

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10.
Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Exercice 1 : Fabrication d'un yaourt (9 points)

Exercice 2 : Water jump (6 points)

Exercice 3 : L'effet Doppler peut-il perturber un danseur (5 points)

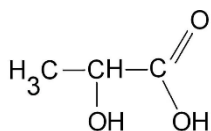
Exercice 1 : Fabrication d'un yaourt (9 points)

Le lait est un produit biologique fragile. L'homme a su exploiter la tendance qu'ont ses composants à se séparer afin de le conserver. Pour faire du beurre, on recueille la matière grasse mais pour obtenir du fromage ou du yaourt, on attend que les protéines du lait coagulent.

L'acide lactique est l'un des composants essentiels du lait.

Données :

- Formule semi-développée de l'acide lactique :
- Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90 \text{ g.mol}^{-1}$
- pK_a (acide lactique/ion lactate) = 3,9
- Bandes d'absorption en spectroscopie IR



Liaison	C-C	C=O	O-H (acide carboxylique)	C-H	O-H (alcool)
Nombre d'onde (cm ⁻¹)	1000 - 1250	1700 - 1800	2500 - 3200	2800 - 3000	3200 - 3700

1. L'ACIDE LACTIQUE

1.1. Recopier la formule de l'acide lactique, entourer les groupes caractéristiques et justifier son nom dans la nomenclature officielle : acide 2-hydroxypropanoïque.

1.2. Donner la formule topologique de cet acide.

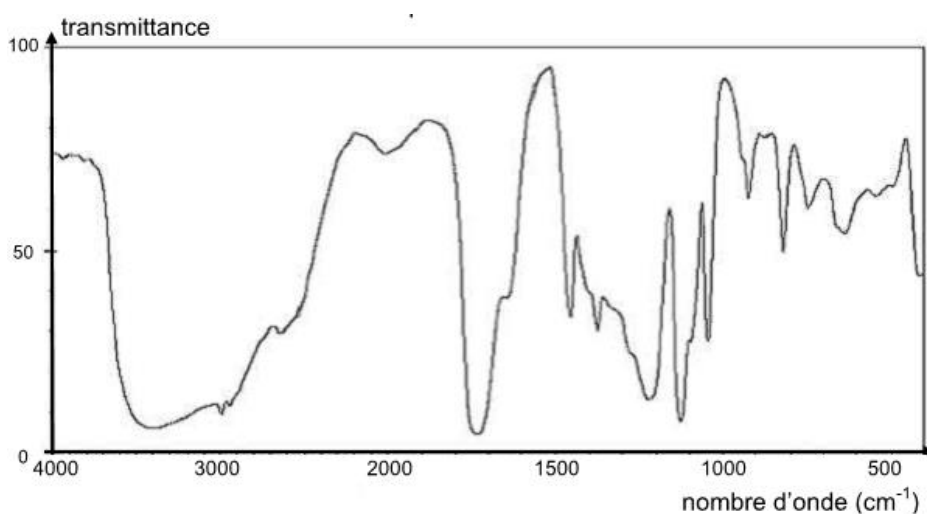
1.3 Analyse spectrale

1.3.1. Parmi les spectres IR proposés dans le document 1 ci-après, choisir en justifiant celui correspondant à l'acide lactique.

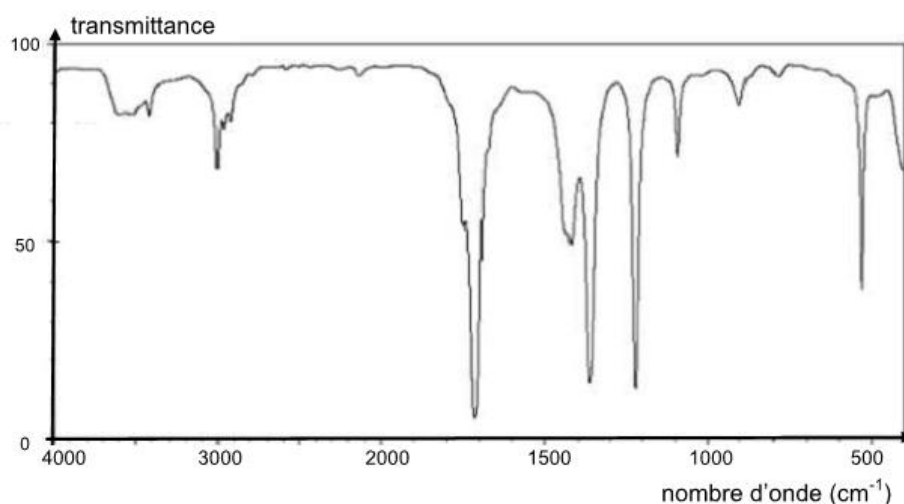
1.3.2. Prévoir, en justifiant la réponse, le nombre de signaux présents dans le spectre RMN de l'acide lactique ainsi que leur multiplicité.

Document 1 : Spectres IR

Spectre IR n°1



Spectre IR n°2



2. PH-METRIE

En solution aqueuse, l'acide lactique que l'on notera HA a des propriétés acidobasiques. Sa base conjuguée est l'ion lactate A^- .

- 2.1. Rappeler la définition au sens de Brønsted d'un acide et d'une base.
- 2.2. Définir un acide faible et un acide fort.
- 2.4. Donner l'expression de la constante d'acidité K_a associée au couple AH/A^-
- 2.5. Le pH d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration molaire c égale à $1,5\text{mmol.L}^{-1}$ est égal à 3,4. L'acide lactique est-il un acide fort ou faible ?
- 2.6. Le pH d'un lait frais se situe autour de 6,5, déterminer l'espèce prédominante à ce pH .
- 2.7. Retrouver le résultat précédent en évaluant la valeur du rapport $[AH]_{eq}/[A^-]_{eq}$

3. VERS LE YAOURT.

À l'aide des documents fournis dans cette question, déterminer la température la plus favorable à la formation du yaourt ainsi que la durée au bout de laquelle la consistance est celle attendue d'un yaourt.

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

Document 2 : Fabrication d'un yaourt

Le lait pasteurisé estensemencé avec des bactéries (lactobacillus bulgaricus et streptococcus thermophilus) et mis en pots. Ces bactéries vont alors se multiplier et transformer le lactose du lait en acide lactique. La consistance du yaourt est atteinte au bout de quelques heures. Les yaourts sont ensuite refroidis à 4°C ; le froid bloque l'activité des bactéries mais ne les tue pas : au moment de la vente, le yaourt doit contenir au moins 10 millions de bactéries par gramme !

D'après les sites www.espace-sciences.org et www.decouverte-industries-alimentaires.com

Document 3 : Acidité et température

Afin d'optimiser la fabrication d'un yaourt dans un atelier de production, un laboratoire de recherche mesure, à différentes températures, l'évolution dans le temps de l'acidité de différents échantillons d'un lait préalablementensemencé avec des bactéries. L'industrie laitière mesure son acidité totale en « équivalent d'acide lactique » exprimée en degré Dornic* (°D)

Les valeurs obtenues sont reportées dans les tableaux ci-dessous.

Pour une température $\theta_1 = 2^\circ\text{C}$:

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21

Pour une température $\theta_2 = 25^\circ\text{C}$:

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	21

Pour une température $\theta_3 = 45^\circ\text{C}$:

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	20	20	20	27	34	45	55	64	70	78

Pour une température $\theta_4 = 80^\circ\text{C}$

Durée (min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Acidité (°D)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20

Document 4 : Précipitation de la caséine

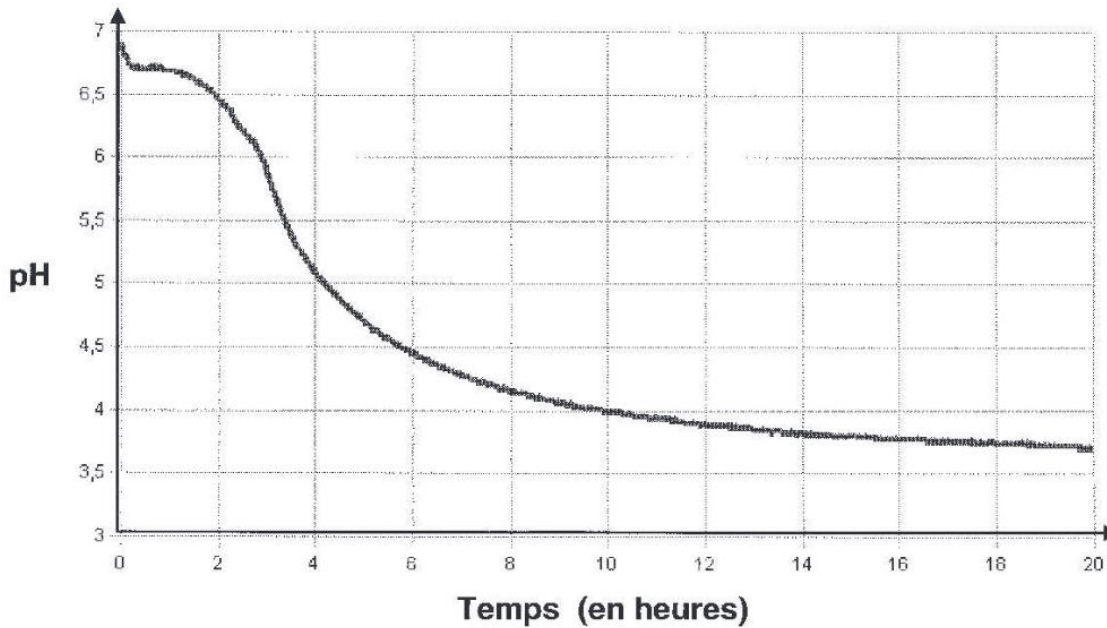
Le point isoélectrique d'une protéine est la valeur du pH pour lequel la somme des charges électriques présentes sur les différents groupes caractéristiques de la protéine s'annule. La protéine est alors dénaturée.

Le point isoélectrique de la principale protéine du lait, la caséine, vaut 4,6.

Pour un $pH < 4,6$ la caséine change de conformation, se délie et, en solution, précipite. On observe sa coagulation responsable de la texture du yaourt.

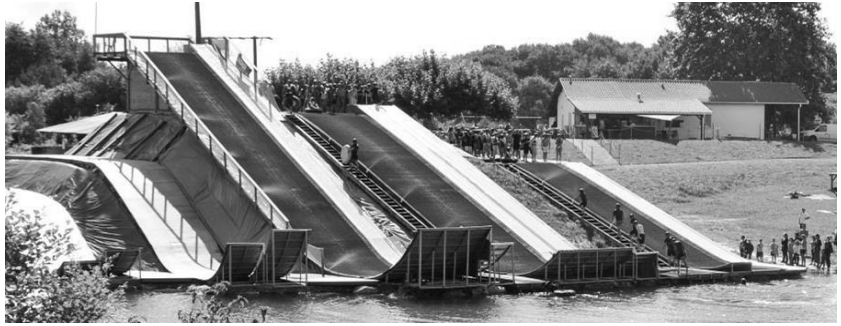
Document 5 : Évolution du pH lors de la fabrication du yaourt dans un atelier de production industrielle

Le graphe suivant donne l'évolution au cours du temps du pH d'un laitensemencé.

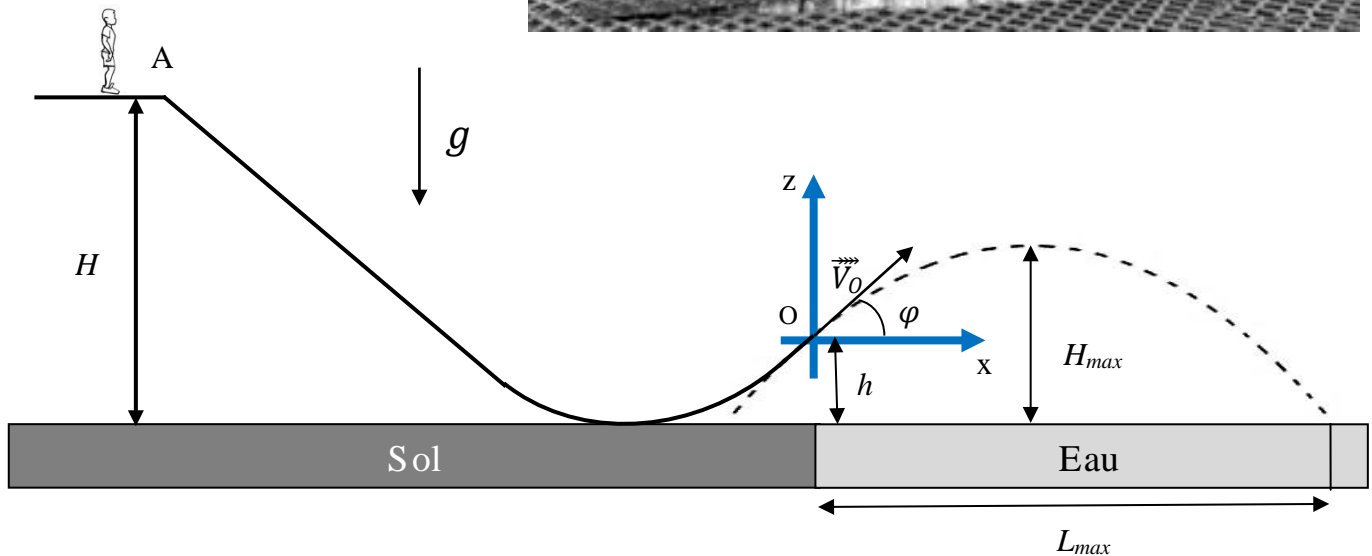


Exercice 2 : Water jump (6 points)

Le *water jump* est une activité en plein essor. Le principe en est simple : un skieur muni d'une combinaison glisse sur un toboggan préalablement mouillé et terminé par un tremplin. Puis, à la sortie de ce dernier, il effectue un saut en chute libre avant de terminer sa course dans un plan d'eau.



Le *water jump* est également utilisé l'été par les skieurs qui ne peuvent s'entraîner sur les pistes faute de neige.



1. Données

Intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Masse du skieur et de son équipement : $m = 73 \text{ kg}$.

Il existe quatre tremplins dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

	Hauteur H	Hauteur h	Angle φ
Tremplin débutant	$H_1 = 3,5 \text{ m}$	$h_1 = 0,85 \text{ m}$	$\varphi_1 = 20^\circ$
Tremplin médian	$H_2 = 7,0 \text{ m}$	$h_1 = 0,85 \text{ m}$	$\varphi_1 = 20^\circ$
Tremplin averti	$H_1 = 3,5 \text{ m}$	$h_2 = 1,7 \text{ m}$	$\varphi_2 = 45^\circ$
Tremplin expert	$H_2 = 7,0 \text{ m}$	$h_2 = 1,7 \text{ m}$	$\varphi_2 = 45^\circ$

Les dimensions du skieur étant faibles devant toutes les autres utilisées dans le problème, il est modélisé par un point matériel. Les frottements seront négligés dans toutes les étapes du mouvement. L'étude est effectuée dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

2. Partie 1 : étude préliminaire

- 1.1. Par des mesures, estimer l'angle φ du tremplin photographié de profil.
- 1.2. S'agit-il du tremplin débutant ou expert ?
- 1.3. Quel est l'intérêt d'humidifier le toboggan avant son utilisation ?

3. Partie 2 : étude du mouvement du skieur après avoir quitté le tremplin

- 2.1. En détaillant votre raisonnement et en précisant la loi utilisée, exprimer le vecteur accélération \vec{a} du skieur lorsqu'il a quitté le toboggan.
- 2.2. On déclenche le chronomètre lorsque le skieur est au point O. Dédurre de la question précédente que les équations horaires du mouvement, dans le repère (O,x,z), peuvent s'écrire :

$$x(t) = V_0 \cdot \cos(\varphi) \cdot t$$
$$z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + V_0 \cdot \sin(\varphi) \cdot t$$

4. Partie 3 : application à l'entraînement pour les skieurs durant l'été

En ski acrobatique (« free style »), il faut effectuer un maximum de figures lors des sauts.

Pour ce faire les skieurs doivent sauter le plus haut possible.

- 3.1. Que vaut la composante de la vitesse du skieur suivant z lorsqu'il atteint son point culminant ?
- 3.2. Le skieur atteint sa hauteur maximale à l'instant t_{max} . Exprimer t_{max} en fonction de V_0 , g et φ .
- 3.3. À l'aide des équations horaires, montrer que l'expression de l'ordonnée correspondante, notée z_{max} dans le repère (O,x,z), vaut :

$$z_{max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2(\varphi)}{2 \cdot g}$$



- 3.4. Calculer la hauteur maximale atteinte H_{max} au-dessus du plan d'eau si le skieur utilise le « tremplin averti » sachant que sa vitesse en O vaut $v_O = 5,9 \text{ m.s}^{-1}$.
- 3.5. Vous êtes entraîneur d'une équipe de ski acrobatique. Choisir le tremplin à utiliser pour que les skieurs fassent un maximum de figures en vol. Justifier votre choix à l'aide de l'expression de z_{max} établie à la question 2.

Exercice 3 : 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 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	Mi3	Si3	Ré3	La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Danseur	Immobile					Course d'élan et grand jeté				

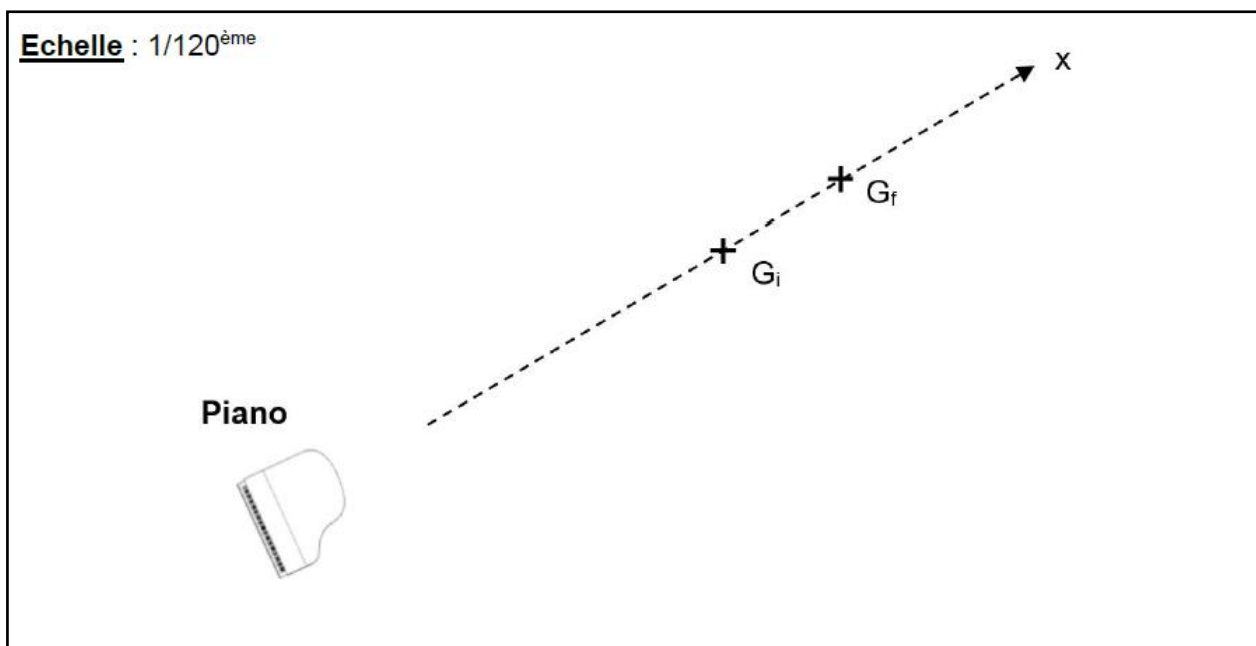
La3 = La de l'octave 3

Données

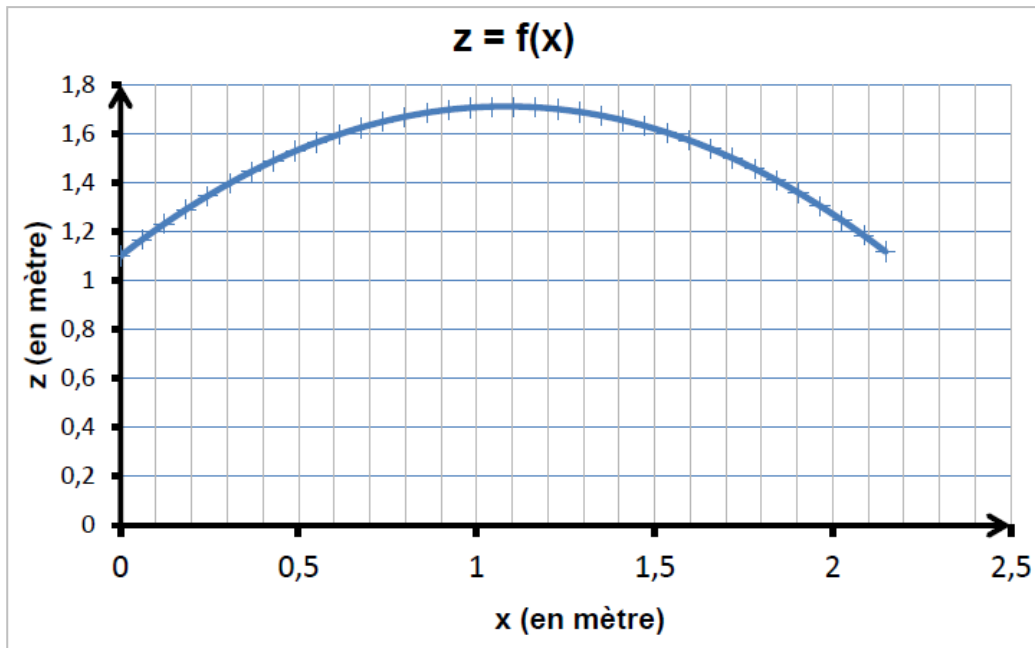
On adoptera les notations suivantes :

- 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).

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 $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

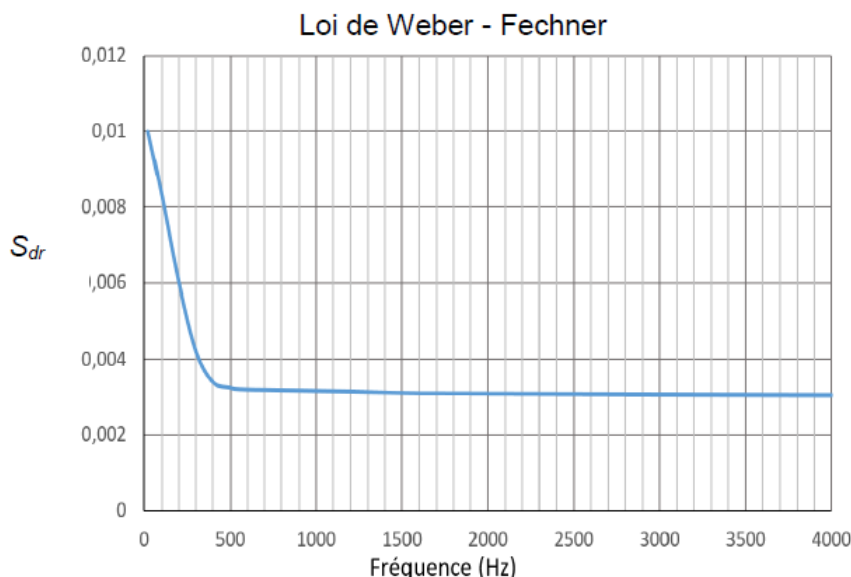
La loi de Weber-Fechner

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. 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 ?

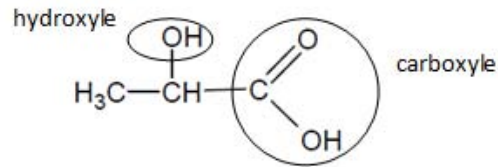
3. Discussion entre Alice et Kilian

Expliquer l'origine du désaccord entre Alice et Kilian.

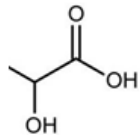
Exercice 1 (/9):

1.1. Sur la formule de l'acide lactique, on reconnaît :

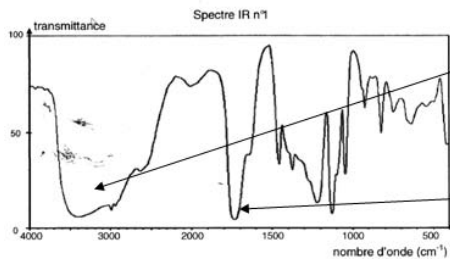
- une chaîne principale de 3 atomes de carbone d'où « propan »
- un groupe carboxyle caractéristique des acides carboxyliques d'où « acide » et « oïque »
- un groupe hydroxyle caractéristique des alcools en position 2 d'où « 2-hydroxy »



1.2.

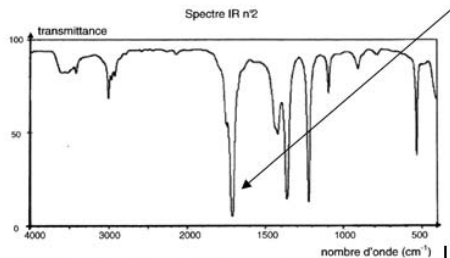


1.3.1.



Bande large qui peut englober la liaison O – H (alcool) entre 3200 et 3700 cm⁻¹ et la liaison O – H de l'acide carboxylique (2500 – 3200 cm⁻¹), non présente dans le deuxième spectre

Bande fine vers 1750 cm⁻¹ caractéristique de la liaison C = O



Le spectre n°1 correspond à l'acide lactique car la bande O – H n'est présente que dans le spectre n°1.

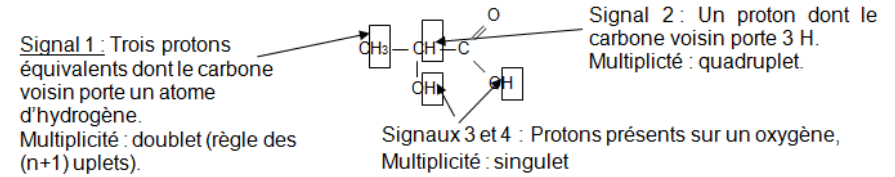
0,5
groupe

0,5
nom.

0,5

1

1.3.2 Le nombre de signaux du spectre de RMN de l'acide lactique est égal au nombre de groupes de protons équivalents dans la molécule. On observe 4 groupes de protons équivalents dans la molécule :



On obtient 4 signaux : 2 singulets, un doublet et un quadruplet.

2.1 Un acide est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs protons, une base est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs protons.

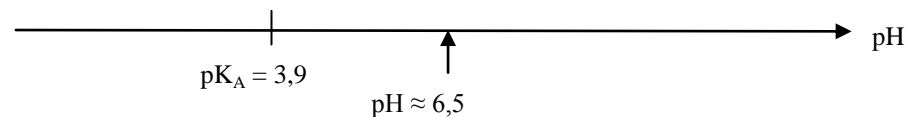
2.2. Un acide faible est un acide dont la réaction avec l'eau est limitée alors qu'un acide fort est un acide dont la réaction avec l'eau est totale.

$$2.3 \quad K_A = \frac{[A_{(aq)}^-]_{\text{éq}} \cdot [H_3O_{(aq)}^+]_{\text{éq}}}{[HA_{(aq)}]_{\text{éq}}}$$

2.4. Si l'acide lactique était un acide fort, on pourrait écrire $\text{pH} = -\log c$ avec c concentration molaire en acide lactique apporté donc on aurait $\text{pH} = -\log(1,5 \times 10^{-3}) = 2,8$.

Or le pH étant égal à 3,4, l'acide lactique ne s'est pas entièrement dissocié dans l'eau : c'est un acide faible (Il s'est formé moins d'ions oxonium que si l'acide était fort).

2.5. Le pH du lait frais étant supérieur au pK_A du couple acide lactique/ion lactate, c'est l'ion lactate qui prédomine dans le lait frais.



2.6. D'après 2.3., on a :

$$[AH]_{\text{éq}}/[A^-]_{\text{éq}} = 10^{\text{pKa}-\text{pH}} = 10^{(3,9-6,5)} = 2,5 \times 10^{-4} < 1 \text{ donc } [AH]_{\text{éq}} < [A^-]_{\text{éq}} \text{ et l'ion lactate prédomine.}$$

0,5

1

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

1

3. VERS LE YAOURT.

D'après le doc 3, les bactéries qui ensemencent le lait pasteurisé transforment le lactose en acide lactique donc l'acidité du lait doit augmenter assez rapidement au cours du temps.

D'après le doc 4, on en déduit que la température la plus favorable au développement des bactéries est $\theta_3 = 45^\circ\text{C}$ car l'acidité a considérablement augmenté ($78 - 19 = 59^\circ\text{D}$ contre $21 - 19 = 2^\circ\text{D}$ maximum pour les 3 autres températures).

D'après le doc 5, pour que le yaourt obtienne la consistance souhaitée, il faut que la caséine précipite c'est-à-dire que le pH soit inférieur à 4,6.

D'après le doc 6, il faut environ **6 h** pour que le pH diminue suffisamment à cause de la transformation du lactose en acide lactique par les bactéries (dans les conditions d'un atelier de production).

Exercice 2 (/6) :

1.1. L'angle vaut environ 45° par lecture graphique.

1.2. D'après le tableau, il s'agit d'un tremplin expert.

1.3. On réduit les frottements du sol sur le tremplin.

2.1. On applique la seconde loi de Newton au système skieur dans le référentiel terrestre. Seul le poids s'applique :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{P} \text{ soit } m\vec{a} = m\vec{g} \text{ d'où } \vec{a} = \vec{g}$$

2.2. On sait que $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$ donc on a $\left| \begin{array}{l} a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = -g \end{array} \right.$ on primitive

chaque expression on a ainsi :

$$\vec{v} \left| \begin{array}{l} v_x(t) = \text{constante} = v_x(0) = v_0 \cos\varphi \\ v_z(t) = -gt + \text{constante}' = -gt + v_z(0) = -gt + v_0 \sin\varphi \end{array} \right.$$

Puis comme $\frac{d\vec{OM}}{dt} = \vec{v}$ alors en primitivant de nouveau:

$$\vec{OM} \left| \begin{array}{l} x(t) = (v_0 \cos\varphi)t + x(0) = (v_0 \cos\varphi)t \\ z(t) = -g\frac{t^2}{2} + (v_0 \sin\varphi)t + z(0) = -g\frac{t^2}{2} + (v_0 \sin\varphi)t \end{array} \right.$$

1,5

3.1. La vitesse selon l'axe Oz est nulle lorsque l'altitude maximale a été atteinte.

3.2. On a alors $gt_{\max} = v_0 \sin\varphi$ et $t_{\max} = \frac{v_0 \sin\varphi}{g}$

3.3. On remplace t_{\max} dans l'expression de z et on trouve

$$z_{\max} = -g \frac{\left(\frac{v_0 \sin\varphi}{g}\right)^2}{2} + (v_0 \sin\varphi) \frac{v_0 \sin\varphi}{g} = \frac{(v_0 \sin\varphi)^2}{2g}$$

3.4. Avec le repère choisi, $H_{\max} = z_{\max} + h$

Pour le tremplin averti, on a $\varphi = 45^\circ$ et $h = 1,7\text{m}$.

Soit $H_{\max} = \frac{(5,9 \sin 45)^2}{2 \times 9,81} + 1,7 = 2,6\text{m}$

3.5 Pour pouvoir faire un maximum de figures, il faut Z_{\max} la plus grande soit $\sin\varphi$ maximale (donc φ tend vers 90°), v_0 le plus grand et h le plus grand. On prend le tremplin averti. L'altitude de départ étant plus grande, la vitesse en O sera plus forte qu'avec el tremplin expert.

0,5

0,5

0,5

Exercice 3 (/ 5):

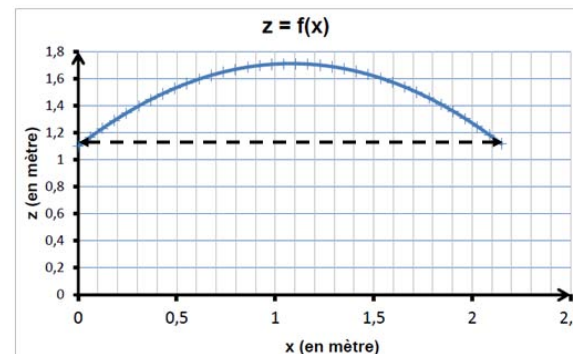
1.1. **Méthode 1 :** on utilise le plan de la scène (vue de dessus) à l'échelle 1 / 120^{ème}.

La distance parcourue $G_i G_f$ mesure 1,8 cm sur le document, soit en réalité $1,8 \times 120 = 216 \text{ cm} = 2,2 \text{ m}$ (2 CS en toute rigueur).

Méthode 2 : on exploite la trajectoire du centre de gravité G de Kilian lors de son grand jeté. On trouve $G_i G_f = 2,15 \text{ m}$ (cohérent avec la valeur de la méthode 1).

0,5

1,5



0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

0,5

1.2. La vitesse moyenne horizontale est- : $v_x = \frac{G_i G_f}{\Delta t}$

La distance horizontale a été parcourue en $\Delta t = 0,710$ s donc :

$$v_x = \frac{2,2}{0,71} = 3,0 \text{ m.s}^{-1}$$

2.1. 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. Comme Kilian s'éloigne du piano (voir plan), il faut utiliser la relation $f_R = f_E \times \left(\frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} + v_R} \right)$ 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. Avant le saut, Killian est considéré immobile et la hauteur reçue est la même que celle jouée par le piano donc $f_1 = f_{\text{La3}} = 440$ Hz. À cause de l'effet Doppler, $f_2 = f_R = 436$ Hz (voir 2.2.). Ainsi :

$$\frac{\Delta f}{f} = \left(\frac{440 - 436}{440} \right) = 9 \times 10^{-3}$$

Vu que Kilian a une oreille entraînée par des années d'études musicales, le seuil différentiel relatif S_{dr} est donné par la relation

$$\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_{\text{oreille entraînée}} = \frac{1}{1000} = 1 \times 10^{-3}$$

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

0,5

0,5

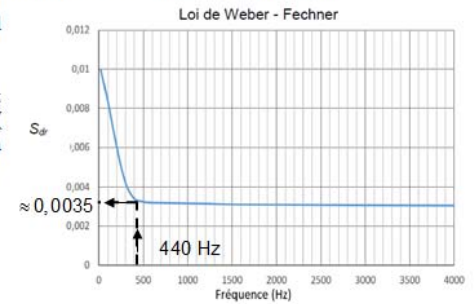
1

1

2.4. 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 est supérieure au seuil différentiel relatif ($0,009 > 0,0035$) donc le danseur pourra également percevoir la différence de hauteur.



1

3. 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.

0,5

Exercice 1. 9 points.

1.1 0.5 groupes +0.5 justification nom.

1.2 0.5

1.3.1. 1

1.3.2. 0.5 (nombre + 1 multiplicité).

2.1. 0.5

2.2 0.5

2.3 0.5

2.4 0.5

2.5 0.5

2.6 1

3. 1,5

Exercice 2. 6 points.

1.1 0.5

1.2 0.5

1.3 0.5

2.1 0.5

2.2 1.5

3.1 0.5

3.2 0.5

3.3 0.5

3.4. 0.5

3.5. 0.5

Exercice 3. 5 points.

1.1. 0.5

1.2. 0.5

2.1. 0.5

2.2 1

2.3 1

2.4 1

3 0.5