

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

PHYSIQUE-CHIMIE

Epreuve de spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

SUJET 2

Exercice 1: UN CHIMISTE QUI MÉRITE D'ÊTRE CONNU (9 POINTS)

Exercice 2: INSTALLATION DE L'HOMME SUR LA LUNE (6 POINTS)

Exercice 3: POMPE À CHALEUR ET HABITATION (5 POINTS)

EXERCICE 1: UN CHIMISTE QUI MÉRITE D'ÊTRE CONNU : KARL FRIEDRICH MOHR (9 POINTS)

Karl Friedrich Mohr est un chimiste allemand ayant vécu au dix-neuvième siècle. Il a introduit de nombreuses techniques qui ont fait progresser la chimie expérimentale. Ses découvertes restent utiles chaque jour dans les laboratoires du monde entier.

L'objectif de cet exercice est d'illustrer, à travers trois exemples, les principaux apports de Mohr à la chimie : le sel de Mohr, le chauffage à reflux et le dosage par titrage.

Le sel de Mohr.

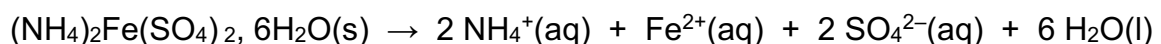
Les ions fer (II) $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ sont facilement oxydés en ions fer (III) $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ par le dioxygène de l'air qui se dissout en solution aqueuse. Pour minimiser cette oxydation et permettre la conservation d'une solution d'ions fer (II), Mohr a proposé d'utiliser un solide ionique hydraté de formule chimique : $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{s})}$. En son honneur, ce solide est nommé le « sel de Mohr ».

Données :

- Masses molaires atomiques :
 $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$,
 $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Le sel de Mohr contient des ions ammonium NH_4^+ , des ions fer (II) Fe^{2+} et des ions sulfate SO_4^{2-} .

1. Écrire les demi-équations électroniques des couples oxydant-réducteur $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{O}_2_{(\text{aq})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$. Utiliser ces demi-équations pour justifier l'équation de la réaction qui modélise l'oxydation des ions fer (II) par le dioxygène en milieu acide :
$$4 \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{O}_2_{(\text{aq})} + 4 \text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow 4 \text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$$

On prépare un volume V de valeur égale à 100,0 mL d'une solution aqueuse de sel de Mohr en dissolvant une masse m de solide de valeur égale à 2,00 g. L'équation suivante permet de modéliser la dissolution du sel de Mohr dans l'eau :



2. Vérifier que la valeur de la masse molaire M sel du sel de Mohr est égale à $392,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
3. Calculer la valeur de la concentration c en soluté apporté. Montrer alors l'intérêt du sel de Mohr en expliquant comment on peut connaître simplement la concentration en quantité de matière $[\text{Fe}^{2+}]$ des ions fer (II) présents dans la solution obtenue.

Le chauffage à reflux.

Mohr a mis au point le dispositif dit du « chauffage à reflux », représenté figure 1, qui a révolutionné la chimie de synthèse.

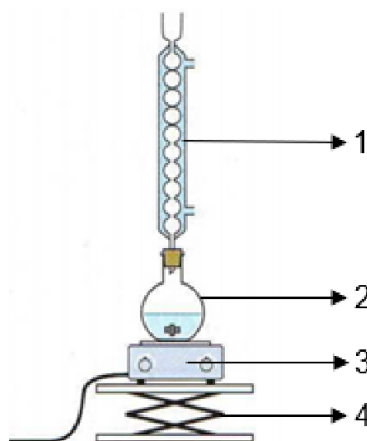


Figure 1. Montage du chauffage à reflux.

4. Nommer sur la copie les éléments du montage de la figure 1 numérotés de 1 à 4.

On s'intéresse à la synthèse d'un ester à l'odeur de rhum : le méthanoate d'éthyle. Le mélange réactionnel est constitué d'un volume V_{Ac} d'une valeur égale à 7,0 mL d'acide méthanoïque, d'un volume V_{Al} d'une valeur égale à 10,0 mL d'éthanol et de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. La transformation d'estérification qui se déroule dans le ballon peut être modélisée par l'équation de réaction suivante :

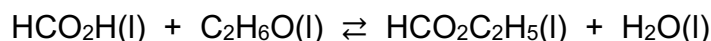


Tableau de données :

Espèce chimique	Formule semi-développée et masse molaire moléculaire	Température d'ébullition	Pictogramme(s) de sécurité
Acide méthanoïque	$\begin{array}{c} \text{HC}-\text{OH} \\ \\ \text{O} \end{array}$ $M_{Ac} = 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	100,7°C	
Éthanol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ $M_{Al} = 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	78,5°C	
Méthanoate d'éthyle	$\begin{array}{c} \text{HC}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$ $M_{Es} = 74,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	54,3°C	

- Nommer les groupes caractéristiques présents dans ces trois molécules.
- Représenter la formule topologique du méthanoate d'éthyle.
- Citer deux avantages d'un chauffage à reflux et indiquer une précaution à respecter pour réaliser cette synthèse.
- Indiquer le rôle joué par l'acide sulfurique qui n'apparaît pas dans l'équation de la réaction de synthèse.

Données :

- Masse volumique de l'acide méthanoïque : $\rho_{Ac} = 1,22 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
 - Masse volumique de l'éthanol : $\rho_{Al} = 0,79 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- À l'aide des données, calculer les valeurs des quantités de matière en acide méthanoïque n_{Ac} et en alcool n_{Al} des réactifs dans l'état initial. Justifier que l'éthanol est le réactif limitant.
 - Dans les conditions de l'expérience, la valeur du rendement R de la synthèse est égale à 0,70. Calculer la valeur de la masse d'ester m produite dans ces conditions.

Pour optimiser le rendement de cette synthèse, il est possible de mettre en œuvre un montage de distillation fractionnée représenté figure 2.

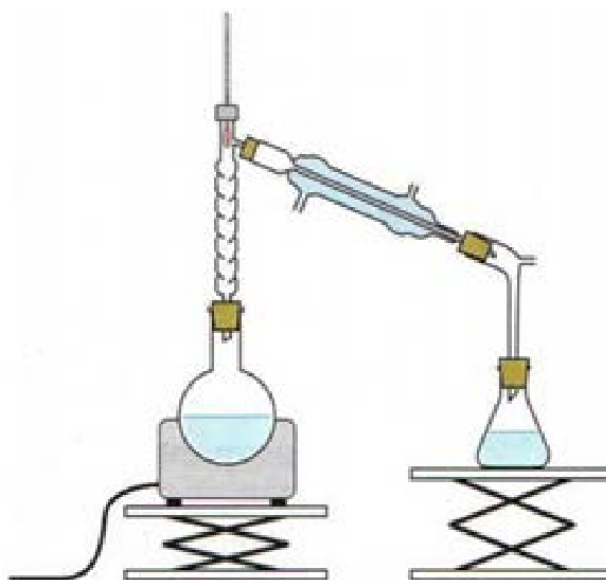


Figure 2. Montage de distillation fractionnée.

- À l'aide des températures d'ébullition fournies dans le tableau de données, expliquer en quoi le montage de distillation fractionnée permet d'optimiser le rendement de la synthèse du méthanoate d'éthyle.

Le dosage par titrage.

Karl Friedrich Mohr est l'inventeur de la technique du dosage par titrage qui met en jeu une transformation chimique afin de déterminer la quantité de matière d'une espèce chimique en solution. Il a conçu l'outil essentiel de cette technique : la burette graduée fermée en son extrémité inférieure par un robinet ou par une « pince de Mohr » (figure 3).



Figure 3. Burette de Mohr dans un dispositif historique de dosage par titrage.

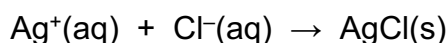
On dispose de deux solutions pour réaliser un dosage par titrage :

- Solution S_1 de chlorure de potassium ($K^+(aq)$; $Cl^-(aq)$) de concentration en quantité de matière en ions chlorure c_1 et de volume $V_1 = 200,0$ mL.
- Solution S_2 de nitrate d'argent ($Ag^+(aq)$; $NO_3^-(aq)$) de concentration en quantité de matière $c_2 = 0,080$ mol·L⁻¹.

On souhaite connaître la concentration c_1 en quantité de matière en ions chlorure.

12. Parmi les solutions S_1 et S_2 , identifier la solution titrée et la solution titrante. Puis indiquer quelle solution doit être placée dans la burette.

La solution S_2 de nitrate d'argent est versée lentement. La réaction support du titrage est une réaction qui produit un précipité blanc de chlorure d'argent :



Dans le cas d'un dosage par titrage des ions chlorure, Mohr a montré que l'équivalence pouvait être repérée en présence de chromate de potassium par l'apparition d'un précipité rouge brique. On nomme cette technique de dosage par titrage particulière la « méthode de Mohr ».

Le précipité rouge apparaît pour un volume V_{2E} de solution S_2 versé de valeur égale à 7,5 mL.

13. Définir l'équivalence d'un dosage par titrage puis, en exposant votre raisonnement, calculer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions chlorure c_1 .

Il est possible aussi de déterminer la concentration en quantité de matière des ions chlorure c_1 par un dosage par titrage conductimétrique. Si l'on mesure la conductivité du mélange réactionnel durant la transformation chimique, on obtient la courbe de la figure 4.

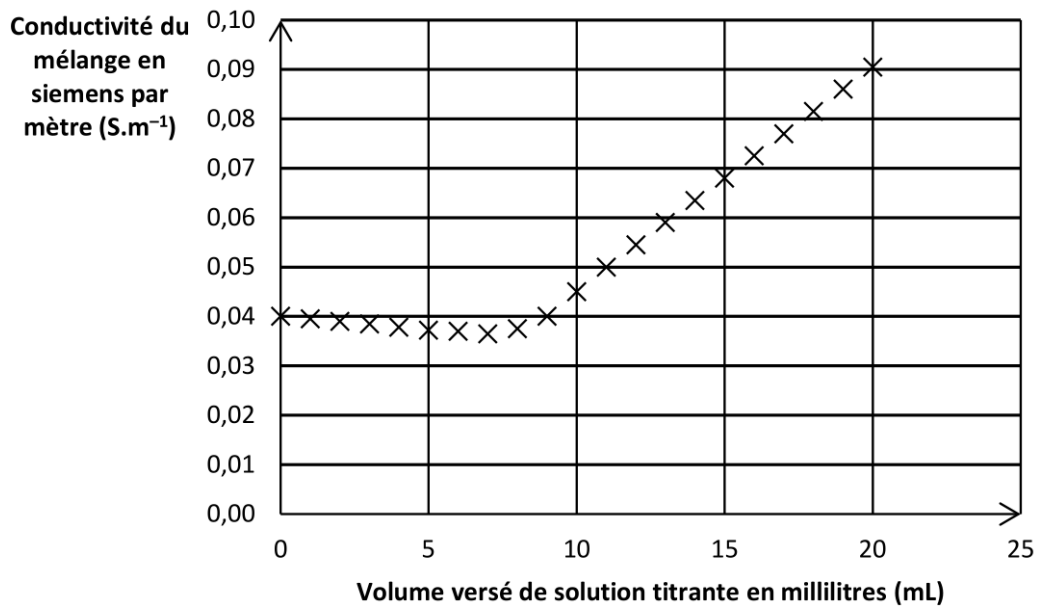


Figure 4. Courbe de dosage par titrage conductimétrique.

14. Expliquer comment cette courbe permet d'obtenir le volume V_{2E} de solution titrante versée à l'équivalence du dosage par titrage.

Données :

- Conductivité σ d'une solution ionique (loi de Kohlrausch) : $\sigma = \sum_i \lambda_i \times [ion]_i$;
- Conductivités molaires ioniques en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ à 25°C :

K^+	Cl^-	Ag^+	NO_3^-
7,3	7,6	6,2	7,1

15. À l'aide des données, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 4.

EXERCICE 2: L'INSTALLATION DE L'HOMME SUR LA LUNE (6 POINTS)

Le programme Artemis est un programme spatial habité de la NASA, l'agence spatiale américaine, dont l'objectif est d'amener un équipage sur le sol lunaire d'ici 2024.

Celui-ci doit déboucher sur une exploration durable sous la forme de l'installation d'un poste permanent sur la Lune.

Source : Wikipédia

La partie A s'intéressera à la mise en place d'un satellite de télécommunication autour de la Lune et la partie B analysera l'alunissage d'un module lunaire.

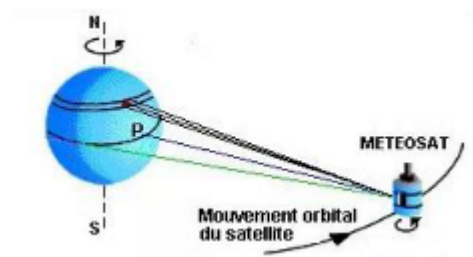
A- Étude d'un satellite de télécommunication

L'étude ne portera que sur un seul satellite dont l'orbite autour de la Lune sera considérée comme circulaire. On négligera l'influence de la Terre sur le mouvement du satellite.

Analogie avec les satellites terrestres

« L'orbite des satellites géostationnaires se trouve dans le plan équatorial de la Terre à une altitude de près de 36 000 km. De ce fait, ils tournent à la même vitesse angulaire que la Terre. Ils sont donc fixes par rapport à un observateur situé sur la Terre et voient ainsi toujours le même disque terrestre. »

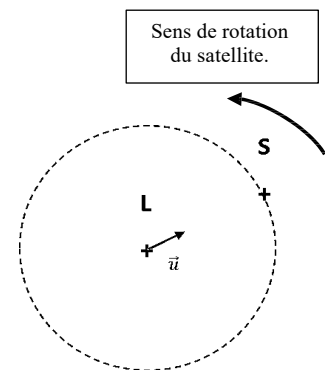
Source : <http://education.meteofrance.fr/>



Données :

- Trajectoire circulaire du centre du satellite (**S**) autour du centre de la Lune (**L**)
 \vec{u} est le vecteur unitaire orienté de L vers S
- Force d'interaction gravitationnelle entre un objet A de masse M_A et un objet B de masse M_B distants de d_{AB}

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{d_{AB}^2} \cdot \vec{u}_{A/B}$$



Le vecteur unitaire $\vec{u}_{A/B}$ est orienté de A vers B.

1. Proposer une définition de ce que pourrait être un satellite lunostationnaire en comparant sa période de révolution autour de la Lune à la période de rotation de la Lune sur elle-même.

Représenter la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{L/S}$ exercée par la Lune sur ce satellite sans souci d'échelle sur le **document réponse à rendre avec la copie** (en dernière page).

2. Établir l'expression de cette force $\vec{F}_{L/S}$ en fonction de G , M_s , M_L , d_{Ls} et \vec{u}

Description du mouvement du satellite

Données :

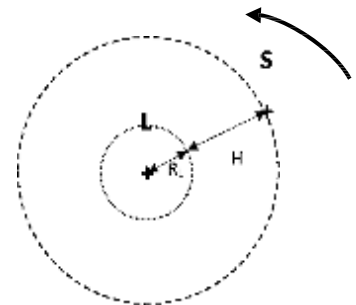
- Période de rotation de la lune sur elle-même : $T = 27,3$ jours
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
- Masse de la Lune : $M_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$
- Rayon de la Lune : $R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$
- Périmètre d'un cercle : $P = 2\pi R$

3. À l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération \vec{a}_G du centre du satellite en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{u} .
4. Représenter le vecteur unitaire tangentiel \vec{u}_t et le vecteur unitaire normal \vec{u}_n du repère de Frenet sur le **document réponse à rendre avec la copie**.
5. Citer l'expression des coordonnées du vecteur accélération \vec{a}_G dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.
6. En déduire l'expression de l'accélération \vec{a}_G dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{u}_n .
7. Justifier que la vitesse V du satellite est constante et montrer que son expression dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L et d_{LS} est :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_L}{d_{LS}}}$$

Dans la question suivante, la qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées.

8. Démontrer que pour que le satellite soit fixe par rapport à la Lune, il doit être à une altitude $H = 8,67 \times 10^7 \text{ m}$ par rapport à la surface de la Lune.



B- Alunissage

Le vaisseau lunaire HLS (Human Landing System) a pour rôle de déposer deux astronautes sur le sol lunaire. À la surface, il sert d'habitat durant la mission d'une durée initiale d'environ une semaine puis il ramène l'équipage à la station spatiale.

Source : Wikipédia



Une simulation de l'alunissage a été menée sur un simulateur de mouvement vertical (VMS). Cette simulation commence à 152,4 m d'altitude avec une vitesse horizontale de norme égale à $18,3 \text{ m.s}^{-1}$ et une vitesse verticale de norme égale à $4,9 \text{ m.s}^{-1}$ (voir les conditions initiales de la figure 1).

La trajectoire de référence d'une durée de 95 s, permet de poser le module sur le sol lunaire en toute sécurité.

Une trajectoire incontrôlée d'une durée de 30 s qui conduirait à un impact sur le sol lunaire mettant un terme à la mission est représentée figure 1.

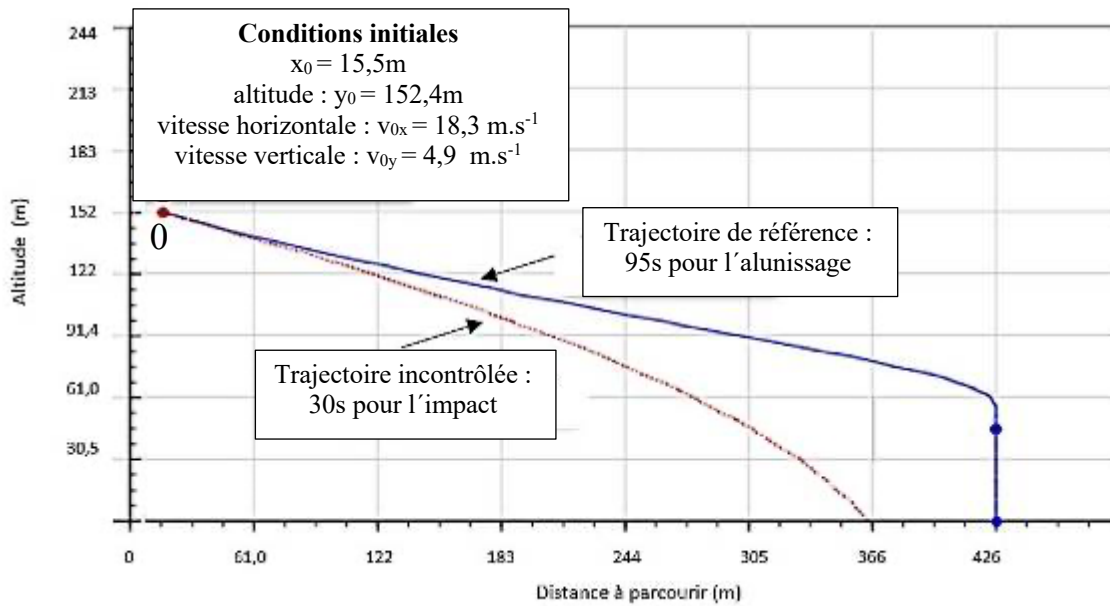


Figure 1. Trajectoires de référence et incontrôlée d'un atterrisseur lunaire dans le plan vertical

Source : D'après AIAA Space 2008 Conference ,9 – 11 September 2008, San Diego, CA

Données :

- Valeur du champ de pesanteur sur la lune : $g_L = 1,6\text{ m.s}^{-2}$
- Équations horaires d'une chute libre dans un champ de pesanteur uniforme avec un vitesse initiale \vec{v}_0 non nulle :

$$x(t) = v_{0x} \cdot t + x_0 \quad (1) \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 - v_{0y} \cdot t + y_0 \quad (2)$$

v_{0x} : norme de la vitesse horizontale et v_{0y} : norme de la vitesse verticale

9. Sur le **document réponse à rendre avec la copie** (en dernière page), représenter au point O, de coordonnées x_0 et y_0 , les vecteurs vitesse horizontale \vec{v}_{0x} et vitesse verticale \vec{v}_{0y} sans souci d'échelle. Représenter également le vecteur champ de pesanteur \vec{g}_L .
10. À l'aide de l'équation horaire (1) et de la *figure 1* calculer la durée t de descente de l'atterrisseur s'il était en chute libre. Indiquer si l'atterrisseur dans sa trajectoire incontrôlée est ou pas en chute libre.

EXERCICE 3: POMPE À CHALEUR ET HABITATION (5 POINTS)

Soucieux de diminuer son impact carbone, un particulier souhaite remplacer la chaudière à gaz de son habitation par un système de chauffage bas carbone. Une entreprise spécialisée lui propose alors une pompe à chaleur air/eau.

Une pompe à chaleur, PAC en abrégé, air/eau est un dispositif de chauffage qui effectue un transfert thermique depuis l'air extérieur vers l'eau chaude circulant dans les radiateurs de l'habitation. Elle est constituée d'un module situé à l'intérieur de l'habitation et d'un autre à l'extérieur.

L'objectif de cet exercice est d'étudier l'adaptation de la pompe à chaleur avec l'habitation du particulier.

Données :

➤ Caractéristiques de la pompe à chaleur étudiée :

Puissance maximale P_{max} fournie pour chauffer l'eau des radiateurs	7,0 kW
Niveau d'intensité sonore L_1 mesuré à 5 m du module extérieur	46 dB

Étude thermodynamique de la PAC.

On considère une journée où la température extérieure T_{ext} est égale à 2 °C. Un transfert thermique à travers les murs s'opère depuis l'air intérieur de la maison vers l'air extérieur.

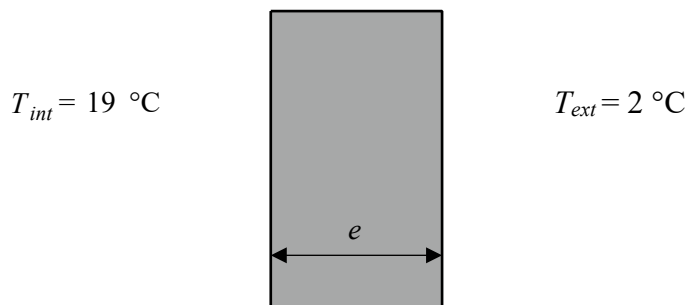


Figure 1. Schéma en coupe du mur en brique de la maison de résistance thermique R_{th} .

1. Identifier, en le justifiant, le mode de transfert thermique s'effectuant au travers d'un mur.

On rappelle que le flux thermique ϕ est relié à l'écart de température $T_{int} - T_{ext}$ à la résistance thermique R_{th} par la relation :

$$\phi = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{th}}$$

Dans le cas du mur, la résistance thermique R_{th} dépend de l'épaisseur e du mur (en m), de sa surface S (en m²) et d'un paramètre caractéristique du matériau appelé conductivité thermique noté λ (en W·m⁻¹·K⁻¹) par la relation :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

2. Indiquer, en utilisant les deux relations précédentes, comment évolue le flux thermique ϕ lorsque l'épaisseur e du mur augmente.

À l'aide d'un système de régulation, la température de l'air intérieur de la maison est maintenue constante à une valeur T_{int} égale à 19 °C. La température de l'eau chaude circulant dans les radiateurs est T_{rad} égale à 55 °C.

3. Indiquer et justifier le sens du transfert thermique $Q_{rad/air}$ s'opérant entre les radiateurs et l'air intérieur de la maison.

On souhaite réaliser un bilan thermique du système « air intérieur » pendant une durée d'une heure de cette journée d'hiver. Par convention, les transferts thermiques sont comptés négativement lorsqu'ils sont cédés par le système et positivement lorsqu'ils sont reçus. On considère alors que s'effectuent un transfert thermique entre l'air intérieur et les murs noté Q_{mur} ainsi qu'un transfert thermique entre l'air intérieur et les autres parois (toit, fenêtres, sol...) noté Q_{autres} . On admet également que le système n'échange pas de travail avec l'extérieur.

Données :

- La durée du bilan thermique est égale à une heure ;
- Le transfert thermique au travers des murs noté Q_{mur} est égal à $-4,3$ MJ ;
- Transfert thermique au travers des autres parois noté Q_{autres} est égal à $-7,1$ MJ ;
- $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$.

4. En utilisant le premier principe de la thermodynamique au système « air intérieur », montrer que :
 $Q_{rad/air} = -Q_{mur} - Q_{autres}$

5. À l'aide des données, calculer la valeur de $Q_{rad/air}$.

6. En déduire si la puissance de la PAC est suffisante pour chauffer l'eau des radiateurs.

Étude sonore de la PAC.

Le module extérieur de la PAC générant du bruit, le propriétaire souhaite s'assurer qu'il n'exposera pas son voisinage à des nuisances sonores.

La propriété voisine la plus proche est située à 5 m de l'endroit où serait installé le module extérieur de la PAC.

La législation impose de limiter l'émergence sonore nocturne à 3 dB. L'émergence sonore est définie par la différence entre le niveau sonore ambiant comportant celui de la PAC, et le niveau sonore habituel sans tenir compte de la PAC.

Données :

- Le niveau d'intensité sonore L est lié à l'intensité sonore I par la relation : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ intensité sonore de référence.

L s'exprime en décibels (dB) et I en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

- Dans les conditions du sujet, lorsque deux sons d'intensités I_1 et I_2 se superposent, l'intensité totale I est la somme de I_1 et de I_2 .
- Le niveau d'intensité sonore L_1 mesuré à 5 m du module extérieur est de 46 dB
- Le niveau sonore nocturne habituel L_2 (sans tenir compte de la PAC) est de 44 dB.

7. Vérifier que la valeur du niveau d'intensité sonore L est égale à 48 dB.

8. En déduire si le propriétaire expose son voisinage à des nuisances sonores nocturnes supérieures au seuil réglementaire.

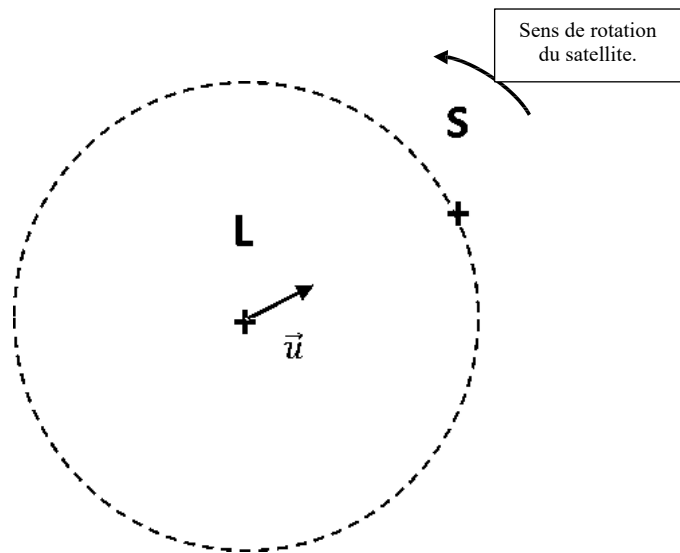
DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

Nom:

Prénom:

EXERCICE 2: L'INSTALLATION DE L'HOMME SUR LA LUNE

Partie A : Questions 2 et 5



Partie B : Question 9

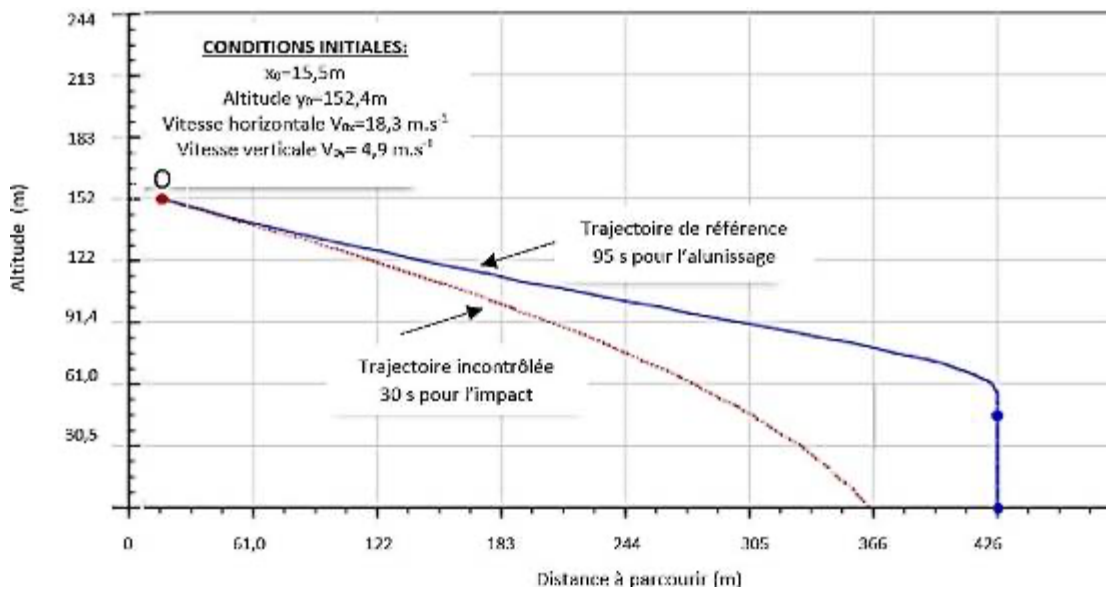


Figure 1. Trajectoire de référence et incontrôlée d'un atterrisseur lunaire