

LYCÉE MAINE DE BIRAN
BACCALAURÉAT BLANC

14 FÉVRIER 2017

PHYSIQUE - CHIMIE

SÉRIE S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

COEFFICIENT : 6

Obligatoire

L'usage des calculatrices est autorisé.
Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1 à 9.

Les trois exercices sont indépendants les uns des autres :

Exercice A : Mise en orbite d'un satellite artificiel par la fusée Ariane (6 points)

Exercice B : Analyse spectrale (9 points)

Exercice C : L'effet Doppler peut-il perturber un danseur ? (5 points)

EXERCICE A : Mise en orbite d'un satellite artificiel par la fusée Ariane

Document : le lanceur Ariane

Le premier lanceur Ariane est une fusée à trois étages dont la hauteur totale est de 47,4 m et qui pèse, avec sa charge utile (satellite), 208 tonnes au décollage.

Le premier étage qui fonctionne pendant 145 secondes est équipé de 4 moteurs Viking V alimentés par du peroxyde d'azote N_2O_4 (masse de peroxyde emportée : 147,5 tonnes).

L'intensité de la force de poussée totale \vec{F} de ces 4 réacteurs est constante pendant leur fonctionnement: elle vaut $F = 2445 \text{ kN}$.

Ce lanceur peut mettre en orbite circulaire basse de 200 km d'altitude un satellite de 4850 kg ; il peut également placer sur une orbite géostationnaire un satellite de 965 kg ; il peut aussi être utilisé pour placer en orbite héliosynchrone des satellites très utiles pour des applications météorologiques.

D'après Encyclopedia Universalis



1. L'ascension de la fusée Ariane (3 points)

- Le champ de pesanteur \vec{g} est supposé uniforme : son intensité est $g_0 = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.
- On choisit un axe Oz vertical dirigé vers le haut.
- On étudie le mouvement de la fusée dans le référentiel terrestre qu'on suppose galiléen.

1. Représenter clairement, sur un schéma, en les nommant, les deux forces qui agissent sur la fusée Ariane lorsqu'elle s'élève verticalement. On néglige les frottements et la poussée d'Archimède dans l'air.
2. À un instant quelconque t , la masse de la fusée est m . En appliquant une loi de Newton que l'on citera, montrer que l'accélération a a pour expression littérale : $a = \frac{F}{m} - g_0$.
3. On considère d'abord la situation au décollage. La masse de la fusée vaut alors m_1 . Calculer la valeur numérique de l'accélération a_1 à cet instant.
4. On envisage la situation qui est celle immédiatement **avant que tout le peroxyde d'azote ne soit consommé**. La masse de la fusée vaut alors m_2 .
 - a. Calculer la valeur numérique de m_2 puis celle de l'accélération a_2 à cet instant.
 - b. Le mouvement d'ascension de la fusée est-il uniformément accéléré ?
5. La vitesse d'éjection \vec{V}_e des gaz issus de la combustion du peroxyde d'azote est donnée par la relation :

$$\vec{V}_e = \frac{\Delta t}{\Delta m} \times \vec{F}$$

où $\frac{\Delta t}{\Delta m}$ est l'inverse de la variation de masse de la fusée par unité de temps et caractérise la consommation des moteurs.

- a. Vérifier l'unité de V_e par analyse dimensionnelle. Calculer la valeur numérique de V_e .
- b. Quel est le signe de $\frac{\Delta t}{\Delta m}$? En déduire le sens de \vec{V}_e .
- c. A l'aide d'une loi connue qu'on énoncera, expliquer pourquoi l'éjection des gaz propulse la fusée vers le haut.

2. Étude du satellite artificiel situé à basse altitude (3 points)

On s'intéresse au mouvement d'un satellite artificiel S situé à une altitude h , de masse m_S , en orbite circulaire de rayon r autour de la Terre de masse M_T , de rayon R_T et de centre O.

On suppose que la Terre est une sphère et qu'elle présente une répartition de masse à symétrie sphérique et que le satellite peut être assimilé à un point.

On appelle \vec{F}_S la force qu'exerce la Terre sur le satellite.

Données

- $g_0 = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Altitude : $h = 200 \text{ km}$.
- Masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.
- Rayon terrestre : $R_T = 6400 \text{ km}$.

1. Faire un schéma où sont représentés : la Terre, le satellite S, \vec{F}_S , r , R_T et un vecteur unitaire \vec{u} orienté du satellite S vers la Terre.
2. En considérant que l'orbite de ce satellite est circulaire, montrer que son mouvement est uniforme.
3. En déduire les caractéristiques du vecteur accélération \vec{a} du satellite.
4. Donner l'expression littérale de \vec{F}_S en fonction des données du problème.
5. Appliquer la deuxième loi de Newton au satellite en orbite circulaire pour en déduire l'expression de la vitesse v_S du satellite en fonction de G , M_T , R_T et h puis celle de sa période de révolution T_S .
6. Calculer v_S et T_S .
7. On pose $\vec{F}_S = m_S \times \overline{g(h)}$. On note $g(h)$ l'intensité du champ de pesanteur $\overline{g(h)}$ à l'altitude h où se trouve le satellite : $g(h) = \|\overline{g(h)}\|$. Exprimer $g(h)$ en fonction de G , M_T , R_T et h puis calculer sa valeur à l'altitude du satellite.

EXERCICE B : Analyse spectrale

Les 3 parties de cet exercice sont indépendantes.

Les données spectroscopiques figurent en fin d'exercice.

1. Dosage d'un antiseptique (3 points)

► Document 1 : La loi de Beer-Lambert

Soit une radiation monochromatique de longueur d'onde fixe traversant un échantillon d'épaisseur ℓ , l'absorbance vérifie la loi de Beer-Lambert soit :

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot C$$

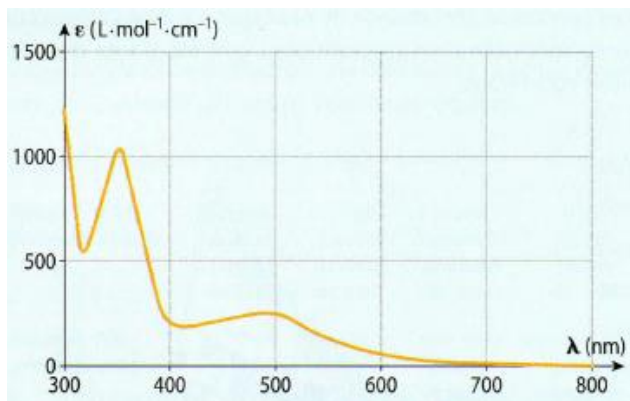
Avec : A l'absorbance (sans unité) ; ε le coefficient d'absorption molaire en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$; ℓ : la largeur de la cuve en cm et C la concentration de la solution en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

► Document 2 : La solution de Lugol

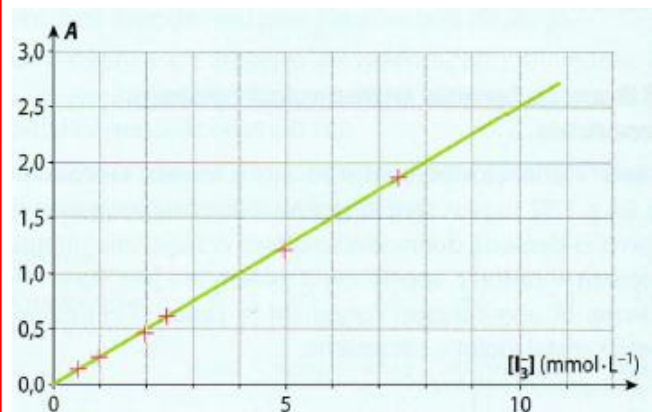
La solution de Lugol est un antiseptique proposé par le médecin français Jean Guillaume Auguste Lugol au XIX^{ème} siècle. C'est une solution aqueuse de diiode I_2 et d'iodure de potassium ($\text{K}^+ + \text{I}^-$). En présence d'un excès d'ions iodure I^- , le diiode réagit pour donner l'ion triiodure I_3^- selon la réaction $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$. Cette solution antiseptique est donc une solution d'ion triiodure dont la concentration molaire voisine de $C = 0,04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

► Document 3 : Spectre UV-visible de l'ion triiodure (I_3^-) en solution aqueuse.

ε est le coefficient d'absorption molaire de l'espèce.



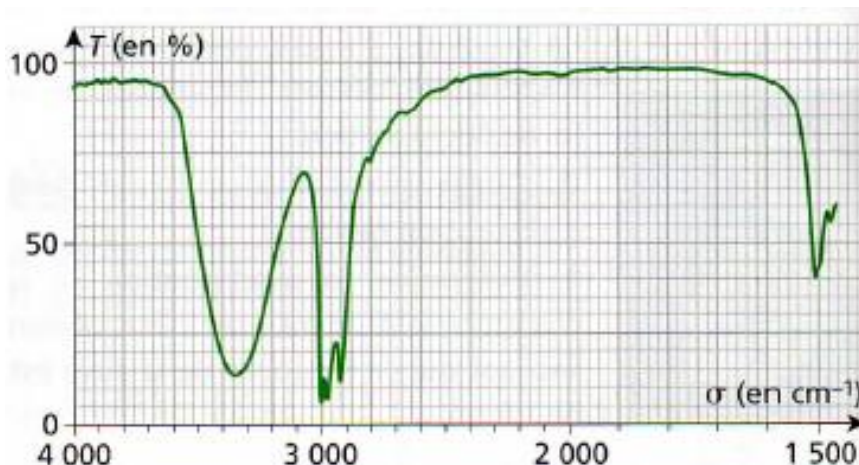
► Document 4 : Courbe d'étalonnage pour le dosage de l'ion triiodure (I_3^-) à une longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ et avec une cuve d'épaisseur $\ell = 1,0 \text{ cm}$.



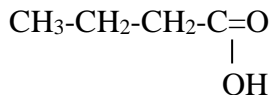
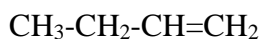
- 1.1. Quel est l'ordre de grandeur du coefficient d'absorption molaire ε_{350} de l'ion I_3^- à $\lambda = 350 \text{ nm}$?
- 1.2. À partir de cette valeur, calculer l'absorbance théorique A_{350} d'une solution de Lugol à 350 nm, dans une cuve d'épaisseur $\ell = 1,0 \text{ cm}$.
- 1.3. L'absorbance maximale mesurable est égale à 2.
Justifier que le dosage du Lugol soit effectué pour $\lambda = 500 \text{ nm}$, après dilution d'un facteur 10.
- 1.4. Déterminer, en exploitant le document 4, le coefficient d'absorption molaire ε_{500} de l'ion I_3^- à 500 nm.
- 1.5. La solution diluée au dixième possède une absorbance $A' = 1,00$. Que vaut sa concentration C' ?
- 1.6. Déterminer la concentration de la solution de Lugol C_L .

2. Attribution d'un spectre IR à une molécule (3 points)

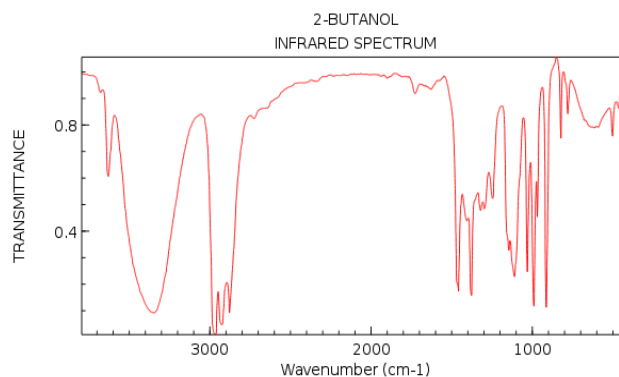
► Document 5 : Spectre IR de la molécule recherchée



► Document 6 : Formule semi-développée de 4 molécules



► Document 7 : Spectre IR du butan-2-ol



- 2.1. Quel est le nom de chaque grandeur physique portée en abscisse et en ordonnée sur le spectre du document 5 ?
- 2.2. Pour chacune des quatre molécules du document 6, construire un tableau réunissant les informations suivantes :
 - le nom de la molécule.
 - la ou les famille(s) à laquelle (auxquelles) elle appartient.
- 2.3. Relier le spectre IR du document 5 à l'une des quatre molécules du document 6 et donner le nom de la molécule ayant généré ce spectre. Justifier avec deux arguments.
- 2.4. Le spectre IR du document 5 est-il obtenu en phase gazeuse ou en phase condensée ? Justifier.
- 2.5. La spectroscopie IR permet-elle de distinguer le butan-2-ol (document 7) et la molécule générant le spectre sur le document 5 ? Justifier alors de la nécessité d'une autre spectroscopie. Indiquer son nom.

3. Esters et odeur fruitée (3 points)

Les esters ont souvent une odeur agréable. On les trouve naturellement dans les fruits dont ils sont souvent responsables de l'arôme. La parfumerie et l'industrie alimentaire utilisent aussi les esters et les obtiennent par extraction ou par synthèse.

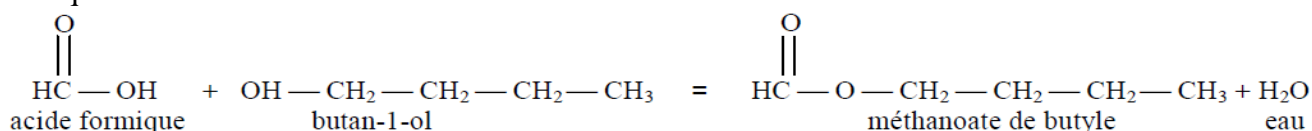
De tous temps, certains « nez » éduqués ont été capables de distinguer des odeurs très voisines et d'identifier ainsi des esters. De nos jours, les espèces organiques peuvent être identifiées par des méthodes spectroscopiques (infrarouge, résonance magnétique nucléaire, etc.).

► Document 8 : Odeurs générées par des esters

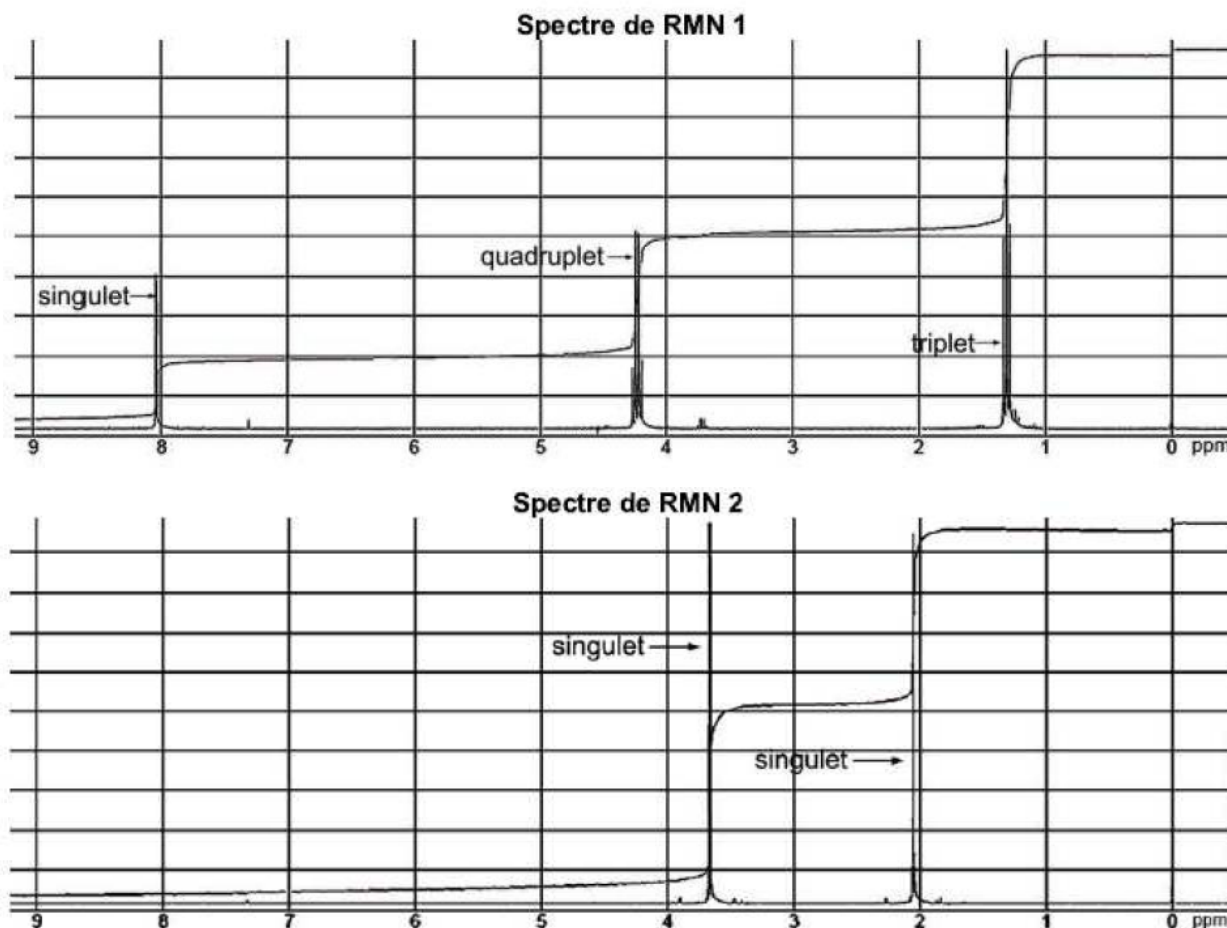
Ester	Odeur	Ester	Odeur
méthanoate d'éthyle	fruitée	éthanoate de butyle	pomme
méthanoate de butyle	fruitée	éthanoate d'octyle	orange
éthanoate de méthyle	fruitée	propanoate d'éthyle	fraise
éthanoate de propyle	poire	butanoate d'éthyle	ananas

► Document 9 : synthèse du méthanoate de butyle

Il est relativement aisé de passer d'un produit ayant une odeur âcre, comme l'acide formique, à l'odeur fruitée d'un ester. L'équation de la réaction de synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique est :



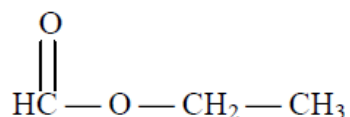
► Document 10 : spectres de RMN du proton de l'éthanoate de méthyle et du méthanoate d'éthyle



On se propose d'étudier les caractéristiques de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique puis d'identifier des esters.

3.1. Quel est le nom en nomenclature officielle de l'acide formique ?

La distinction des esters par l'odeur peut être incertaine, en particulier dans le cas du méthanoate d'éthyle et de l'éthanoate de méthyle. La formule semi-développée du méthanoate d'éthyle est :



3.2. Indiquer les formules semi-développée et topologique de l'éthanoate de méthyle.

3.3. La spectroscopie IR permet-elle de distinguer l'éthanoate de méthyle du méthanoate d'éthyle ? Justifier.

3.4. Associer chacun des spectres du **document 10** à l'ester correspondant.

Justifier en termes de nombres de signaux, de multiplicité, de courbe d'intégration et de déplacement chimique.

3.5. Prévoir le nombre de signaux et la multiplicité de chaque groupe de protons équivalents pour le spectre RMN du méthanoate de butyle.

Données :

Table de données pour la spectroscopie IR.

famille	cétone	aldéhyde		acide carboxylique		ester		alcool		alcène	
		C _{tri} -H	C=O	O-H _{lié}	C=O	C=O	C-O	O-H _{lié}	O-H _{libre}	C _{ène} -H	C=C
liaison	C=O										
nombres d'onde (cm⁻¹)	1705	2700	1720	2500	1700	1730	1050	3200	3600	3000	1625
	- 1725	- 2900	- 1740	- 3200	- 1725	- 1750	- 1300	- 3450	- 3700	- 3100	- 1685
Intensité	Forte	Faible à moyenne	Forte	Forte et très large	Forte	Forte	Forte	Forte et large	Variable et fine	Moyenne à forte	Moyenne et fine

Table de données pour la spectroscopie RMN (valeurs de déplacements chimiques).

proton	CH ₃ -CH ₂ -	CH ₃ -CH ₂ -CO-R	CH ₃ -O-	-CH ₂ -O-	H-COO-R	-COOH	R-OH
déplacement chimique δ (ppm)	0,9 - 2	2,4	3,7	3 - 4,1	8 - 8,5	8,5 - 13	0,5 - 5,5

EXERCICE C : L'effet Doppler peut-il perturber un danseur ?

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.

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	Mi ₃	Si ₃	Ré ₃	La ₃	La ₃	La ₃	La ₃	La ₃	La ₃	La ₃
Danseur	Immobile					Course d'élan et grand jeté				

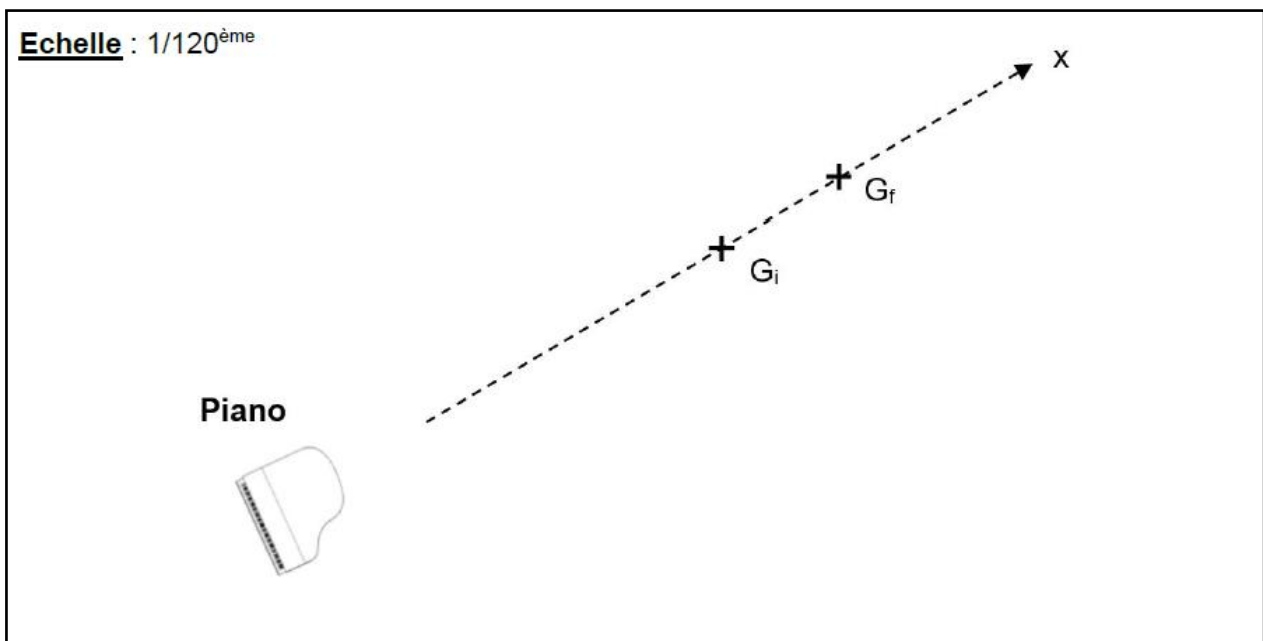
La₃ = La de l'octave 3

Données :

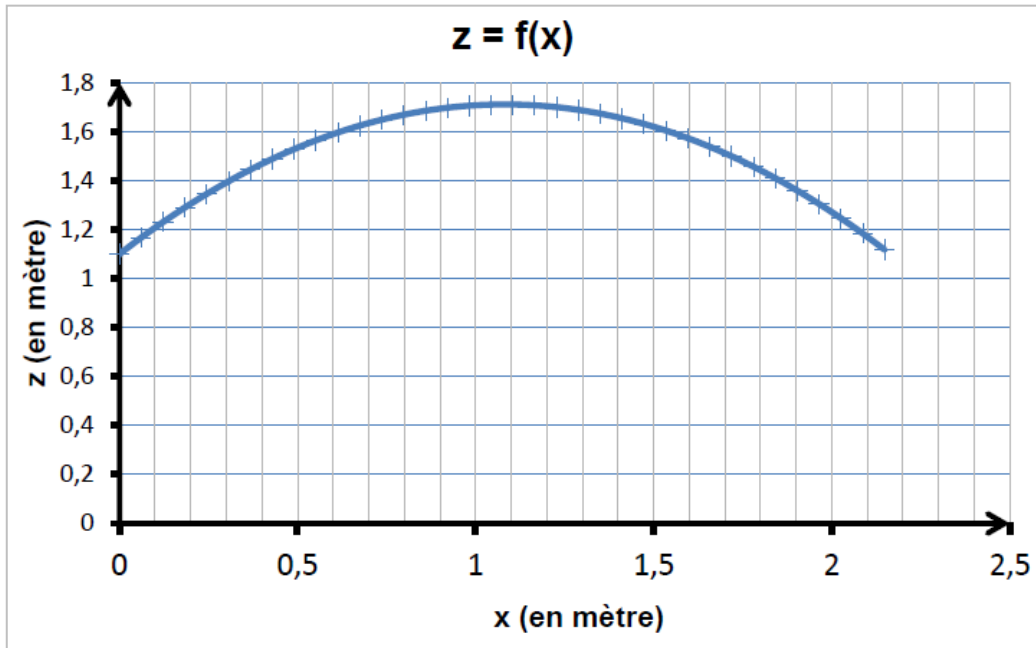
On adoptera les notations suivantes :

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

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

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. Elle est estimée à 340 m.s^{-1} .

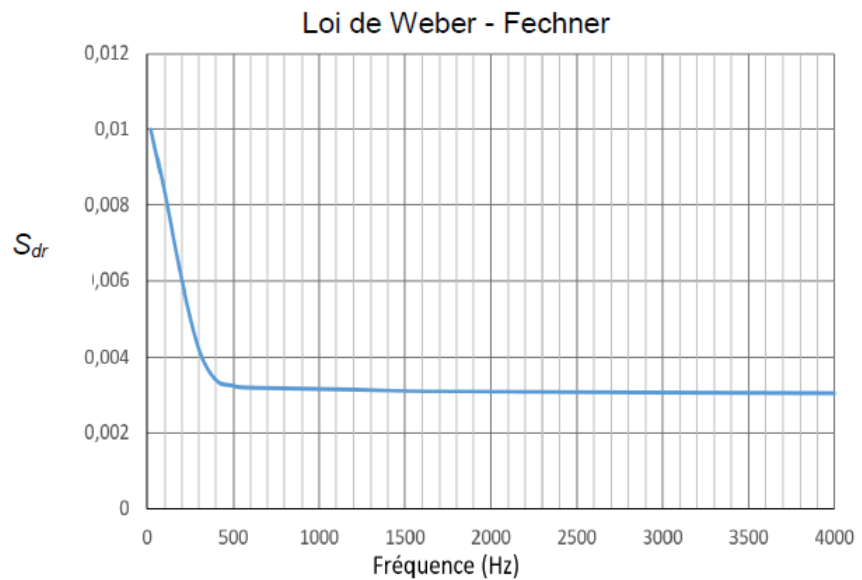
La loi de Weber-Fechner

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 :

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{oreille entraînée}} = \frac{1}{1000}$$

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. Définir une onde sonore. Est-elle transversale ? Longitudinale ? Justifier.

2.2. Quelle est la fréquence des notes émises par le piano pendant le grand jeté de Kilian ?

2.3. 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).

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

2.5. 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.