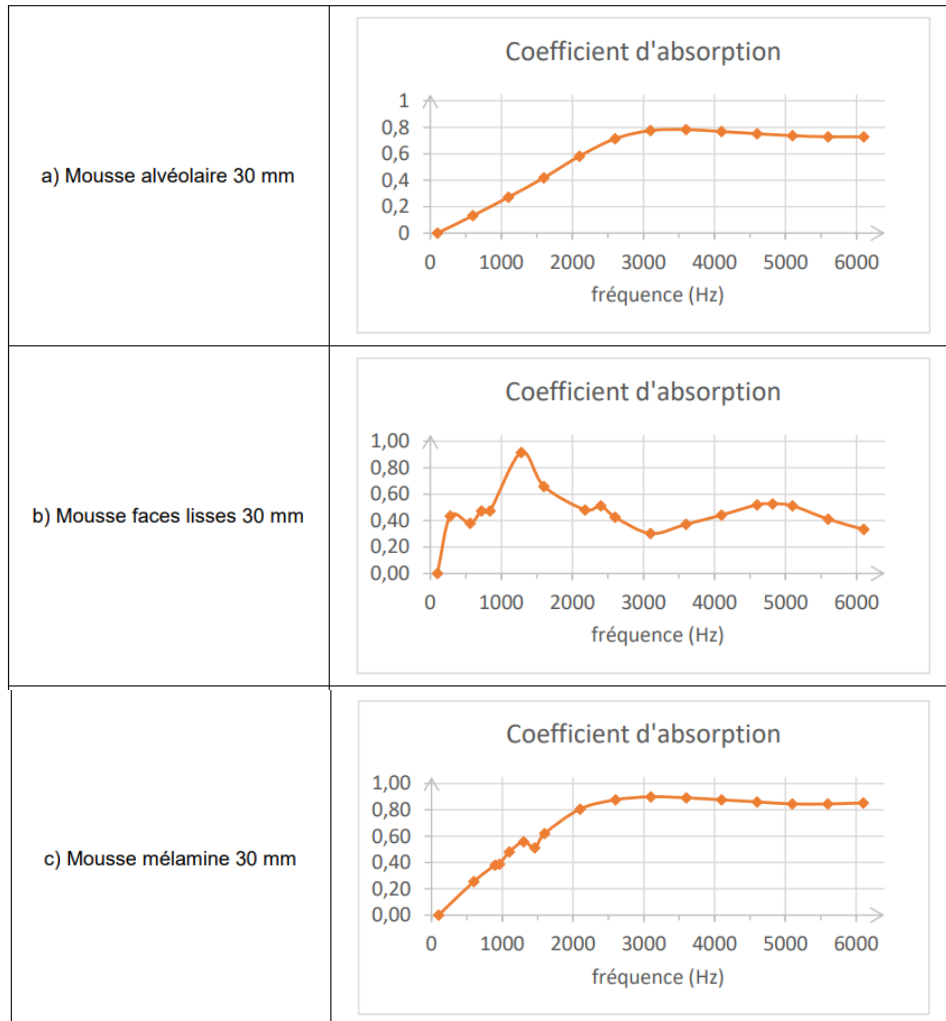
Afin de résoudre les risques étudiés précédemment, le canon anti-grêle est équipé d'un silencieux entourant le canon. Ce silencieux est constitué d'un coffrage recouvert à l'intérieur d'un matériau isolant phonique.

Le coefficient d'absorption acoustique C_{abs} d'un matériau servant à l'isolation phonique caractérise sa capacité à atténuer les sons. Plus le coefficient d'absorption acoustique est élevé, meilleure est l'isolation. C'est une grandeur sans unité.

On admet qu'un coup de canon est un son de fréquence f d'environ 1000 Hz.

Q8. Parmi les matériaux présentés dans le document 2, page 10, préciser celui qui est le plus adapté pour tapisser les parois du silencieux. Justifier.

Document 2 - Variation du coefficient d'absorption acoustique C_{abs} de différents matériaux en fonction de la fréquence f du son à absorber, pour une épaisseur de 30 mm de matériau



<https://www.solutions-elastomeres.com/>

Le matériau choisi à la question **Q8** permet en moyenne de réduire de 14 dB la transmission du bruit à travers les parois du canon anti-grêle.

Q9. Déterminer si le canon anti-grêle muni d'un silencieux représente un facteur de risque sonore au niveau de l'habitation H selon les attendus du code de la santé publique. Justifier.

3- Exercice 3- 24-PYCJ1G11

EXERCICE 2 : utilisation d'un laser comme instrument de mesure (6 points)

On souhaite savoir si un voile en polyester peut être utilisé comme moustiquaire. Pour ce faire, on mesure la taille des mailles rectangulaires à l'aide d'un montage de laboratoire.

1. Vérification de la longueur d'onde du laser

Le montage ci-dessous est réalisé avec une diapositive comportant une fente de largeur connue.

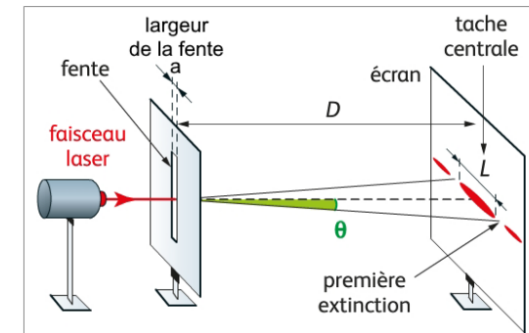


Figure 1 : montage de diffraction

Une série de mesures, avec une distance $D = (1800 \pm 2)$ mm est effectuée. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

a (μm)	30	40	60	80	100	150	200
L (mm)	77	59	40	30	24	16	12

Données :

- approximations des petits angles, exprimés en radians : $\sin \theta \approx \theta$ et $\tan \theta \approx \theta$;
- relation théorique entre l'angle de diffraction θ et la valeur de la largeur de la fente a pour les petits angles : $\theta = \frac{\lambda}{a}$;
- accord d'une mesure avec une valeur de référence : on compare, le cas échéant, le résultat d'une mesure X à une valeur de référence $X_{\text{réf}}$ en utilisant le quotient $\left| \frac{X - X_{\text{réf}}}{u(X)} \right|$ où $u(X)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Q.1. Exprimer, à l'aide de la figure 1, l'angle de diffraction θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de la distance D .

En utilisant un tableur et la relation précédente, on obtient le tableau suivant :

$1/a \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$3,33 \cdot 10^4$	$2,50 \cdot 10^4$	$1,67 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^4$	$6,67 \cdot 10^3$	$5,00 \cdot 10^3$
$\theta \text{ (rad)}$	$2,14 \cdot 10^{-2}$	$1,64 \cdot 10^{-2}$	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$8,33 \cdot 10^{-3}$	$6,67 \cdot 10^{-3}$	$4,44 \cdot 10^{-3}$	$3,33 \cdot 10^{-3}$

Un script écrit en langage python permet ensuite de tracer $\theta = f(1/a)$. On obtient les figures 2 et 3 ci-dessous dans lesquelles θ sera noté θ et $1/a$ sera noté inv_a :

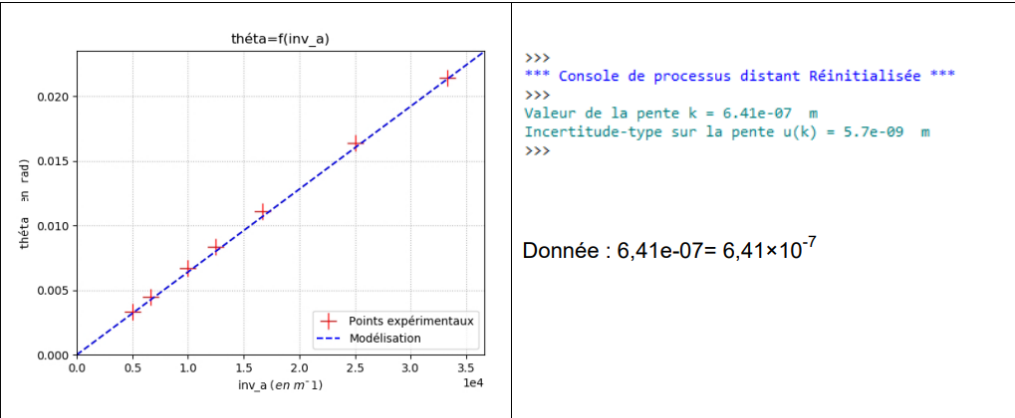


Figure 2 : tracé de $\theta = f(1/a)$

Figure 3 : indication de la console en langage python

- Q.2.** Dédurre des informations précédentes la valeur de la longueur d'onde λ_{laser} du laser utilisé. Justifier.
- Q.3.** Indiquer si la valeur mesurée est en accord avec la longueur d'onde $\lambda_{\text{réf}} = 650 \text{ nm}$ indiquée sur la notice fournie par le constructeur.

2. Mesure de la taille d'une maille rectangulaire d'un voile polyester

Le but de cette partie est de mesurer les dimensions b et b' du voile polyester disponible dont le maillage est représenté sur la figure suivante :

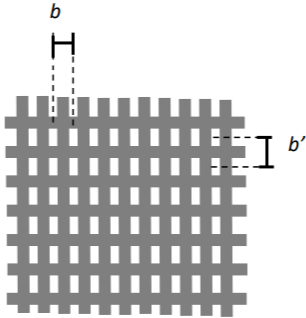


Figure 4. Schéma du maillage du voile

On réalise une expérience d'interférences pour évaluer ces dimensions en utilisant la diode laser précédente et en réalisant le montage suivant :

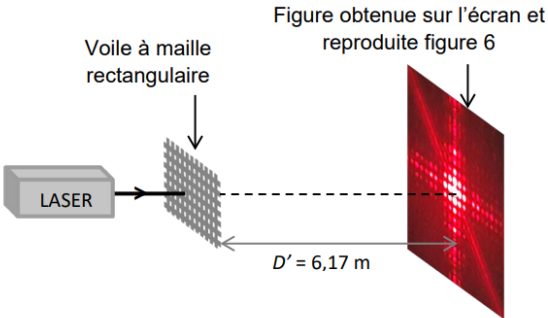


Figure 5. Montage utilisé (échelle non respectée)

Données :

- diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 20) \text{ nm}$ où ce qui suit le \pm représente l'incertitude-type associée à la longueur d'onde ;
- distance $D' = (6,17 \pm 0,03) \text{ m}$ où ce qui suit le \pm représente l'incertitude-type associée à la distance ;
- on note b la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage horizontal et b' la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage vertical du voile ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur la figure suivante :

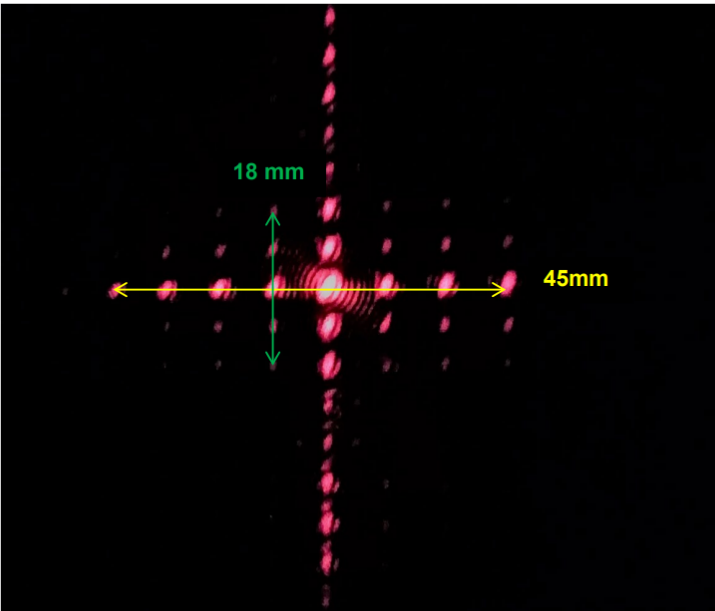


Figure 6 : interférences obtenues avec le voile

- l'interfrange horizontale, notée i , est définie comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe horizontal identifié sur la figure 6 ;
- l'interfrange verticale, notée i' , est définie comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe vertical identifié sur la figure 6 ;
- L'expression de l'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda \times D'}{b}$ et $i' = \frac{\lambda \times D'}{b'}$;
- L'incertitude-type $u(b)$ sur la grandeur b peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D')}{D'}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où $u(x)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur x .

- Q.4.** Évaluer les valeurs des interfranges, i et i' , à l'aide des dimensions figurant sur la figure 6.
- Q.5.** En déduire les valeurs des dimensions b et b' du voile utilisé, ainsi que leurs incertitudes associées, en considérant les incertitudes-types sur i et i' : $u(i) = u(i') = 0,1\text{mm}$. Écrire les résultats avec un nombre adapté de chiffres significatifs.
- Q.6.** Expliquer pourquoi la distance D utilisée dans le montage de la partie 1 a dû être remplacée par une distance D' pour effectuer la mesure de la partie 2.

Selon les recommandations de l'ECARF (fondation européenne de recherche sur les allergies), une moustiquaire anti-pollen doit posséder à minima 3 fois plus d'ouvertures par cm^2 qu'une moustiquaire classique qui en comporte 50 par cm^2 .

- Q.7.** Estimer le nombre d'ouvertures par cm^2 du voile polyester testé. Indiquer s'il est utilisable comme moustiquaire anti-pollen selon l'ECARF.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche pertinente, même non aboutie, sera valorisée.

3. Vitesse d'un coup droit smashé au tennis de table

Pour améliorer la rapidité de son coup droit, un joueur se munit à l'entraînement d'un cinémomètre, appareil qui mesure la vitesse d'un objet, par effet Doppler (**Figure 7**).



Figure 7 : cinémomètre Doppler

Pour que la mesure de la vitesse soit la meilleure possible, il est nécessaire de placer l'appareil de mesure sur la partie opposée de la table face au joueur (**Figure 8**).



Figure 8 : mise en pratique du cinémomètre Doppler

Le cinémomètre utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il est constitué :

- d'un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125\text{ GHz}$ en direction de la balle ($1\text{ GHz} = 10^9\text{ Hz}$) ;
- d'un récepteur qui reçoit l'onde après réflexion sur la balle à la fréquence f_R ;
- d'une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

On note Δf le décalage Doppler mesuré par l'appareil lors de son utilisation.

Données :

- l'expression de la valeur absolue du décalage Doppler en fonction de la vitesse v de la balle, la célérité c_{onde} de l'onde électromagnétique et la fréquence f_0 générée par l'émetteur :

$$|\Delta f| = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_{\text{onde}}}$$

- la célérité de l'onde électromagnétique dans le vide est supposée connue.

Q.15. Expliquer pourquoi la situation illustre l'effet Doppler.

Q.16. Déterminer le signe du décalage Doppler dans la situation où la balle smashée s'approche du cinémomètre.

Suite au smash réalisé par un joueur amateur, l'appareil mesure un décalage Doppler dont la valeur absolue est $|\Delta f| = 4470\text{ Hz}$.

Q.17. Calculer la vitesse de ce smash.

Le record du monde du smash le plus rapide a été établi en 2003 par Mark Brandt avec une vitesse atteinte de $112,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Q.18. Indiquer, en justifiant, si la vitesse du smash du joueur amateur est du même ordre de grandeur que le record du monde.