

1- 24-PYCJ1ME1

Exercice 2 - Observation d'un avion en vol (5 points)

Le trafic aérien est source de fascination pour beaucoup de gens. Notre observation se limite souvent à la traînée de l'avion dans le ciel ou, plus récemment, à un suivi en direct (trajectoire, vitesse, altitude) grâce à des applications en ligne.

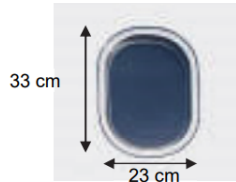
L'objectif de cet exercice est d'étudier l'observation, avec une lunette astronomique afocale commerciale, de certains détails de la structure d'un avion de type A312 en vol, puis de déterminer la vitesse de cet avion en phase d'atterrissage grâce à un enregistrement du son émis par le moteur.

Données :

- les valeurs du grossissement G de la lunette astronomique utilisée sont comprises entre 16 et 48 ;
- un observateur peut distinguer deux points différents A et B d'un objet si l'angle α sous lequel ces deux points sont vus depuis le point d'observation (voir figure ci-dessous) est supérieur ou égal à $3,0 \times 10^{-4}$ rad ;



- approximation dans le cas des petits angles ($\alpha \ll 1$ rad) : $\tan(\alpha) = \alpha$;
- quelques données concernant un avion A312 :
 - longueur de l'avion : $L = 44,5$ m ;
 - altitude de vol de croisière de l'avion : $h = 10,4$ km ;
 - vitesse de vol de croisière de l'avion : $v_c = 863$ km·h⁻¹ ;
 - hublot de l'avion A312 :



1. Observation d'un avion A312 avec une lunette astronomique

Q1. Donner la définition d'une lunette afocale.

Q2. Sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, placer le foyer objet F_2 puis le foyer image F'_2 de l'oculaire de la lunette astronomique.

L'avion vole à la verticale de l'observateur et se trouve donc à la distance h de celui-ci.

Sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, les extrémités avant et arrière de l'avion observé sont respectivement modélisées par les points A_∞ et B_∞ , situés à une très grande distance de l'observateur.

Q3. Construire, sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, la marche des deux rayons lumineux issus de B_∞ qui émergent de la lunette, en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 .

L'angle α désigne l'angle sous lequel l'avion est observé à l'œil nu. L'angle sous lequel l'avion est observé au travers de l'oculaire de la lunette astronomique est nommé α' .

Q4. Vérifier à l'aide d'un calcul que l'on peut distinguer, à l'œil nu, l'avant de l'avion de sa queue.

Q5. Après avoir placé les angles α et α' sur le schéma **EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, rappeler l'expression du grossissement G d'une lunette astronomique en fonction des angles α et α' .

Q6. Déterminer si on peut distinguer l'un de l'autre les deux bords verticaux d'un hublot de l'avion, à l'aide de la lunette astronomique étudiée.

2. Détermination de la vitesse d'un avion A312 en phase d'atterrissage

Au voisinage de l'aéroport, un observateur enregistre le son du moteur de l'avion passant au-dessus de lui lors de sa phase d'atterrissage. L'observateur est supposé fixe lors de l'enregistrement du son.

L'analyse du signal sonore enregistré permet de déterminer les fréquences des signaux reçus par l'observateur. Lorsque l'avion s'avance en direction de l'observateur la fréquence mesurée est $f_A = 2,2$ kHz, et lorsqu'il s'éloigne la fréquence est $f_E = 1,5$ kHz.

Q7. Donner le nom du phénomène mis en jeu dans cette expérience.

On note f_0 la fréquence du signal émis par la source immobile, c la vitesse du son dans l'air dans les conditions de l'expérience et v la vitesse de l'avion par rapport au sol. On donne $c = 345$ m·s⁻¹.

Q8. Parmi les propositions A, B, C et D suivantes, choisir et recopier sur la copie la proposition correcte. Expliquer pourquoi les autres propositions sont à écarter.

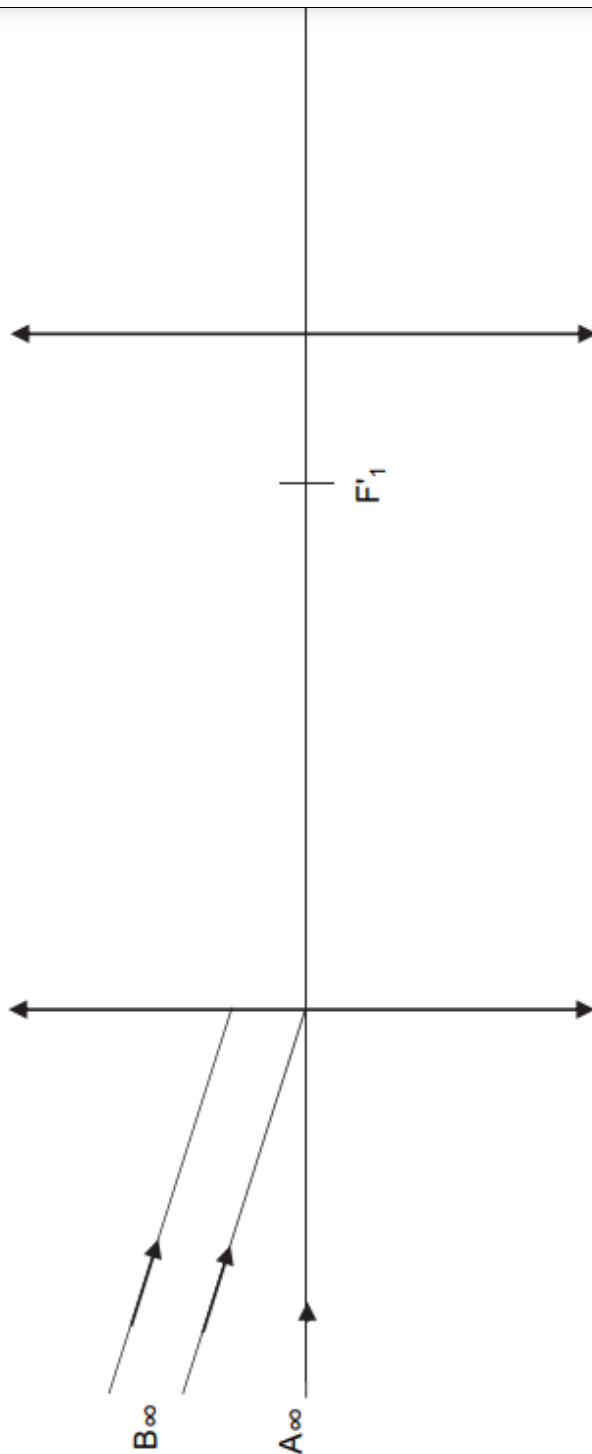
A	B	C	D
$f_A = \frac{c}{c - v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c - v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$	$f_A = f_0 \cdot \frac{c}{c - 2v}$
$f_E = \frac{c}{c + v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c - v}$	$f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c + v}$

Q9. Déterminer la vitesse v de l'avion, exprimée en km·h⁻¹, lors de cet atterrissage. Commenter.

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

Oculaire

Objectif



2

2- 24-PYCJ2ME3

Exercice 1 - Vol en montgolfière (11 points)

Inventée à la fin du XVIII^e siècle par les frères Montgolfier, la montgolfière est la première machine ayant permis à l'Homme de voler.

L'objectif de cet exercice est d'étudier l'envol d'une montgolfière ainsi que les transferts thermiques à travers son enveloppe.



D'après le site France Bleu Pyrénées-Orientales

1. L'envol de la montgolfière

Une montgolfière se compose de trois parties principales : une enveloppe dont le volume est considéré constant, un système de chauffage (brûleur avec réservoir de carburant) et une nacelle.

On étudie dans cette partie l'envol de la montgolfière dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Dans cette modélisation, les seules forces prises en compte sont le poids de la montgolfière et la poussée d'Archimède exercée par l'air ambiant sur celle-ci.

Données :

- masses molaires atomiques : $M(O) = 16 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(N) = 14 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- intensité de la pesanteur terrestre supposée constante : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- l'air, assimilé à un gaz parfait, est composé, en quantité de matière, de 80 % de diazote N_2 et de 20 % de dioxygène O_2 ;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- conversion d'une température θ exprimée en degré Celsius en une température T en Kelvin : $T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- la poussée d'Archimède $\vec{\pi}_A$ est une force, verticale et dirigée vers le haut, que subit tout objet plongé dans un fluide. Pour un objet de volume V totalement immergé dans un fluide de masse volumique ρ , la valeur π_A de la poussée d'Archimède a pour expression :

$$\pi_A = \rho \cdot V \cdot g$$

- caractéristiques de l'air extérieur au niveau du sol :
 - masse volumique : $\rho_{\text{ext}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 - température : $\theta_{\text{ext}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - pression atmosphérique : $p_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$;
- la montgolfière étudiée est constituée d'une enveloppe de volume V invariable égal à $2,5 \times 10^3 \text{ m}^3$ et d'une nacelle de volume négligeable par rapport à celui de l'enveloppe ;
- la masse m_{ens} de l'ensemble comprenant la nacelle, l'enveloppe, le système de chauffage et les passagers est égale à 500 kg.

Q1. Montrer que la valeur de la masse molaire M_{air} de l'air est voisine de $29 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Q2. En exploitant l'équation d'état des gaz parfaits, exprimer littéralement la masse m_{int} de l'air contenu à l'intérieur de l'enveloppe en fonction de la pression p_{int} de l'air à l'intérieur, du volume V de l'enveloppe, de la masse molaire M_{air} de l'air, de la constante R des gaz parfaits et de la température T_{int} de l'air situé à l'intérieur de l'enveloppe.

Q3. Exprimer le poids total du système {montgolfière + air intérieur}, noté P_{total} , en fonction des masses m_{ens} et m_{int} .

Q4. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède π_A qui s'exerce sur le système {montgolfière + air intérieur}, au niveau du sol.

Q5. Montrer que l'expression de la valeur de la température minimale T_{\min} de l'air à l'intérieur de l'enveloppe pour que la montgolfière puisse décoller est :

$$T_{\min} = \frac{p_{\text{int}} \cdot V \cdot M_{\text{air}}}{R \cdot \left(\frac{p_A}{g} - m_{\text{ens}} \right)}$$

Calculer la valeur de T_{\min} . On admet que la pression p_{int} de l'air à l'intérieur de l'enveloppe est égale à la pression atmosphérique $p_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Alors que la montgolfière est retenue au sol par des sangles, le pilote actionne les brûleurs afin que la température de l'air intérieur de l'enveloppe soit supérieure à la température T_{\min} .

À la date $t = 0$, les sangles sont détachées et la montgolfière, initialement immobile, commence son ascension verticale, comme représenté à la figure 1. À cet instant, la valeur de la poussée d'Archimède exercée sur le système est égale à $\pi_A = 2,9 \times 10^4 \text{ N}$ et la masse totale du système {montgolfière + air intérieur} est $m_{\text{tot}} = 2,8 \times 10^3 \text{ kg}$.

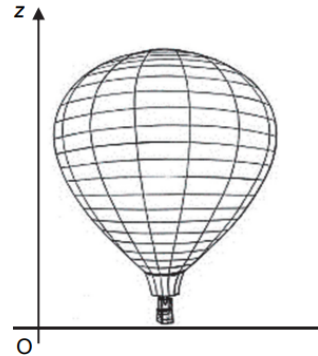


Figure 1. Schéma de la montgolfière à la date $t = 0$

Dans une modélisation simplifiée, on ne tient compte que de la poussée d'Archimède et du poids pour étudier le mouvement du ballon. On suppose également que les valeurs de ces forces restent inchangées au cours du temps.

Q6. Déterminer la valeur de l'accélération du système {montgolfière + air intérieur}. Calculer ensuite la valeur de sa vitesse au bout de 10 s puis au bout de 1 minute d'ascension.

Q7. Commenter les résultats obtenus à la question précédente et proposer une piste d'amélioration du modèle. On pourra s'appuyer sur les vitesses exprimées en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

2. Une enveloppe de montgolfière plus performante

Des entreprises spécialisées dans la conception des montgolfières ont développé une nouvelle gamme d'enveloppes. Contrairement aux enveloppes traditionnelles, constituées d'une simple couche de nylon, les nouveaux modèles d'enveloppes sont constitués d'une double couche de nylon. Entre les deux épaisseurs de nylon, une couche d'air permet de limiter le transfert thermique vers l'extérieur de l'enveloppe. La consommation de carburant est ainsi réduite.

Données :

- résistance thermique d'une enveloppe simple couche : $R_{\text{th},1} = 3,0 \times 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$;
- on rappelle que le flux thermique ϕ_1 à travers l'enveloppe simple couche du ballon, de l'intérieur vers l'extérieur, est donné par la relation :

$$\phi_1 = \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{R_{\text{th},1}}$$

où $\theta_{\text{ext}} = 21^\circ \text{C}$ est la température de l'air extérieur et où $\theta_{\text{int}} = 106^\circ \text{C}$ est la température de l'air intérieur.

Q8. Préciser, en justifiant, le sens du flux thermique à travers l'enveloppe simple couche du ballon.

Q9. Calculer la valeur du flux thermique ϕ_1 à travers une enveloppe simple couche.

Q10. Le flux thermique ϕ_2 à travers l'enveloppe à double paroi est $\phi_2 = 165 \text{ kW}$. Commenter.

3. Une gourde en aluminium à bord de la montgolfière

Le pilote de la montgolfière emporte avec lui une gourde en aluminium contenant une boisson chaude. On étudie en laboratoire l'évolution temporelle de la température du système {gourde + boisson} et on modélise le transfert thermique entre ce système et l'extérieur par la loi de Newton, rappelée dans les données ci-dessous.

La température du système à la date t est notée $\theta(t)$. À la date $t = 0$ correspondant au début de l'expérience, la température du système est $\theta_0 = 48^\circ \text{C}$.

Données :

- capacité thermique du système étudié : $C = 2,1 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$;
- surface totale de la gourde exposée à l'air : $S = 0,042 \text{ m}^2$;
- la température de l'air extérieur est supposée constante pendant toute la durée de l'expérience et égale à $\theta_{\text{ext}} = 21^\circ \text{C}$;
- la loi de Newton donne l'expression du flux thermique ϕ (en W) reçu par le système {gourde + boisson}, à la température $\theta(t)$, de la part de l'air extérieur, à la température θ_{ext} :

$$\phi = h \cdot S \cdot (\theta_{\text{ext}} - \theta(t)) \quad \text{où } h \text{ est le coefficient d'échange thermique surfacique.}$$

Lors de l'expérience réalisée en laboratoire, l'utilisation d'un système d'acquisition informatisé permet d'obtenir l'évolution de la température du système au cours du temps (figure 2).

Lors de l'expérience réalisée en laboratoire, l'utilisation d'un système d'acquisition informatisé permet d'obtenir l'évolution de la température du système au cours du temps (figure 2).

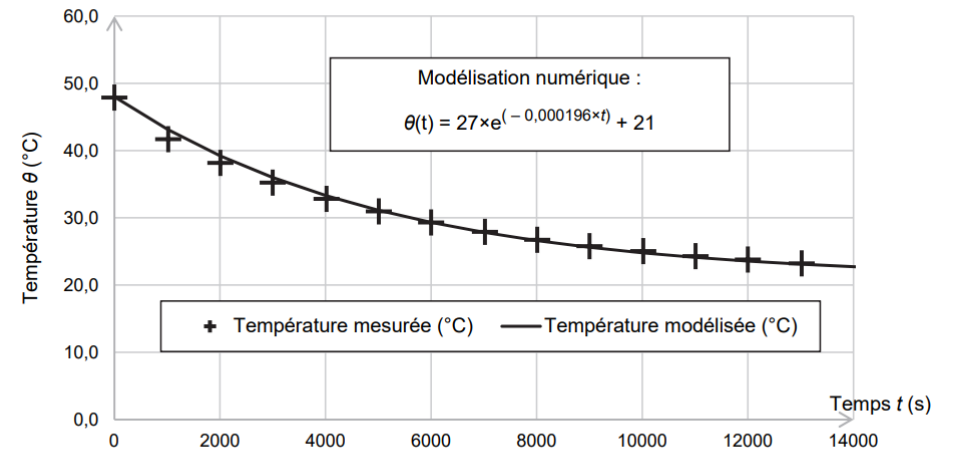


Figure 2. Courbe représentant l'évolution de la température θ du système au cours du temps

On considère deux instants voisins t et $t + \Delta t$, la durée Δt est supposée faible devant une durée caractéristique d'évolution de la température du système.

Q11. Montrer que la température du système vérifie la relation :

$$\theta(t+\Delta t) - \theta(t) = \frac{h \cdot S \cdot (\theta_{\text{ext}} - \theta(t)) \cdot \Delta t}{C}$$

À partir du résultat précédent, on montre que la température $\theta(t)$ du système lors de son refroidissement vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{\theta(t)}{\tau} = \frac{\theta_{\text{ext}}}{\tau}$$

avec $\tau = \frac{C}{h \cdot S}$ le temps caractéristique du système.

L'équation différentielle précédente admet des solutions générales de la forme $\theta(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + B$.

Q12. Déterminer les expressions littérales des constantes A et B en fonction de θ_0 et θ_{ext} puis calculer leurs valeurs. Commenter.

Q13. Déterminer la valeur du temps caractéristique τ à partir de la modélisation numérique de la figure 2.

Q14. En déduire la valeur du coefficient h d'échange thermique surfacique, puis commenter le résultat obtenu avec les valeurs données dans le tableau ci-dessous.

Conditions environnementales	Coefficient d'échange thermique surfacique entre l'air et une paroi solide en $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.
Sans courant d'air	de 5 à 10
Avec courant d'air	de 10 à 500

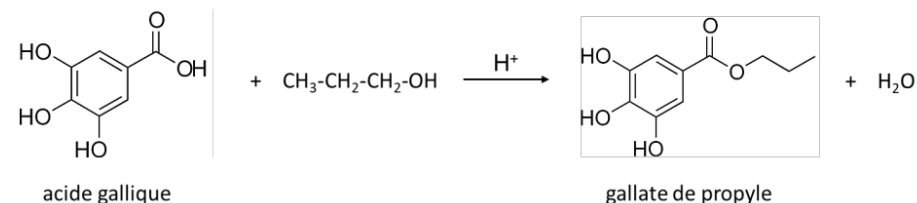
D'après le cours de P.-Y. Lagrée, Coefficient d'échange, Ailettes

3-24-PYCJ1AN1

EXERCICE 3 : le gallate de propyle (4 points)

Le gallate de propyle (E310) est un antioxydant. Il permet de prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations causées par l'oxydation, telles que le rancissement des matières grasses et les modifications de couleur. On en trouve notamment dans les chewing-gums ou les céréales du petit-déjeuner.

Le gallate de propyle (E310) peut être synthétisé à partir d'acide gallique et de propan-1-ol, en présence d'ions H^+ , selon une transformation chimique modélisée par la réaction dont l'équation est donnée ci-dessous :



D'après la réglementation NGAA (Norme Générale pour les Additifs Alimentaires), la teneur maximale autorisée de ce conservateur est de 200 mg par kilogramme d'aliment.

Q.1. Recopier sur la copie les formules de l'acide gallique et du gallate de propyle. Entourer les groupes caractéristiques modifiés lors de la transformation de l'acide gallique en gallate de propyle et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Le mécanisme réactionnel de la synthèse comporte cinq étapes, dont les étapes 3 et 4 sont représentées sur le document fourni en **Annexe à rendre avec la copie**.

Q.2. Représenter sur l'**Annexe à rendre avec la copie** les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'étape 3 du mécanisme, en justifiant leur sens.

Q.3. Représenter le schéma de Lewis de l'espèce chimique A obtenue lors de l'étape 4. Justifier le qualificatif d'intermédiaire réactionnel donné à cette entité.

Q.4. Indiquer le rôle joué par les ions hydrogène H^+ lors de cette transformation.

Données :

- masse molaire de l'acide gallique : $M_1 = 170,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masse molaire du gallate de propyle : $M_2 = 212,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masse volumique de l'huile d'olive : $\rho_{\text{huile}} = 0,91 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

On utilise le gallate de propyle comme conservateur dans de l'huile d'olive alimentaire. On le synthétise en faisant réagir l'acide gallique avec un excès de propan-1-ol dans des conditions expérimentales où le rendement de la synthèse est de 60 %.

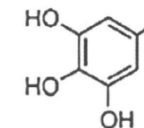
Q.5. Indiquer l'intérêt d'introduire en excès le propan-1-ol.

Q.6. Déterminer la masse d'acide gallique nécessaire pour obtenir 500 litres d'huile possédant la teneur maximale en conservateur autorisée par la réglementation. Commenter le résultat.

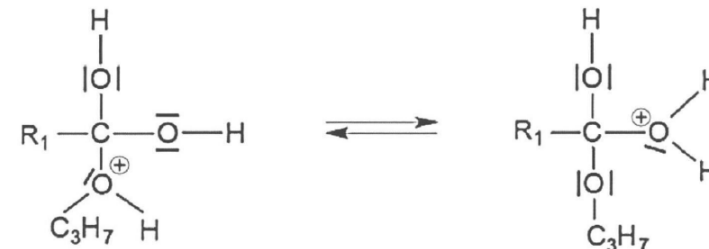
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Annexe à rendre avec la copie

Pour simplifier l'écriture, on note R_1 le groupe suivant :



Étape 3



Étape 4

