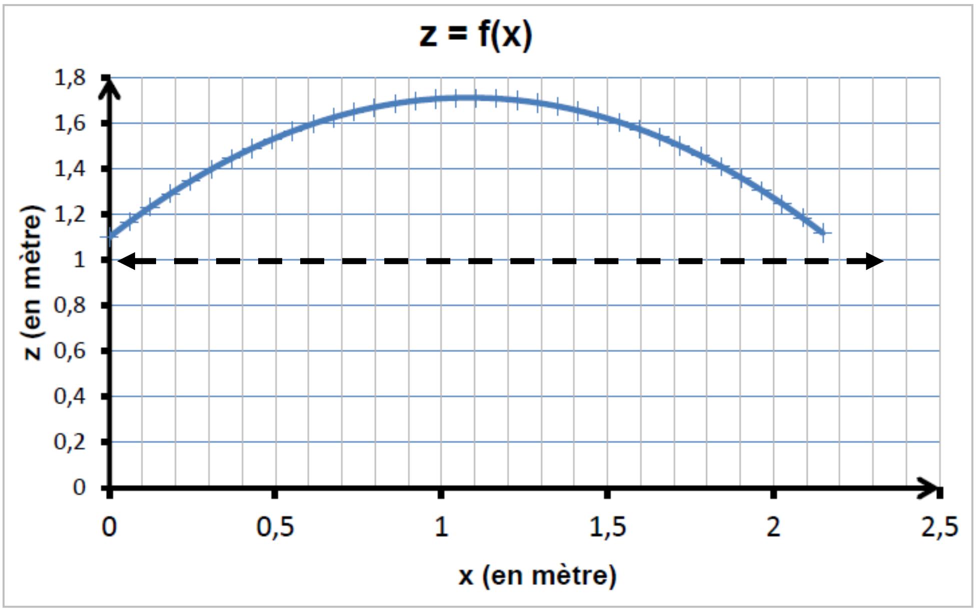
CORRIGE

Exercice 1. Effet Doppler et danse classique [7,5 pts]

1. Détermination de la vitesse de Kilian

1.1. ***(1pt)*** **Méthode 1** : on utilise le plan de la scène (vue de dessus) à l'échelle 1 / 120ème.
La distance parcourue G_iG_f mesure 1,8 cm sur le document, soit en réalité 1,8×120 = 216 cm ≈ 2,16 m
Remarque : 2 chiffres significatifs en toute rigueur

Méthode 2 : on exploite la trajectoire du centre de gravité G de Kilian lors de son grand jeté



On trouve G_iG_f ≈ 2,15 m (cohérent avec la valeur de la méthode 1).

1.2. ***(1pt)*** La vitesse moyenne horizontale est : $v_x = \dfrac{G_iG_f}{\Delta t}$.

La distance horizontale a été parcourue en Δ*t* = 0,710 s donc $v_x = \dfrac{2,15}{0,710} = 3,03\ m.s^{-1}$ **≈ 3,0 m.s^{-1}.**

2. Fréquence du son perçu par Kilian

2.1. ***(0,5pt)*** La seule note émise par le piano pendant le grand jeté est un La3 dont le tableau nous donne la de fréquence 440 Hz.
2.2. ***(1,5pt)*** Comme Kilian s'éloigne du piano (voir plan), la fréquence du son perçu est plus petite que la fréquence du son émis à cause de l'effet Doppler.

Il faut utiliser la relation $f_R = f_E \times (\dfrac{v_{son}}{v_{son} + v_R})$ en prenant $v_R = v_x$ = constante d'après l'énoncé.

$$f_R = 440 \times \left(\frac{340}{340 + 3,03}\right) = 436\ \text{Hz}$$

2.3. ***(1,5pt)*** Calculons tout d'abord la variation relative de fréquence $\dfrac{\Delta f}{f}$ due à l'effet Doppler :

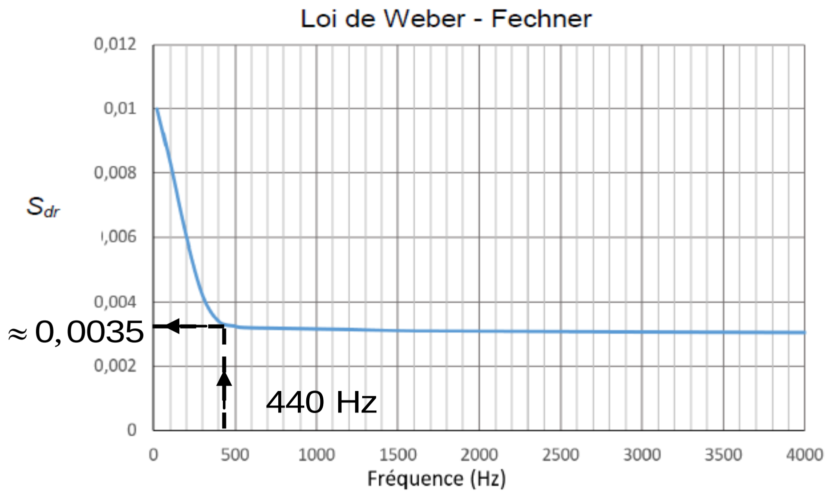
$\dfrac{\Delta f}{f} = \left(\dfrac{440 - 436}{440}\right) = 9 \times 10^{-3}$ .Remarque : 1 seul CS car il n'y a qu'un seul CS sur la différence 440-436 = 4.

Pour Killian, qui a une oreille entraînée, le seuil différentiel est largement dépassé ($9 \times 10^{-3} > 1 \times 10^{-3}$) et Killian est capable de percevoir cette différence de hauteur.

2.4. *(1pt)* Pour un autre danseur n'ayant pas l'oreille entraînée, il faut utiliser la courbe fournie :

Pour une note de fréquence 440 Hz, le seuil différentiel relatif vaut environ 0,0035.

La variation relative de fréquence qui vaut 9×10^{-3} est donc supérieure au seuil différentiel relatif (0,009 > 0,0035) donc le danseur pourra également percevoir la différence de hauteur.



3. Discussion entre Alice et Kilian

(1pt) L'effet Doppler permet d'expliquer le fait que la hauteur du son perçu par Kilian lors de son grand jeté est différente de celle de la note perçue lorsqu'il est immobile.
La courbe de Weber permet d'expliquer que cette différence de hauteur est perceptible pour toute oreille humaine.
Alice a raison : elle a bien joué une série de La3.
Kilian a lui aussi raison, il entend bien une différence de hauteur.
Le désaccord est lié à l'effet Doppler.

2. Observation d'une exoplanète [8 pts]

1. Comment la diffraction rend-elle difficile l'observation d'une exoplanète ?

1.1. (0,5pt) Le caractère ondulatoire de la lumière est responsable du phénomène de diffraction.

1.2. (2pt) Méthode de résolution à bien expliciter :

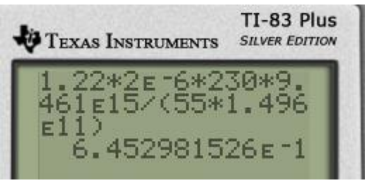
a/ Pour distinguer l'exoplanète de l'étoile, il faut que $\alpha > \theta_{diff}$.

b/ On a les deux relations suivantes : $\alpha \approx \tan\alpha = \dfrac{r}{d_{Terre-étoile}}$ et $\theta_{diff} = 1{,}22.\dfrac{\lambda}{D}$.

c/ Ainsi il faut que : $$\frac{r}{d_{Terre-étoile}} > 1{,}22.\frac{\lambda}{D}$$

soit $$D > 1{,}22.\lambda.\frac{d_{Terre-étoile}}{r}.$$

$$D > 1{,}22 \times 2{,}0 \times 10^{-6} \times \frac{230 \times 9{,}461 \times 10^{15}}{55 \times 1{,}496 \times 10^{11}}$$



D > 0,65 m

2. Comment la faible luminosité d'une exoplanète la rend-elle difficile à observer ?

Recombinaison des signaux issus de l'étoile

2.1. (1pt) Les rayons lumineux issus de l'étoile parcourent la même distance (α =0) pour atteindre les deux télescopes, ainsi la différence de marche entre ces rayons vaut **δ = 0**. Ainsi les rayons lumineux arrivent en phase et interfèrent de manière constructive.

2.2. (1,5pt) Les interférences sont destructives si le décalage temporel entre les deux ondes vaut $\tau = (2k+1).\dfrac{T}{2}$, or avec k = 0 on a bien $\tau = \dfrac{T}{2}$. Les ondes arrivent donc en opposition de phase.

Dans ce cas l'intensité du signal lié à l'étoile est **minimale**, probablement nulle car l'amplitude des deux signaux doit être identique.

	Interférences constructives	Interférences destructives
Différence de marche δ en fonction de la longueur d'onde λ	$\delta = k.\lambda$	$\delta = (k+1/2).\lambda$
Retard τ en fonction de la période T	$\tau = k.T$	$\tau = (2k+1).T$
Intensité lumineuse au niveau de de la recombinaison **(min ou max)**	**max**	**min**

Recombinaison des signaux <u>issus de l'exoplanète</u>

2.3. (0,5pt) Le texte indique que le signal lumineux issu de l'exoplanète arrive sur le télescope 2 avec un retard $\tau = \dfrac{d.\sin\alpha}{c}$ par rapport au télescope 1, par ailleurs le système optique de Bracewell ajoute un retard supplémentaire de $\dfrac{T}{2}$.

Le retard total vaut $\tau' = \tau + \dfrac{T}{2}$, soit $\tau' = \dfrac{d.\sin\alpha}{c} + \dfrac{T}{2}$.

2.4. (0,5pt) Les interférences sont constructives si le retard τ' est multiple de la période **$\tau' = k.T$**.

2.5. (1pt) On combine les expressions des deux questions précédentes :

$$k.T = \frac{d.\sin\alpha}{c} + \frac{T}{2}$$

$$\frac{d.\sin\alpha}{c} = k.T - \frac{T}{2}$$

$$\frac{d.\sin\alpha}{c} = T.(k - \frac{1}{2})$$

$$d.\sin\alpha = c.T.(k - \frac{1}{2})$$

$$d.\sin\alpha = \lambda.(k - \frac{1}{2})$$

2.6. (1pt) On reprend l'expression précédente, où l'on remplace sin α par l'expression proposée :

$$d.\frac{r}{d_{Terre-étoile}} = \lambda.(k - \frac{1}{2})$$

$$d = \lambda.(k - \frac{1}{2}).\frac{d_{Terre-étoile}}{r}$$

Pour que la distance soit minimale, on prend ***k* = 1** (car k = 0 impossible)

$$d = \lambda.\frac{1}{2}.\frac{d_{Terre-étoile}}{r}$$

$$\underline{d =} \ 10\times10^{-6} \times 0{,}50 \times \frac{230\times9{,}461\times10^{15}}{55\times1{,}496\times10^{11}} \ \underline{= 1{,}3 \text{ m.}}$$

3. Analyse dimensionnelle et incertitudes de mesure	[3,5 pts]

Voir corrigé en AP