EXERCICE III - L'EFFET DOPPLER PEUT-IL PERTURBER UN DANSEUR ? (5 points)

Lors de la répétition générale d'un ballet, Alice, la pianiste, ponctue la fin du 1er 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.

L'objectif de l'exercice est de comprendre l'origine de ce désaccord.



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				

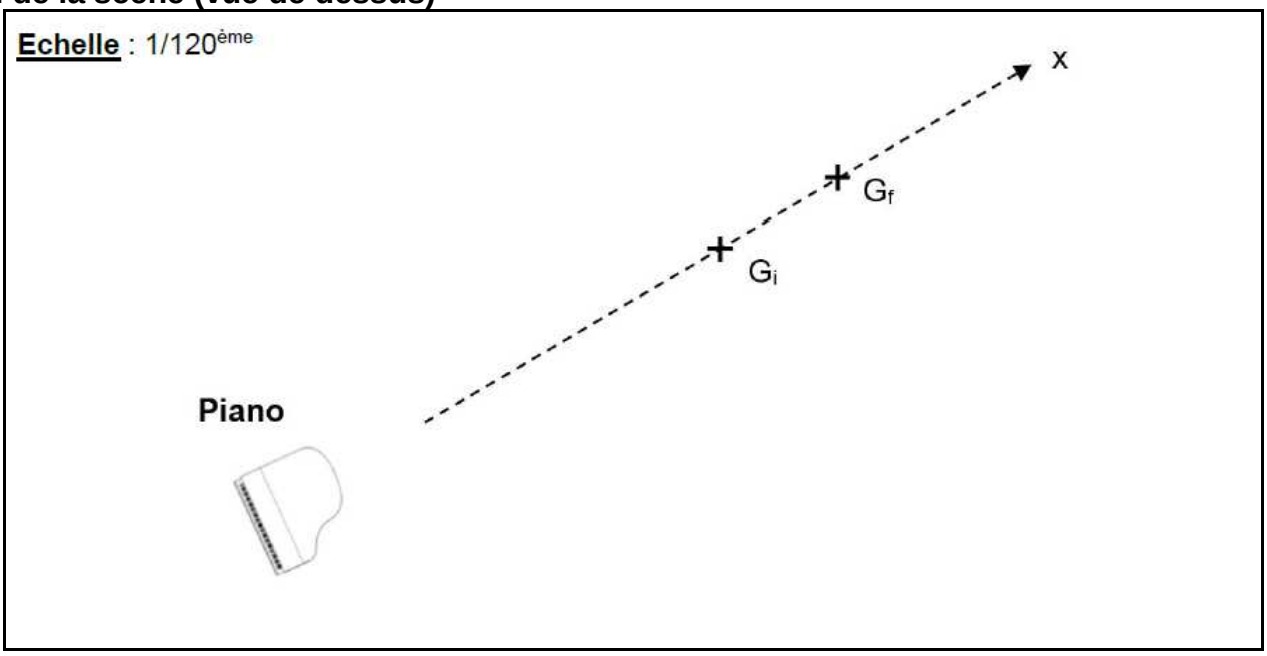
La3 = La de l'octave 3

Données

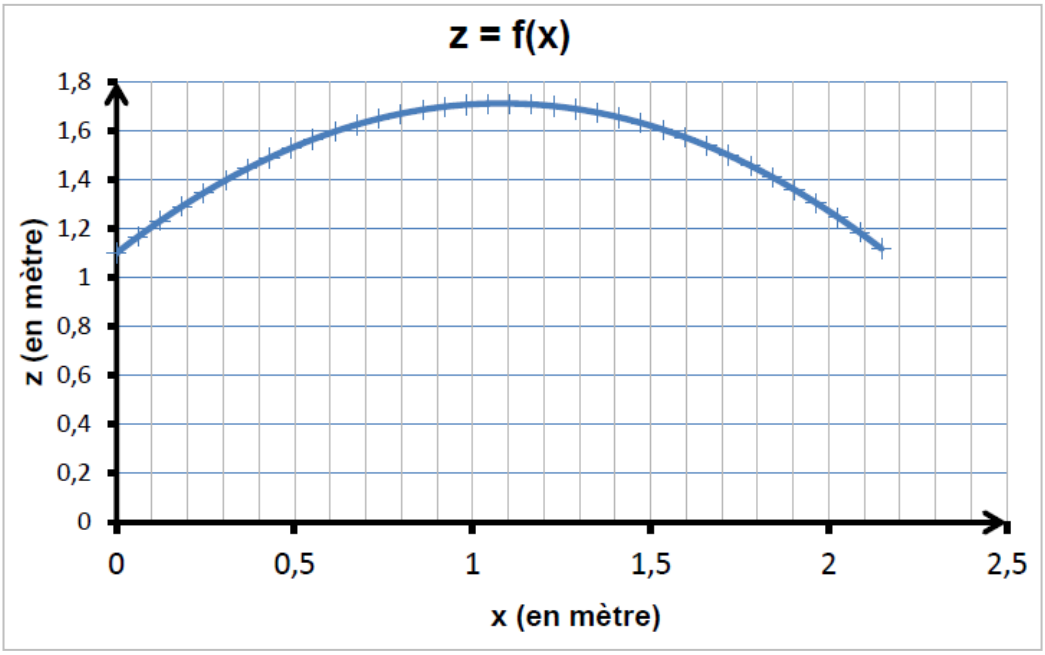
On adoptera les notations suivantes :

- 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 (Δt = 0,710 s).

Plan de la scène (vue de dessus)



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



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

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 : $f_R = f_E \times (\frac{v_{son}}{v_{son} - v_R})$

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

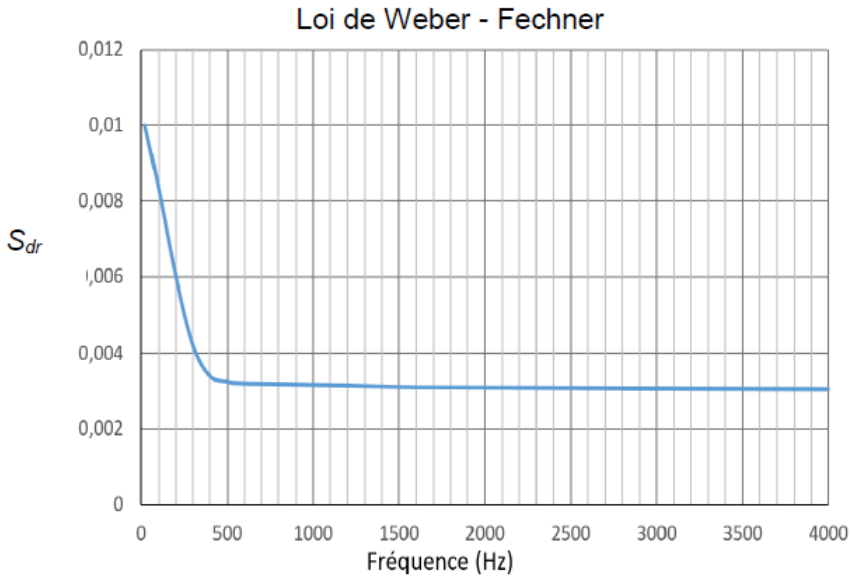
f_R est la fréquence de l'onde perçue par le récepteur ;
f_E est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;
v_R est la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur ;
v_{son} est la vitesse de propagation du son dans l'air. Elle est estimée à 340 $m.s^{-1}$.

La loi de Weber-Fechner

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 $\frac{\Delta f}{f}$, est supérieure ou égale à une certaine valeur appelée *seuil différentiel relatif, S_{dr}*.
On peut tracer le *seuil différentiel relatif* S_{dr} en fonction de la fréquence *f* du son de référence : la courbe obtenue correspond à la loi de Weber-Fechner.

Le graphique ci-contre représente le seuil différentiel relatif pour une oreille humaine moyenne.

D'après le site Spiralconnect de l'Université de Lyon 1



Remarque : **Cas d'une oreille entraînée**
La représentation de la loi de Weber-Fechner est le plus souvent donnée pour une oreille moyenne. Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, ce seuil est bien plus faible, il vaut environ 1/1000 quelle que soit la fréquence du son.

On obtient alors : $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{oreille entrainée}} = \frac{1}{1000}$

1. Détermination de la vitesse de Kilian

1.1. À l'aide des documents proposés, déterminer la distance horizontale parcourue par Kilian lors de son grand jeté.

1.2. En déduire la vitesse horizontale moyenne de Kilian lors de son grand jeté.

On supposera dans la suite de l'exercice que la vitesse horizontale du danseur reste constante lors du 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 ?

2.2. Quelle est la fréquence des notes perçues par Kilian pendant son grand jeté ? Expliquer en détail votre raisonnement et votre calcul (on ne prendra en compte que la composante horizontale du mouvement de G).

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

2.4. Un autre danseur n'ayant pas l'oreille entraînée, aurait-il été capable de percevoir cette différence de fréquence ?

3. Discussion entre Alice et Kilian

Expliquer l'origine du désaccord entre Alice et Kilian.