BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

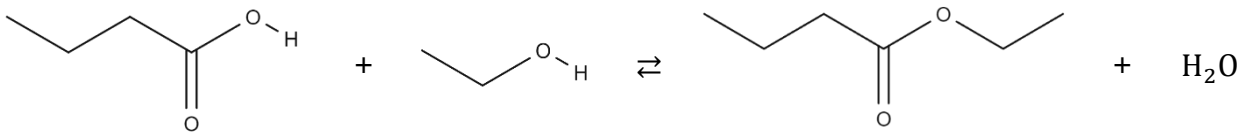
EXERCICE 1 – L'ARÔME D'ANANAS (9 points)

Les esters sont des composants organiques qui ont des arômes souvent agréables et fruités. Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour reproduire des arômes de fruits.

Certains arômes de fruits sont obtenus à partir de mélanges d'esters et d'autres espèces. C'est le cas pour l'arôme d'ananas, fruit dont l'odeur est très complexe à reproduire. Son arôme est obtenu en mélangeant plusieurs substances, dont le butanoate d'éthyle qui constitue l'espèce majoritaire du mélange.

Cet exercice s'intéresse aux caractéristiques (rendement, durée) de la synthèse de cet ester afin de chercher à l'optimiser. Les trois parties de cet exercice peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

La synthèse de l'ester « butanoate d'éthyle » est modélisée par l'équation chimique suivante :



A B ester

1. Caractérisation des réactifs

Les formules chimiques des réactifs A et B sont données dans le document 1.

Document 1 - Données sur les espèces chimiques en jeu dans la transformation

Noms	Formules chimiques	Caractéristiques physiques		Pictogrammes
		Masses molaires et masses volumiques	Températures d'ébullition	
acide butanoïque A	$C_4H_8O_2$	$M_A = 88{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ $\rho_A = 0{,}96\ g \cdot mL^{-1}$	$T_{ébullition} = 164\ °C$	
B	C_2H_6O	$M_B = 46{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ $\rho_B = 0{,}79\ g \cdot mL^{-1}$	$T_{ébullition} = 79\ °C$	
butanoate d'éthyle	$C_6H_{12}O_2$	$M_{ester} = 116\ g \cdot mol^{-1}$ $\rho_{ester} = 0{,}88\ g \cdot mL^{-1}$	$T_{ébullition} = 121\ °C$	
eau	H_2O	$M_{eau} = 18{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ $\rho_{eau} = 1{,}0\ g \cdot mL^{-1}$	$T_{ébullition} = 100\ °C$	

Q1. Nommer le réactif B de la synthèse et donner le nom de la fonction présente dans ce réactif.

Q2. Dessiner la représentation de Lewis du réactif A de la synthèse et expliquer pourquoi cette molécule est un acide au sens de Brönsted.

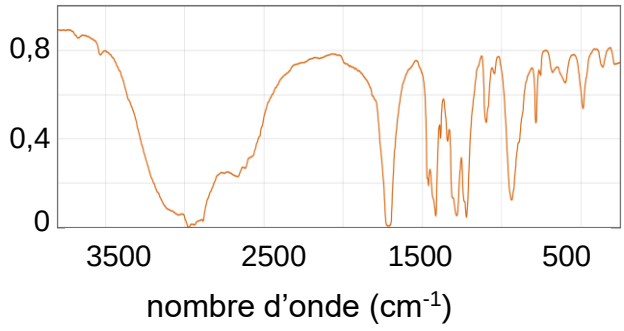
Sur l'étagère, deux flacons sans étiquette sont présents, appelés par la suite « flacon 1 » et « flacon 2 ». L'un d'entre eux contient de l'acide butanoïque, l'autre contient de la butanone. Les spectres infrarouge (IR) du contenu de chaque flacon sont réalisés pour les identifier. Les spectres obtenus sont reproduits dans le document 2.

Q3. À l'aide du tableau des bandes d'absorption du document 2, retrouver parmi les deux spectres « flacon 1 » et « flacon 2 » celui correspondant au réactif A et justifier la réponse.

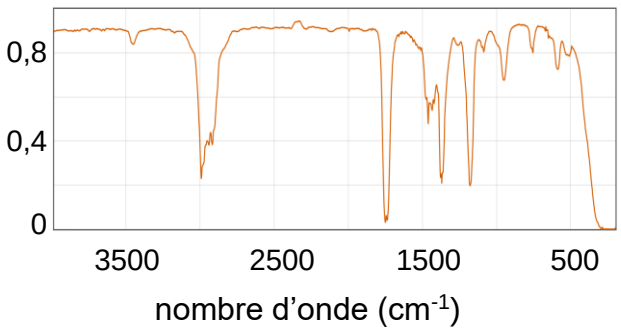
Document 2 - Bandes d'absorption caractéristiques en infrarouge (IR) et spectres étudiés

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité
O-H	2500 à 3200	forte, large
C-H	2800 à 3000	moyenne
C=O	1650 à 1750	forte

spectre « flacon 1 »



spectre « flacon 2 »



https://www.nist.gov/

2. Optimisation du rendement de synthèse

Dans cette partie, on souhaite déterminer le rendement η de la synthèse du butanoate d'éthyle effectuée selon le protocole ci-dessous, puis on s'intéresse à sa potentielle optimisation.

Pour réaliser cette synthèse, on introduit dans un ballon un volume $V_A = 13{,}8\ mL$ de réactif A et un volume $V_B = 8{,}8\ mL$ de réactif B correspondant à une quantité de matière $n_B = 0{,}15\ mol$ du réactif B. On chauffe à reflux pendant $30\ min$ dans un bain thermostaté. Après refroidissement, on isole l'ester synthétisé.

Q4. À l'aide du document 1, page 2, indiquer les précautions à prendre lors du prélèvement des réactifs de cette synthèse.

Q5. Donner deux avantages du chauffage à reflux dans ce type de synthèse.

Q6. Montrer que la quantité de matière de réactif A utilisé est $n_A = 0{,}15\ \text{mol}$.

Q7. Indiquer si le mélange réactionnel est stœchiométrique et justifier la réponse.

Après l'avoir isolé, on pèse l'ester formé, on obtient $m_{ester} = 11{,}7\ \text{g}$.

Q8. En déduire la valeur de η, le rendement de cette synthèse.

Q9. Citer deux méthodes permettant d'optimiser le rendement d'une estérification.

Une de ces méthodes n'est pas applicable à cette synthèse.

Q10. À l'aide des caractéristiques physiques des espèces chimiques mentionnées dans le document 1, page 2, indiquer quelle méthode n'est pas applicable et justifier pourquoi.

3. Suivi cinétique de la synthèse par titrage de l'acide A restant

Dans cette partie, on réalise le suivi cinétique de la synthèse de l'ester en comparant deux protocoles afin de déterminer si la cinétique de cette synthèse peut être optimisée par l'ajout d'acide sulfurique.

Dans un premier temps, on étudie la cinétique de la synthèse présentée précédemment, **sans ajout d'acide sulfurique concentré**.

À l'instant $t_0 = 0\ \text{s}$, les réactifs A ($V_A = 13{,}8\ \text{mL}$) et B ($V_B = 8{,}8\ \text{mL}$) sont mélangés dans un ballon placé dans un bain thermostaté.

Afin de réaliser un suivi temporel de la synthèse du butanoate d'éthyle, on titre l'acide butanoïque restant dans le ballon à des dates choisies. Pour cela :

- À chaque date choisie, on prélève un volume $V = 1{,}0\ \text{mL}$ de mélange réactionnel du ballon que l'on verse dans un bécher.
- Ce dernier est plongé instantanément dans un bain d'eau glacée.
- L'acide butanoïque A restant dans le volume V prélevé est titré par de la soude (solution aqueuse d'hydroxyde de sodium contenant les ions Na^+ et HO^-) de concentration en quantité de matière de soluté apporté $C_{base} = 5{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'équation support de la réaction du titrage est :

$$C_4H_8O_2(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_4H_7O_2^-(aq) + H_2O(\ell)$$

On note n_{A} la quantité de matière d'acide titré et $n_{\mathrm{base,éq}}$ la quantité de matière de base introduite à l'équivalence. On appelle $V_{\mathrm{éq}}$ le volume de soude versé à l'équivalence.

Q11. Définir l'équivalence et donner la relation entre les quantités de matière des réactifs à l'équivalence du titrage.

Les résultats expérimentaux des titrages successifs sont donnés ci-dessous. On désigne par $V_{\mathrm{éq}}$ le volume de soude nécessaire au titrage de l'acide butanoïque présent dans le volume V de mélange réactionnel à l'instant t.

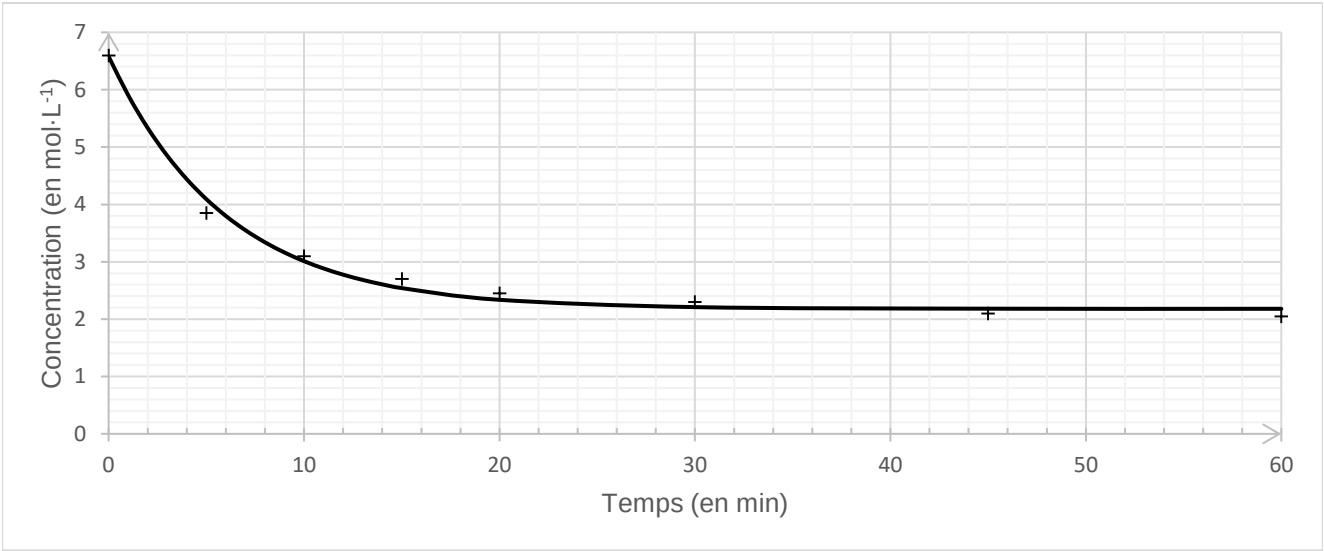
t (en min)	5	10	15	20	30	45	60
$V_{\mathrm{éq}}$ (en mL)	7,7	6,2	5,4	4,9	4,6	4,2	4,1

Pour étudier la cinétique de la synthèse, on souhaite tracer la représentation graphique de la concentration en quantité de matière d'acide butanoïque restant dans le mélange réactionnel, notée $[\mathrm{A}]$, en fonction du temps t.

Q12. Connaissant les valeurs du volume équivalent $V_{\mathrm{éq}}$ en fonction du temps, expliquer comment obtenir les valeurs de la concentration en quantité de matière d'acide butanoïque $[\mathrm{A}]$ en fonction du temps t. Illustrer la démarche en calculant la valeur de $[\mathrm{A}]$ à l'instant $t = 5\ \mathrm{min}$.

On trace alors la représentation graphique de l'évolution de la concentration en quantité de matière d'acide butanoïque $[\mathrm{A}]$ restant au cours de la synthèse du butanoate d'éthyle en fonction du temps t (document 3).

Document 3 - Évolution temporelle de la concentration en A $[\mathrm{A}]$



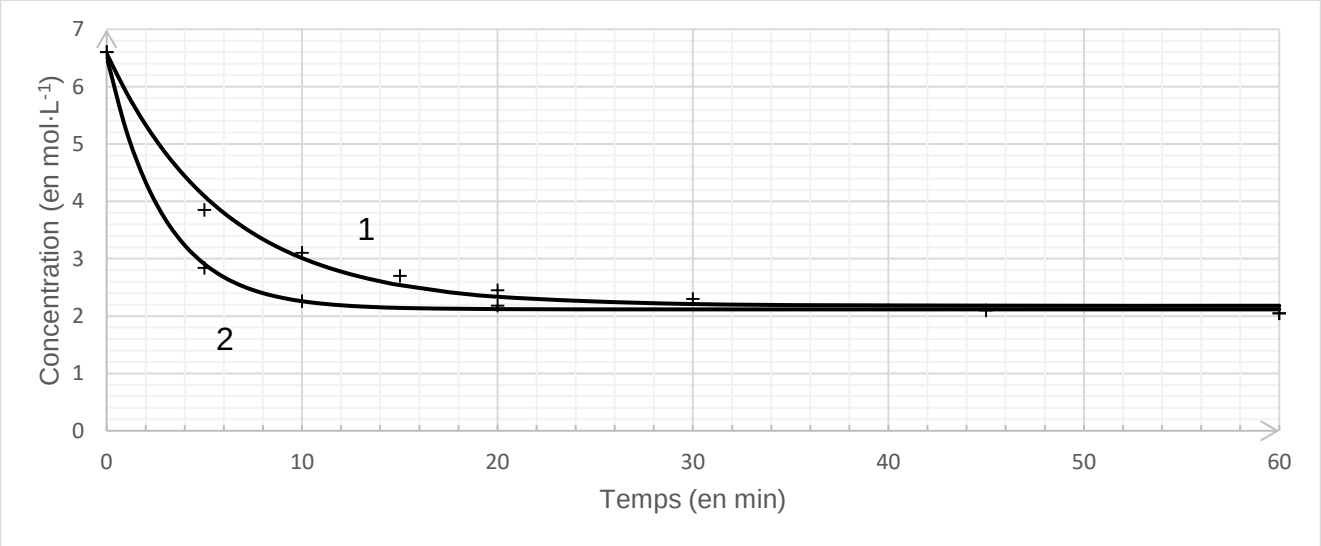
Q13. Donner la définition et l'unité de la vitesse volumique de disparition $v_{\mathrm{d,A}}$ du réactif A lors de la synthèse du butanoate d'éthyle.

Q14. Déterminer comment la vitesse volumique de disparition du réactif A varie au cours de la synthèse. Justifier sans calcul à l'aide de la courbe du document 3, page 5.

Dans un second temps, on étudie la synthèse de l'ester, réalisée avec le même mélange initial de réactifs A et B que dans le premier protocole, dans les mêmes conditions de température et de pression mais **avec ajout d'acide sulfurique concentré**. On admet que la variation du volume total du mélange réactionnel dû à l'ajout d'acide sulfurique est négligeable.

Le document 4 présente l'évolution de la concentration en quantité de matière d'acide butanoïque en fonction du temps dans le cas des deux protocoles de synthèse de l'ester. La courbe 1 correspond à la synthèse sans ajout d'acide sulfurique et la courbe 2 correspond à la synthèse avec ajout d'acide sulfurique.

Document 4 - Évolution temporelle de la concentration en A sans acide sulfurique (courbe 1) et avec acide sulfurique (courbe 2)



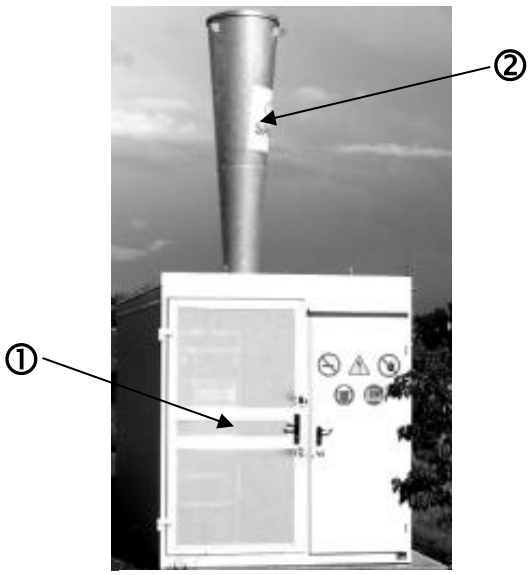
Q15. Déterminer, en justifiant, si l'ajout d'acide sulfurique a permis d'améliorer la cinétique de cette synthèse.

Q16. Identifier alors le rôle de l'acide sulfurique.

EXERCICE 2 – SÉCURITE ACOUSTIQUE (5 points)

Le réchauffement climatique a un impact sur la fréquence et l'intensité des épisodes de grêle. « *Une fréquence augmentée de 30 %, une intensité augmentée en moyenne de 10 % à 15 %* », assure Jean Jouzel, climatologue et ancien membre du GIEC.

Afin de protéger leurs cultures des dégâts que peut engendrer la grêle, certains agriculteurs ont opté pour l'installation de canons anti-grêle (photographie ci-contre). Il s'agit de générateurs d'ondes de choc brèves, composés d'une chambre d'explosion (1) et d'un diffuseur conique (2).



https://www.francebleu.fr

Le principal inconvénient de ce type d'installation est la nuisance sonore liée aux explosions bruyantes qui se succèdent quand un orage est annoncé.

Dans cet exercice, nous allons nous intéresser aux questions suivantes : de quel ordre est le risque sonore lié à l'utilisation du canon anti-grêle pour une personne qui habite ou travaille à proximité ? Peut-on le prévenir à l'aide d'un dispositif nommé « silencieux », installé sur le canon ?

Données :

- Puissance acoustique d'un canon anti-grêle : $P = 503\ \text{W}$
- Pour une source sonore ponctuelle, l'intensité sonore I à une distance d de la source est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation : $I = \frac{P}{4\times\pi\times d^2}$
- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}00 \times 10^{-12}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Niveau d'intensité sonore : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

1. Risque sonore du canon anti-grêle

On se propose d'étudier le risque sonore du canon anti-grêle pour une personne qui travaille ponctuellement à proximité afin de la conseiller sur des actions de prévention.

Q1. Calculer la valeur de l'intensité sonore I_1 perçue par un travailleur situé à une distance $d_1 = 1{,}00\ \text{m}$ du canon anti-grêle.

Q2. Montrer que le niveau d'intensité sonore L_1 à la distance $d_1 = 1{,}00\ \text{m}$ du canon vaut $L_1 = 136\ \text{dB}$.

Q3. À l'aide du document 1, page 8, indiquer quels conseils donner à une personne exposée au bruit qui travaille dans un périmètre d'un mètre autour d'un canon anti-grêle en fonctionnement.

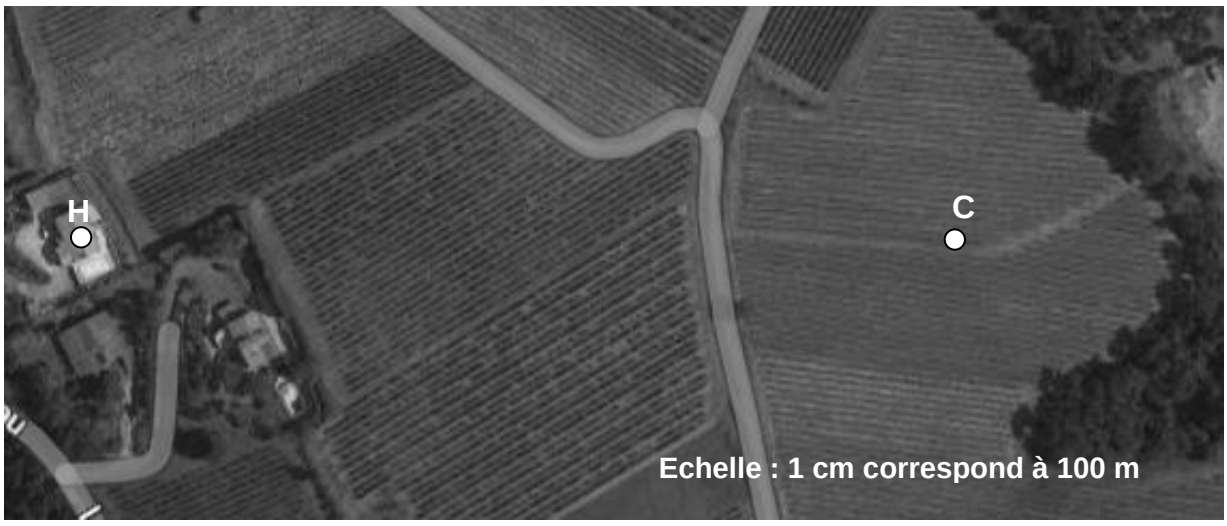
Document 1 - Valeurs limites d'exposition

Exposition quotidienne pendant 8 h	Bruits courts	Actions requises
Quel que soit le niveau		Pas d'obligation à mettre en place des actions spécifiques. Évaluation du risque. Suppression ou réduction au minimum des risques liés à l'exposition au bruit.
Supérieur ou égal à 80 dB et inférieur à 85 dB	Supérieur ou égal à 135 dB et inférieur à 137 dB	Mise à disposition de protections individuelles contre le bruit (PICB). Information et formation des travailleurs sur les risques et les PICB. Examen audiométrique préventif proposé.
Supérieur ou égal à 85 dB et inférieur 87 dB	Supérieur ou égal à 137 dB et inférieur 140 dB	Mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction d'exposition au bruit. Signalisation des endroits concernés et limitation d'accès. Port obligatoire des PICB. Contrôle du port effectif des PICB. Examen audiométrique préventif régulier.
Supérieur ou égal à 87 dB	Supérieur ou égal à 140 dB	Signalisation des endroits concernés, limitation et contrôle des accès. Adoption immédiate de mesures de réduction du bruit.

D'après https://www.cmsm.fr/wp-content/uploads/2019/12/bruit_et_reglementation.pdf

On se propose maintenant d'étudier le risque sonore du canon anti-grêle pour un habitant du secteur, exposé de manière continue au bruit du canon.

Sur le plan ci-dessous, on note C la position du canon anti-grêle et H la position de l'habitant dans son habitation. On note d_2 la distance entre le canon et l'habitation ($d_2 = \mathrm{HC}$).





On admettra que $L_2 = L_1 - 20 \times \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$.

Q4. À l'aide du plan, déterminer la valeur de la distance d_2 et en déduire la valeur du niveau d'intensité sonore L_2 d'une détonation entendue au niveau de l'habitation H.

Q5. Déterminer si les détonations du canon anti-grêle présentent un risque sonore pour les habitants de l'habitation H et expliquer pourquoi.

Le niveau d'intensité sonore n'est pas le seul facteur de risque. On appelle émergence sonore ε_S la modification du niveau d'intensité sonore ambiant du fait d'un bruit soudain. L'émergence sonore peut entraîner une augmentation du stress.

En première approche, on peut évaluer l'émergence sonore par la différence de niveau d'intensité sonore entre un son ponctuel et le son ambiant. Le code de la santé publique indique que l'émergence sonore ne doit pas dépasser $+5\ \mathrm{dB}$ le jour et $+3\ \mathrm{dB}$ la nuit.

Ces éléments vont permettre d'affiner l'étude du risque acoustique autour de l'habitation. Le niveau d'intensité sonore moyen ambiant autour de l'habitation H, L_{H}, vaut $L_{\mathrm{H}} = 65\ \mathrm{dB}$. Au moment d'une explosion du canon, le niveau d'intensité sonore de la détonation entendue au niveau de l'habitation H, L_2, est mesuré à $L_2 = 75\ \mathrm{dB}$.

Q6. Calculer, au niveau de l'habitation, la valeur de l'émergence sonore ε_S due au fonctionnement du canon.

Q7. Commenter ce résultat en considérant les attendus du code de la santé publique.

2. Réduction d'un risque au moyen d'un silencieux

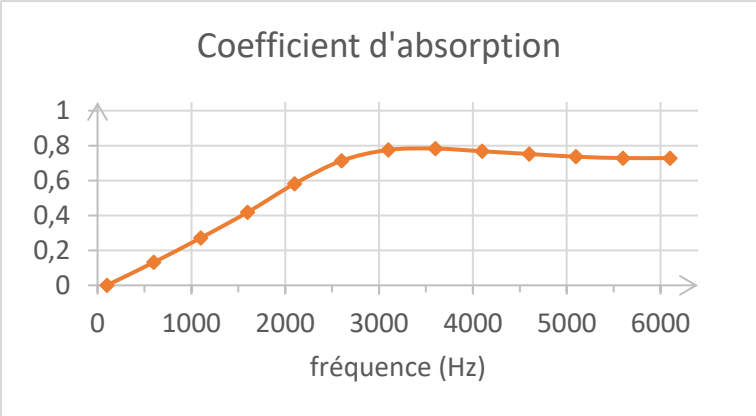
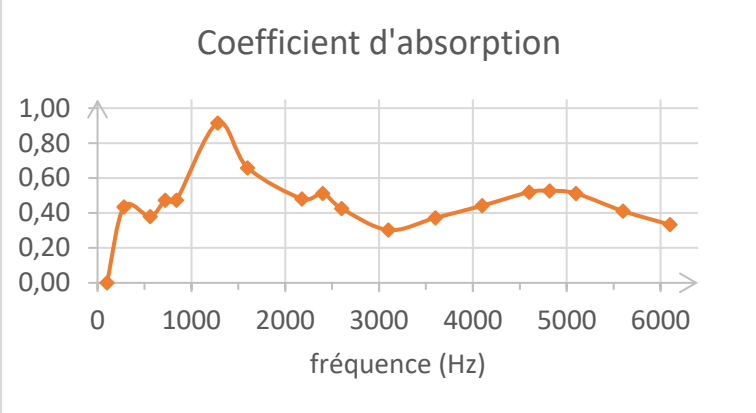
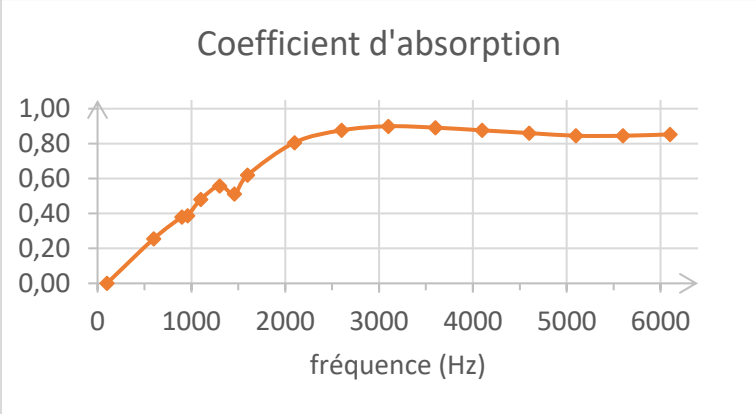
Afin de résoudre les risques étudiés précédemment, le canon anti-grêle est équipé d'un silencieux entourant le canon. Ce silencieux est constitué d'un coffrage recouvert à l'intérieur d'un matériau isolant phonique.

Le coefficient d'absorption acoustique C_{abs} d'un matériau servant à l'isolation phonique caractérise sa capacité à atténuer les sons. Plus le coefficient d'absorption acoustique est élevé, meilleure est l'isolation. C'est une grandeur sans unité.

On admet qu'un coup de canon est un son de fréquence f d'environ $1000\ \mathrm{Hz}$.

Q8. Parmi les matériaux présentés dans le document 2, page 10, préciser celui qui est le plus adapté pour tapisser les parois du silencieux. Justifier.

Document 2 - Variation du coefficient d'absorption acoustique C_{abs} de différents matériaux en fonction de la fréquence f du son à absorber, pour une épaisseur de 30 mm de matériau

a) Mousse alvéolaire 30 mm	
b) Mousse faces lisses 30 mm	
c) Mousse mélamine 30 mm	

https://www.solutions-elastomeres.com/

Le matériau choisi à la question **Q8** permet en moyenne de réduire de 14 dB la transmission du bruit à travers les parois du canon anti-grêle.

Q9. Déterminer si le canon anti-grêle muni d'un silencieux représente un facteur de risque sonore au niveau de l'habitation H selon les attendus du code de la santé publique. Justifier.

EXERCICE 3 – DÉTERMINATION DE LA VALEUR DU CHAMP DE PESANTEUR À LA SURFACE DE LA LUNE (6 points)

Apollo 14 (31 janvier 1971 - 9 février 1971) est la huitième mission habitée du programme Apollo et la troisième à se poser sur la Lune. Il s'agit de la première mission dont le lieu d'atterrissage a été sélectionné non en fonction de contraintes techniques, mais pour son intérêt géologique.
(*https://fr.wikipedia.org/wiki/Apollo_14*)

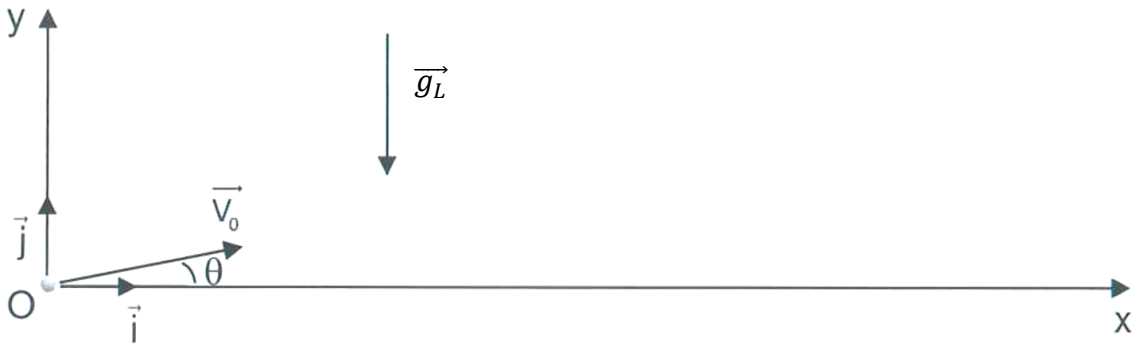
Le 6 février 1971, l'astronaute Alan Shepard s'essaya au golf à la surface de la Lune. Après deux tentatives infructueuses du fait de la gêne créée par sa combinaison spatiale, le troisième essai propulsa la balle de telle sorte qu'elle ne fut retrouvée qu'en 2021, grâce à une analyse numérique poussée du film original de la mission. Il fut alors établi que la balle n'avait pas parcouru des kilomètres et des kilomètres, mais seulement $36\ \text{m}$!
(*https://sciencepost.fr/balle-de-golf-alan-shepard-lune-apollo-14/*)

À partir des informations disponibles sur ce tir, il a aussi été possible d'estimer que la balle était partie avec une vitesse initiale $V_0 = 30\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ et avec un angle initial $\theta = 25°$.

L'objectif de cet exercice est de montrer que les caractéristiques de ce tir permettent d'obtenir une estimation de la valeur du champ de pesanteur à la surface de la Lune, noté g_L.

La balle de golf est modélisée par un point matériel de masse $m = 46{,}0\ \text{g}$ évoluant dans le champ de pesanteur lunaire $\overrightarrow{g_\text{L}}$. Du fait de l'absence d'air, la balle ne subit aucune force autre que son poids.

Le mouvement de la balle est étudié dans le système d'axes $(\text{Ox}\,;\text{Oy})$. À la date $t = 0\ \text{s}$, elle est placée à l'origine du repère O.



Étude du mouvement et détermination du champ de pesanteur lunaire

Q1. À partir d'une loi dont on donnera le nom, exprimer les composantes du vecteur accélération $\vec{a}$ dans le repère $(\text{Ox}\,;\text{Oy})$.

Q2. En déduire les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement de la balle.

La portée du tir correspond à la distance x_P entre l'origine du mouvement O et le point d'impact au sol. La durée du vol, t_{vol}, est le temps écoulé entre le tir et le moment où la balle retombe au sol.

Q3. À partir des équations horaires du mouvement établies à la question **Q2**, montrer, en détaillant soigneusement le raisonnement, que t_{vol}, la durée du vol de la balle, peut s'exprimer :

$$t_{vol} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot \sin(\theta)}{g_L}$$

Q4. À partir des mêmes équations horaires du mouvement, déterminer une autre expression du temps de vol t_{vol} en fonction de la portée du tir x_P, de la vitesse initiale de la balle V_0, et de l'angle de tir θ.

Q5. En déduire, en détaillant le raisonnement, que l'expression du champ de pesanteur lunaire g_L peut s'écrire :

$$g_L = \frac{2 \cdot {V_0}^2 \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\theta)}{x_P}$$

On suppose que la balle s'est arrêtée là où elle a touché le sol (elle n'a pas roulé). Autrement dit :

$$x_P = 36 \text{ m}$$

Q6. Calculer la valeur numérique de g_L en précisant son unité.

On souhaite comparer cette valeur à celle obtenue à partir des caractéristiques de la Lune en appliquant la loi de la gravitation universelle. Cette dernière permet d'exprimer le champ de pesanteur lunaire g_{L0} en fonction de la constante de gravitation universelle G, de la masse de la Lune M_L et du rayon de la lune R_L selon l'expression :

$$g_{L0} = \frac{G \cdot M_L}{R_L^2}$$

Q7. Calculer la valeur numérique de g_{L0} en utilisant les données ci-après.

- Masse de la Lune : $M_L = 7{,}34 \times 10^{22}$ kg
- Rayon de la lune : $R_L = 1740$ km
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2}

Q8. Comparer la valeur du champ de pesanteur lunaire g_{L0} obtenue à partir de la loi de gravitation universelle à celle obtenue à partir du tir de golf d'Alan Shepard.