

Répondre sur une copie double.

Calculatrice autorisée.

Présentation, rédaction, orthographe [0,5 pt]

Nom :

Prénom :

Note :

/14

Exercice 1. Effet Doppler et danse classique - 30'

[5,5 pts]

Lors de la répétition générale d'un ballet, Alice, la pianiste, ponctue la fin du 1^{er} acte en jouant une série de La3 successifs au cours desquels Kilian, le danseur, effectue un saut appelé « grand jeté ».

Après le baisser du rideau, le directeur artistique trouve Kilian et Alice en pleine discussion.

Kilian a perçu des La3 successifs qui lui semblaient de hauteurs différentes et pense qu'Alice n'a pas joué la même note. Alice conteste et affirme qu'elle a bien joué la même note.



Brice Bardot effectuant un grand jeté.

Tableau du déroulement chronologique de la fin du premier acte :

Pianiste	Mi3	Si3	Ré3	La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Danseur	Immobile					Course d'élan et grand jeté				

La3 = La de l'octave 3

Données :

On adoptera les notations suivantes :

- G représente le centre de gravité de Kilian,
- G_i est la position de G au début du grand jeté ; G_f est la position de G à la fin du grand jeté,
- Δt est la durée du grand jeté ($\Delta t = 0,710$ s).
- Fréquence (en hertz) de quelques notes de la gamme tempérée :

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si
Octave 1	65	73	82	87	98	110	123
Octave 2	131	147	165	175	196	220	247
Octave 3	262	294	330	349	392	440	494

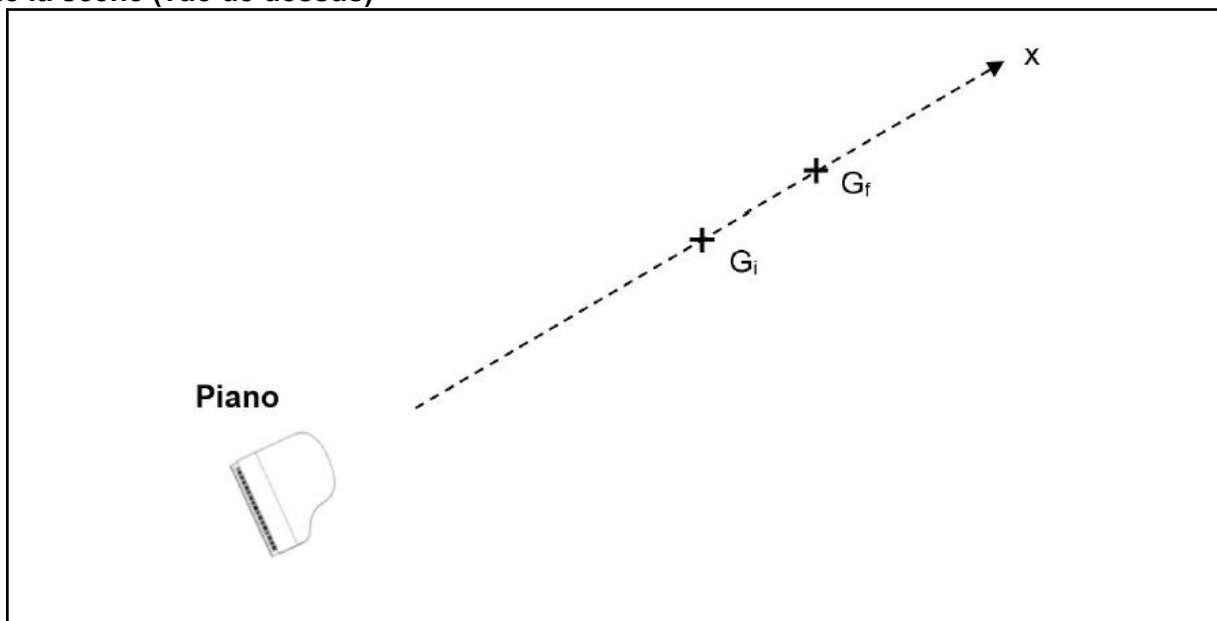
1. Détermination de la vitesse de Kilian

1.1. À l'aide des documents ci-dessous, déterminer la distance horizontale parcourue par Kilian lors de son grand jeté. [1pt]

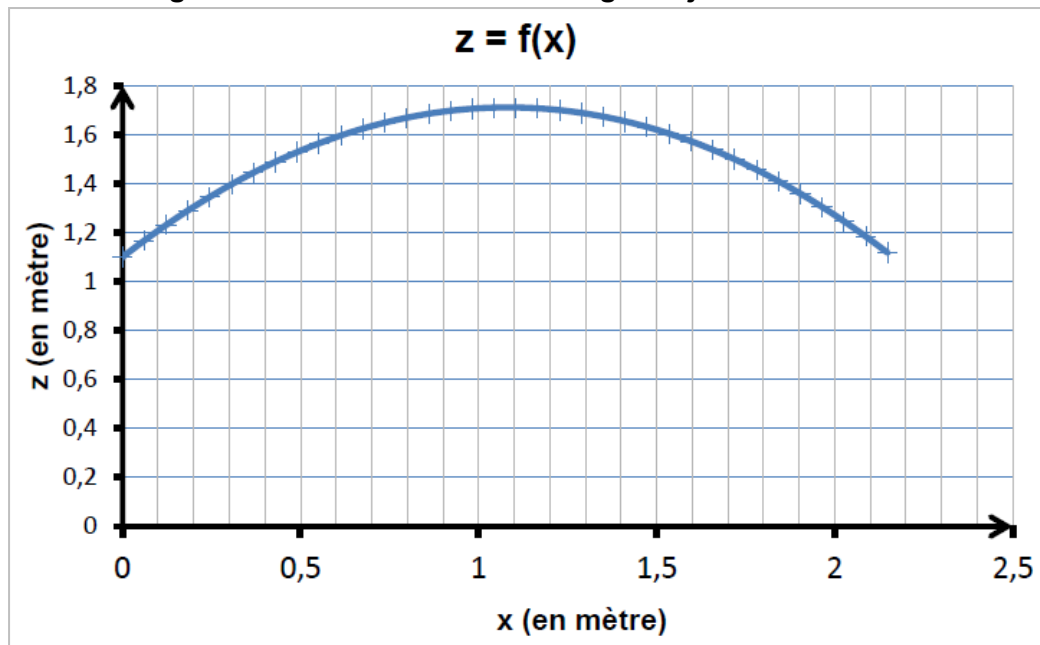
1.2. En déduire la vitesse horizontale moyenne de Kilian lors de son grand jeté. [1pt]

On supposera pour la suite que la vitesse horizontale du danseur reste constante lors du grand jeté.

Plan de la scène (vue de dessus)



Trajectoire du centre de gravité G de Kilian lors de son grand jeté



2. Fréquence du son perçu par Kilian

2.1. Quelle est la fréquence des notes émises par le piano pendant le grand jeté de Kilian ? [0,5pt]

2.2. En utilisant le document ci-dessous, déterminer la fréquence des notes perçues par Kilian pendant son grand jeté. Expliquer en détail votre raisonnement (ne prendre en compte que la composante horizontale du mouvement de G). [1,5pt]

L'effet Doppler

L'effet Doppler est la modification de la fréquence d'une onde lorsque l'émetteur de cette onde et le récepteur sont en mouvement relatif.

Si le récepteur s'approche de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \times \left(\frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v_R} \right)$

Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \times \left(\frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} + v_R} \right)$

f_R est la fréquence de l'onde perçue par le récepteur ;

f_E est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;

v_R est la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur ;

v_{son} est la vitesse de propagation du son dans l'air.

L'oreille humaine n'est capable de percevoir la différence de hauteur entre deux sons successifs que si la variation relative des fréquences entre ces deux sons, notée $\Delta f / f$, est supérieure ou égale à un certain seuil. Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, ce seuil vaut environ 1/1000 quelle que soit la fréquence du son.

2.3. Sachant que Kilian a une oreille entraînée par des années d'études musicales, expliquer s'il peut percevoir cette différence de hauteur. [1,5pt]

2. Histoire de guitares - 15'

[2 pts]

Lors de l'émission de plusieurs sons, on rappelle que ce sont les intensités acoustiques et non les niveaux sonores qui s'ajoutent. Une guitare émet un son de niveau sonore de 45 dB à une distance de quelques mètres.

Données : $L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ ou $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$ avec $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1/ Calculer l'intensité acoustique du son émis par une seule guitare.

2/ Combien faut-il de guitares identiques pour obtenir un niveau sonore de 54 dB ?



3. Diffraction par une poudre de cacao - 30'

[6 pts]

On attribue la découverte de la diffraction à FRANCESCO GRIMALDI (1618 – 1663). Le but de l'exercice est d'étudier une application pratique de la diffraction : la détermination de la taille moyenne de poudre de cacao par granulométrie.

Document 1 : Granulométrie laser de la poudre de cacao



L'appareil ci-contre permet de mesurer la taille de particules allant de 40 nm à 2500 μm tout en occupant un encombrement extrêmement réduit.

Le fabricant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 635 nm et 830 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

Document 2 : Différents types de chocolat

Le succès du chocolat, auprès des consommateurs, est lié à des caractéristiques gustatives bien identifiées mais aussi à la granulométrie de chacun des constituants. Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche.

La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

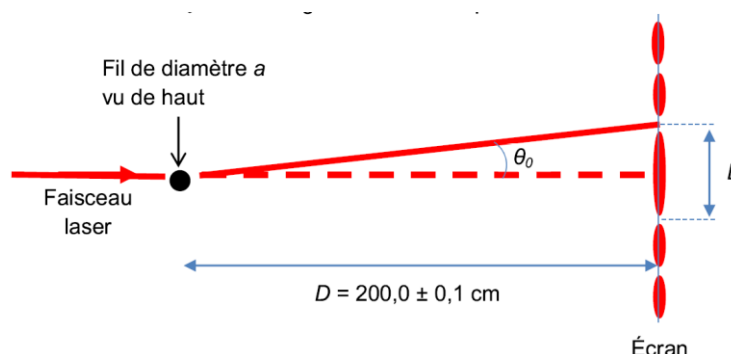
Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
$a(*)$ en μm	10	30	300

D'après <http://www.es-France.com/pdf/010-Cacao.pdf>

(*) a représente le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat.

Partie 1 : Vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées.

L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance D , on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 le demi-angle au sommet exprimé en radian.



1.1. Quelle propriété caractéristique de la lumière est mise en évidence par cette expérience ? [0,5pt]

1.2. Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle θ_0 en fonction du diamètre a du fil. Donner la relation qui lie λ , θ_0 et a . [1pt]

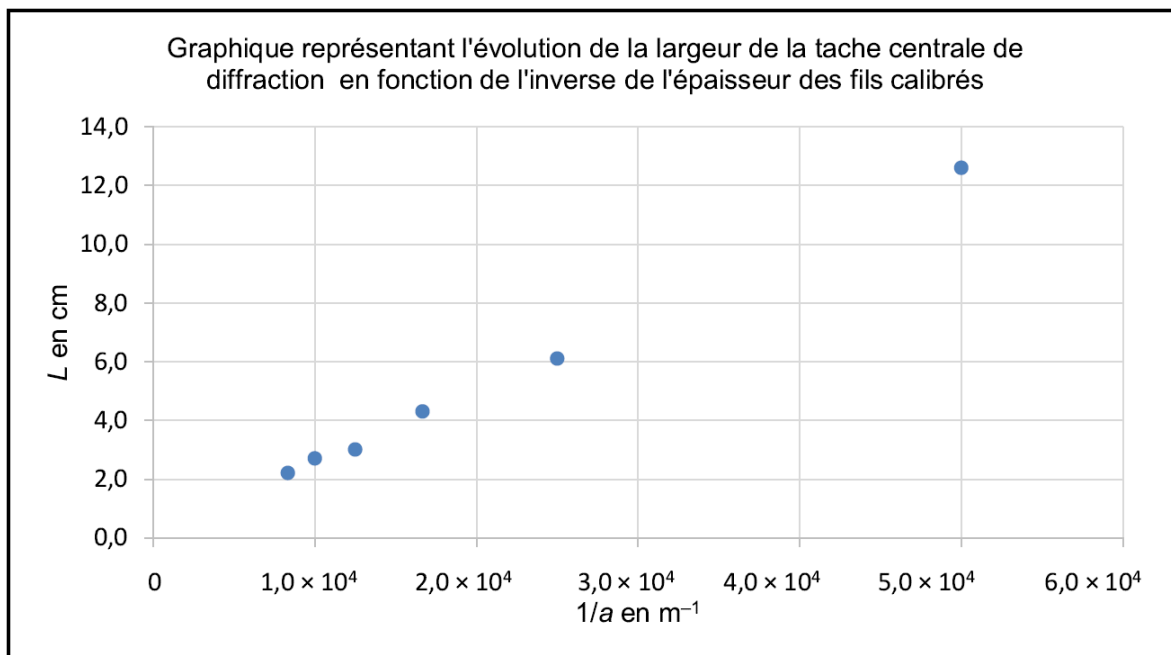
1.3. On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian. À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression :

$$L = k \cdot \frac{1}{a}$$

avec $k = 2\lambda \cdot D$

[1pt]

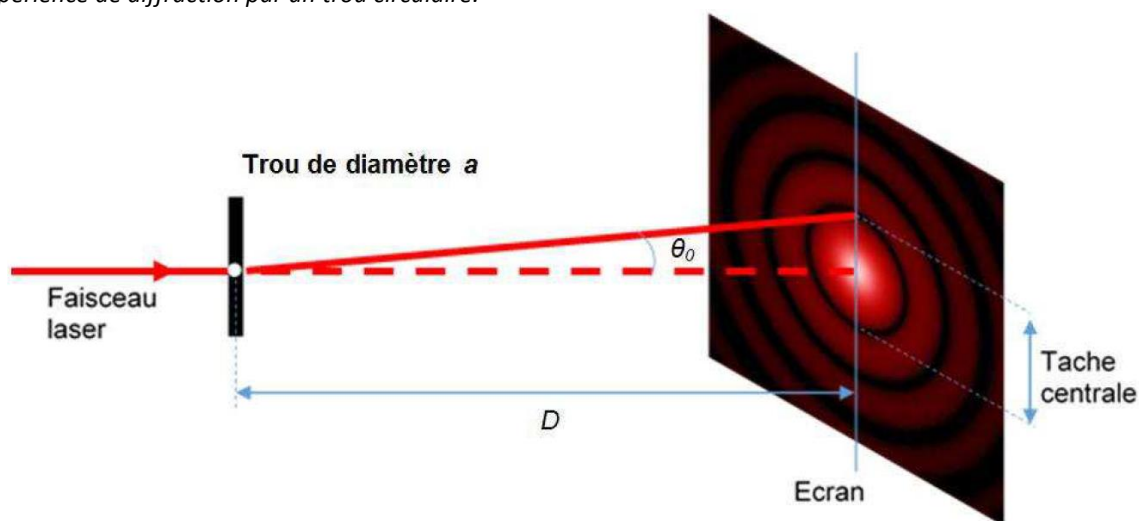
1.4. Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre a . On porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-dessous. À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée. **[1,5pt]**



Partie 2 : Étude de la diffraction par la poudre de cacao.

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde $\lambda = 635$ nm.

Donnée : Expérience de diffraction par un trou circulaire.



La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin \theta_0 = \frac{1,22 \cdot \lambda}{a}$$

λ : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre

a : diamètre du trou, exprimée en mètre

θ_0 : demi-angle au sommet, exprimé en radian

2.1. En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de poudre de cacao. Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire. **[0,5pt]**

2.2. Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors du contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction du demi-angle θ_0 . Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ? **[1,5pt]**

Intensité lumineuse relative en fonction du demi-angle au sommet

