

DS Physique 3 TSI2

Durée 3h. Calculatrice interdite.

Environ 1 point sur 20 porte sur la rédaction :

- Ecriture lisible.
- Enoncer les lois physiques utilisées.
- Lors des questions qualitatives, faire des phrases complètes, commençant par une majuscule, et comportant un sujet, un verbe, ...
- Encadrer les résultats principaux.

1 Diffusion thermique à travers un igloo

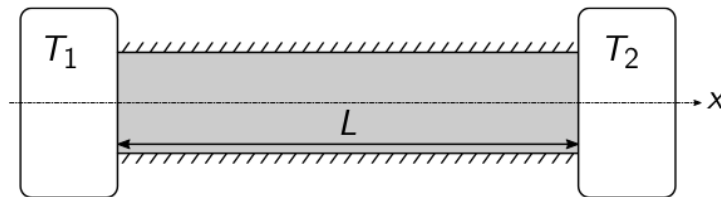
Les habitants des régions polaires savent qu'un abri constitué de neige (quinzee, hutte, abri sous arbre, trou à neige, igloo, etc.) offre un rempart efficace contre le froid. Nous allons nous intéresser ici au cas de l'igloo.



Aides au calcul : $5 \times 1,3 = 6,5$; $\frac{3,5}{1,45} = 2,4$.

Equation de diffusion

On considère un matériau solide de section S , de longueur L , calorifugé latéralement et placé au contact parfait de deux sources de températures constantes T_1 et T_2 . On note $T(x, t)$ la température d'une section d'abscisse x du matériau.



Le matériau est caractérisé par sa masse volumique ρ , sa capacité thermique massique c et sa conductivité thermique λ .

1. Enoncer la loi de Fourier et en donner une interprétation physique.
2. Montrer, à l'aide d'un bilan thermique infinitésimal unidimensionnel, que :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial j}{\partial x}$$

où j est la densité de flux thermique.

3. En déduire que la température vérifie l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

avec D à identifier en fonction de ρ , c , λ . Quelle est l'unité de D ?

4. Quelle est l'interprétation physique du temps caractéristique $\tau = \frac{\rho c L^2}{\lambda}$?

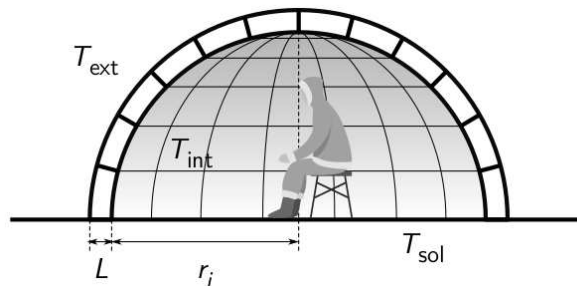
Régime stationnaire

On se place en régime stationnaire. On note $\Phi_{12} = jS$ le flux thermique traversant la section S du solide, de la zone de température T_1 vers celle de température T_2 . On appelle résistance thermique conductive R_{th} la grandeur satisfaisant la loi d'Ohm thermique $T_1 - T_2 = R_{th} \Phi_{12}$.

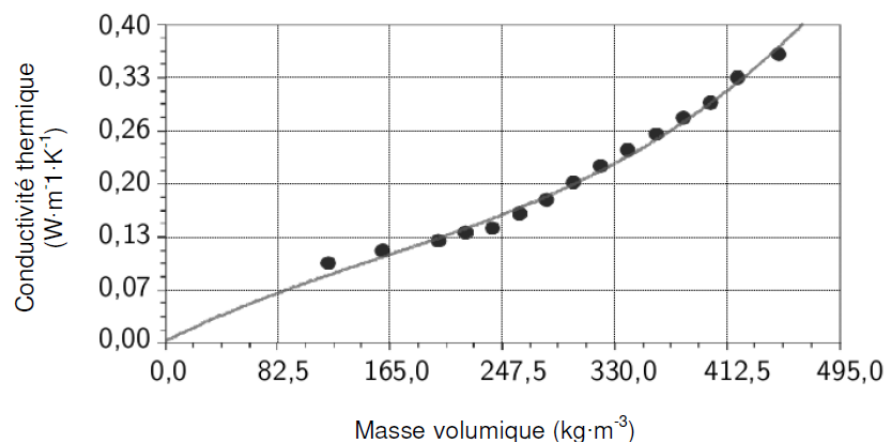
- Donner l'équation différentielle satisfaite par la température $T(x)$ en régime stationnaire et en déduire l'expression de $T(x)$ en fonction de x , T_1 , T_2 et de L .
- Déterminer l'expression littérale de Φ_{12} . Montrer que la résistance thermique conductive du matériau vaut $R_{th} = \frac{L}{\lambda S}$.
- Présenter l'analogie entre résistance électrique et résistance thermique.
Lorsqu'un solide de température de surface T_s et un fluide, dont la température loin du solide est notée T_f , sont en contact par le biais d'une surface d'aire S' , on observe un transfert thermique entre le solide et le fluide. Le flux thermique du solide vers le fluide suit la loi de Newton du transfert conducto-convectif $\Phi_{sf} = h(T_s - T_f)S'$ où h est appelé coefficient de transfert conducto-convectif.
- Donner l'expression de la résistance conducto-convective R_{cc} associée à la loi de Newton, en fonction de h et S' .

Résistance thermique d'un igloo

On modélise un igloo par un hémisphère (une demi-sphère) creux de rayon intérieur $r_i = 1.5$ m, fabriqué à partir de blocs de neige de conductivité thermique λ et d'épaisseur supposée constante et égale à $L = 30$ cm.



Une étude expérimentale a permis de mesurer la conductivité thermique λ de la neige en fonction de sa masse volumique ρ .



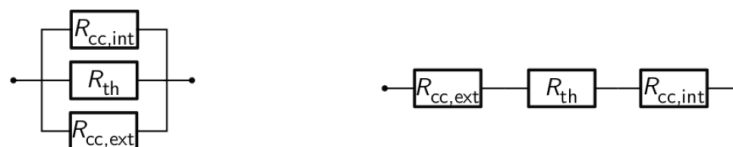
On note R_{th} la résistance thermique conductive de l'igloo dont l'expression, admise, en géométrie sphérique est :

$$R_{th} = \frac{L}{2\pi\lambda r_i(r_i + L)}$$

9. À partir de la figure, préciser si le fait de bien tasser les blocs de neige améliore ou non l'isolation de l'igloo.
10. Pour une neige de masse volumique $\rho = 200 \text{ kg.m}^{-3}$, estimer la valeur de la conductivité thermique correspondante et calculer la résistance thermique R_{th} . Le résultat est attendu à 2 chiffres significatifs. Utiliser l'aide au calcul en début d'énoncé.

Résistance thermique conduco-convective

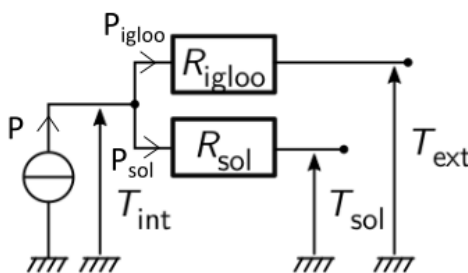
La circulation de l'air provoque de la conduco-convection que l'on prend en compte par le biais de résistances conduco-convectives intérieure $R_{cc,int} = \frac{1}{h_i S_i}$ et extérieure $R_{cc,ext} = \frac{1}{h_e S_e}$. Dans ces expressions, h_i et h_e sont les coefficients de transfert conduco-convectifs intérieur et extérieur tandis que S_i et S_e correspondent aux surfaces intérieure et extérieure de l'igloo. On envisage deux modèles d'association des résistances thermiques précédentes, en parallèle ou en série.



11. Préciser, en justifiant votre choix, quel modèle convient.
12. Pourquoi considère-t-on des valeurs différentes pour h_i et h_e ? Lequel est le plus élevé?
13. Déterminer, pour le modèle choisi, l'expression littérale de la résistance thermique équivalente R_{igloo} en fonction de λ , h_e , h_i , L et de r_i .
Aide : la surface d'une sphère de rayon r vaut $4\pi r^2$.

Température interne de l'igloo

Pour étudier le comportement thermique de l'igloo, on propose un modèle électrique analogue représenté ci-dessous. Ce modèle tient compte du sol sur lequel repose l'igloo et de la puissance thermique dégagée par ses occupants. On note T_{sol} la température du sol, R_{sol} sa résistance thermique et P la puissance thermique dégagée par les occupants de l'igloo qui, du point de vue électrique, est analogue à un générateur de courant. La représentation électrique de l'ensemble est donnée ci-dessous.



14. Ecrire la loi des noeuds et les lois d'Ohm thermiques.
15. Montrer que la température intérieure de l'igloo vaut :

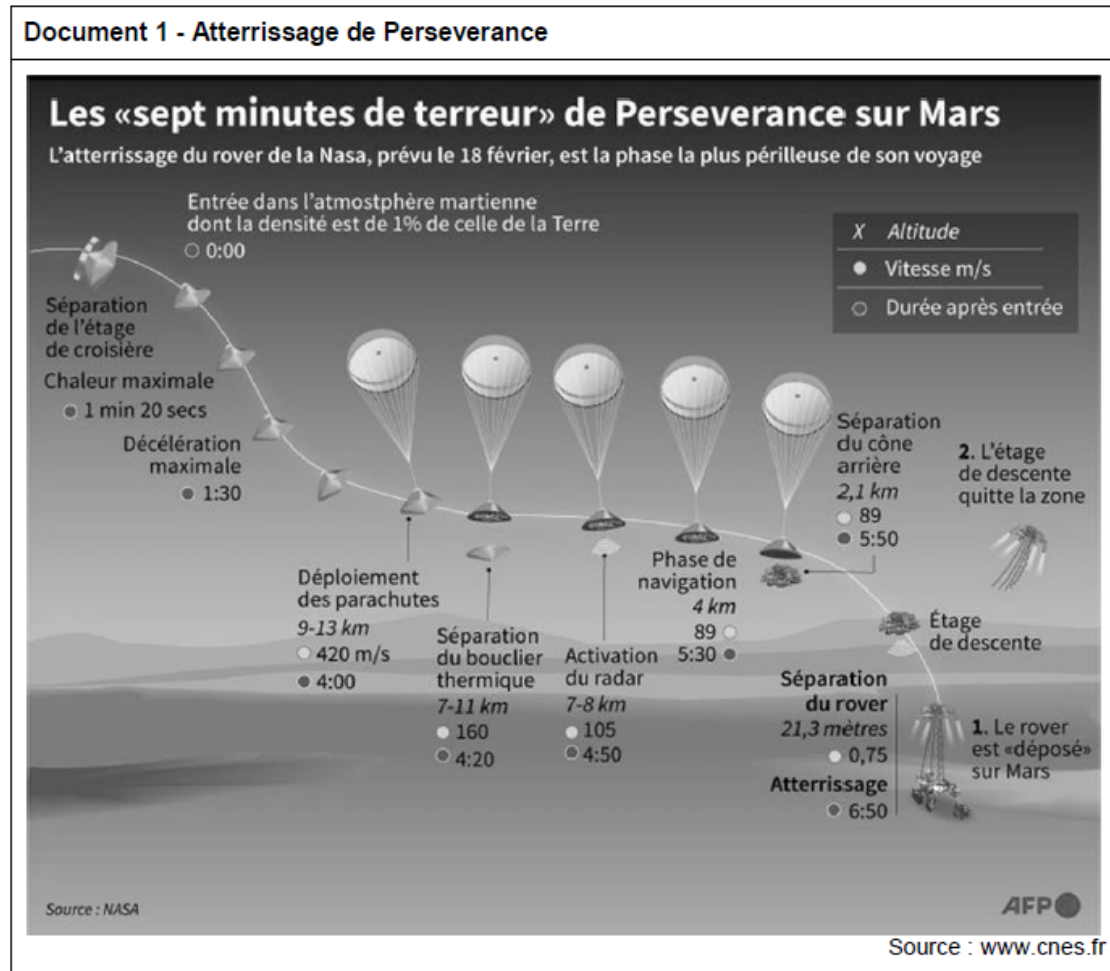
$$T_{int} = \frac{PR_{igloo}R_{sol} + T_{ext}R_{sol} + T_{sol}R_{igloo}}{R_{igloo} + R_{sol}}$$

Les personnes se trouvant à l'intérieur de l'igloo dégagent une puissance thermique $P = 300 \text{ W}$. La température extérieure vaut $T_{ext} = -40^\circ\text{C}$, celle du sol vaut $T_{sol} = -20^\circ\text{C}$ et les résistances thermiques valent $R_{igloo} = 0,15 \text{ K.W}^{-1}$ et $R_{sol} = 1,3 \text{ K.W}^{-1}$.

16. Calculer numériquement la température intérieure T_{int} de l'igloo. Qu'en pensez-vous? Comment font les habitants en pratique pour augmenter encore cette température?

2 Atterissage du robot Persévérance sur Mars

Lancé depuis la Terre le 30 juillet 2020 grâce à un lanceur Atlas V, le rover Perseverance a atterri sur la planète Mars le 18 février 2021. Le site d'atterrissage, le cratère Jezero, est une zone présentant une grande diversité géologique et ayant abrité un lac il y a environ 3,6 milliards d'années. Un des enjeux de cette mission est le prélèvement d'échantillons destinés à être analysés sur Terre afin de déceler d'éventuelles traces d'une vie passée.



La sonde spatiale Mars 2020, de masse m , pénètre dans l'atmosphère martienne à la vitesse de $12\,000\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (vitesse mesurée par rapport au sol), elle larguera le rover 7 minutes plus tard. Après une première phase de freinage grâce au bouclier thermique, le parachute est déployé à l'altitude d'environ $10,6\text{ km}$ et à la vitesse, notée v_A , de $420\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Aides au calcul : $420^2 = 1,8 \cdot 10^5$; $160^2 = 2,6 \cdot 10^4$; $420^2 - 160^2 = 1,5 \cdot 10^5$; $3 \times 3,7 \times 3,1 = 34$; $15^2 = 225$.

1. Le point A étant l'endroit où le parachute est déployé, donner l'expression littérale de l'énergie cinétique $E_c(A)$ de l'ensemble en se limitant à un simple mouvement de translation.
Au bout de 20 secondes, la vitesse n'est plus que de $160\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et l'altitude de $7,5\text{ km}$, Mars 2020 largue alors son bouclier thermique.
2. En appelant B le point de largage et en considérant toujours la même masse, exprimer la variation d'énergie cinétique entre les points A et B .
3. Connaissant la masse de la sonde spatiale de $3\,000\text{ kg}$, effectuer le calcul numérique de cette variation d'énergie cinétique.
4. Énoncer le théorème de l'énergie cinétique.

5. En supposant l'accélération de la pesanteur martienne uniforme et de valeur $g = 3,7 \text{ m.s}^{-2}$, calculer la valeur du travail du poids entre les points A et B , noté $W_{AB}(\vec{P})$. Ce travail est-il qualifié de moteur ou de résistant ? Justifier.
6. Montrer, à partir des questions précédentes, que le travail des forces de frottement noté $W_{AB}(\vec{f})$ sur le parachute, dont la résultante sera notée $\vec{f}$, est d'environ $-2,6.10^8 \text{ J}$.

Dans la suite, nous nous limiterons à une étude du mouvement en translation verticale. En supposant cette force de frottement $\vec{f}$ constante, déduire un ordre de grandeur de sa valeur minimale à partir de la question précédente. En réalité, la résultante des forces de frottement n'est pas constante et dépend de la vitesse du système. Nous considérerons une force de type frottement fluide $\vec{f} = -h\vec{v}$, où h est le coefficient de frottement fluide et $\vec{v}$ est le vecteur vitesse.

7. Soit l'axe (Oz) , vertical et orienté vers le bas, dont l'origine O se situe au point d'ouverture du parachute. Faites un schéma sur lequel figurent la sonde spatiale matérialisée par son centre de gravité G à une altitude quelconque après ouverture du parachute, l'axe (Oz) et les deux forces s'exerçant sur la sonde.
8. La descente de la sonde peut-elle être qualifiée de chute libre ? Justifier.
9. À partir de la seconde loi de Newton, établir l'équation différentielle vérifiée par la projection de la vitesse v de la sonde sur l'axe vertical et la mettre sous la forme :

$$\frac{dv}{dt} + av = b$$

où a et b sont deux constantes à identifier en fonction de m , h , g .

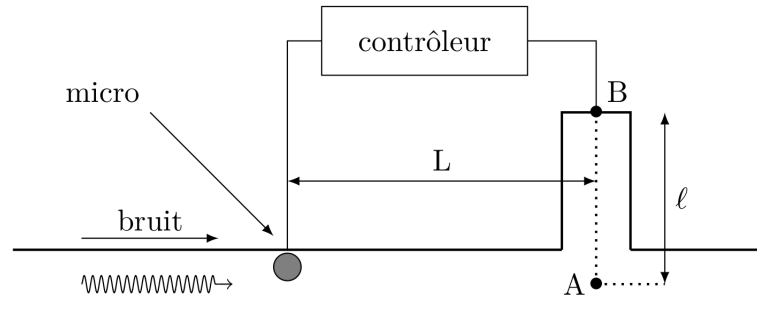
10. Résoudre l'équation différentielle. On rappelle que la vitesse lors de l'ouverture du parachute est notée v_A .
11. Déduire de la question précédente l'expression de la vitesse limite pouvant être atteinte par la sonde.

Pour pouvoir réussir cette phase périlleuse, l'étage de descente (le skycrane) dispose d'un radar Doppler comportant six antennes dévoilées dès que le bouclier thermique est largué. Le radar peut alors déterminer avec précision la vitesse et l'altitude de la sonde. La bande Ka (Kurz Above) du spectre électromagnétique est très utilisée dans le domaine des télécommunications spatiales ; on considère une fréquence moyenne de 30 GHz. La vitesse des ondes électromagnétique est égale à la vitesse de la lumière dans le vide notée c .

12. Calculer la longueur d'onde dans le vide, notée λ_0 associée à cette fréquence.
Lorsque la sonde se trouve à une altitude H , celle-ci peut être déterminée avec précision grâce à la durée mise par l'onde pour effectuer un aller-retour entre l'antenne d'émission et le sol.
13. Exprimer l'altitude H de la sonde en fonction de la durée Δt mise par l'onde pour effectuer cet aller-retour.
14. À partir de l'infographie du CNES (document 1), estimer le temps Δt écoulé entre l'émission de l'onde par le radar de la sonde et sa réception après réflexion sur le sol martien, au moment de la séparation du bouclier thermique.

3 Controle actif du bruit dans une conduite

On s'intéresse à un système conçu pour éliminer un bruit indésirable transporté par une conduite. Le bruit est détecté par un premier micro, dont le signal est reçu par un contrôleur électronique. Le contrôleur envoie sur un haut-parleur B la tension adéquate pour générer une onde de signal exactement opposé à celui du bruit de manière à ce que l'onde résultante au point A et en aval de A soit nulle.



1. Exprimer, en fonction de L , l et de la célérité du son, le temps dont dispose le contrôleur pour le calcul du signal à envoyer sur le haut-parleur.
2. On suppose le bruit sinusoïdal de pulsation ω . On appelle ϕ_1 la phase initiale du signal détecté par le micro 1 et ϕ_{HP} la phase initiale du signal émis par le haut-parleur. Quelle expression doit avoir $\Delta\phi = \phi_{HP} - \phi_1$ pour que les interférences soient destructives en A ?