La première chose qu'il faut savoir à propos des étoiles filantes, c'est… que ce ne sont pas du tout des étoiles. Une « étoile filante » est un petit morceau de roche extraterrestre, gros comme un gravillon qui, lorsqu'il pénètre dans l'atmosphère à très grande vitesse est soumis à une force de frottement tellement intense qu'il devient incandescent. On se propose, dans cet exercice, d'étudier les échanges thermiques à l'origine de cette incandescence, à l'aide d'un modèle simplifié du mouvement de l'un de ces fragments rocheux, future étoile filante.

PARTIE 1 : mesure de la capacité thermique massique de la silice

La composition d'une étoile filante est assez proche des roches terrestres : nous supposons qu'il s'agit de silice. La connaissance de la capacité thermique de la silice est un préalable indispensable à la compréhension des étoiles filantes : on envisage dans cette partie une mesure de cette capacité thermique en laboratoire. La mesure est réalisée en suivant le protocole décrit dans le document ② . Le calorimètre utilisé est celui décrit dans le document ①.

Les mesures ont donné :

- masse du morceau de silice : $m_2 = 96{,}0$ g
- températures : $T_1 = 24{,}6$ °C ; $T_2 = 98{,}7$ °C ; $T_3 = 27{,}1\ °C$

1. a. Indiquer l'intérêt d'avoir aluminé (recouvert d'aluminium) le verre sur l'une des parois du vase Dewar.
   b. Indiquer l'intérêt de l'air emprisonné entre les deux parois du vase Dewar.
   c. Du fait de son état gazeux, l'air contribue assez fortement à un mode de transfert thermique. Préciser lequel.

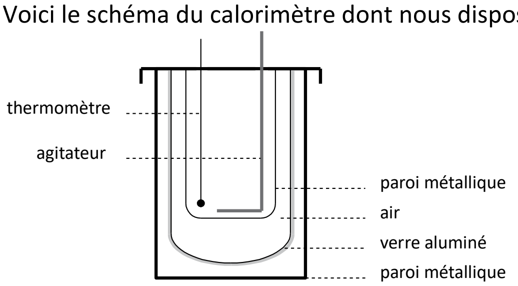
2. a. Exprimer la variation de l'énergie interne du morceau de silice lorsqu'il passe de la température T_2 à la température T_1, en fonction de T_1, T_2, m_2 et de la capacité thermique massique de la silice notée c_{silice}.
   b. En déduire l'unité de c_{silice} dans le Système International.

3. On suppose que l'énergie interne de l'ensemble {calorimètre + silice + eau} est constante à partir de l'instant où le calorimètre est fermé : le système total est isolé.
   a. Déduire du premier principe de la thermodynamique une relation entre m_1, m_2, T_1, T_2, T_3, les capacités thermiques massiques c_{eau} et c_{silice} et la capacité thermique du calorimètre C_{calo}.
   b. Calculer numériquement c_{silice} en utilisant les mesures calorimétriques et la valeur de la capacité thermique massique de l'eau $c_{eau} =\ 4185$ uSI.
   c. Interpréter l'écart entre la valeur calculée et la valeur attendue $c_{silice} =\ 350$ uSI.

Document ② : le calorimètre à vase Dewar

Le calorimètre à vase Dewar est une enceinte conçue pour que son contenu échange le moins d'énergie possible avec l'extérieur.

Voici le schéma du calorimètre dont nous disposons :



Capacité thermique du calorimètre à vase Dewar utilisé vaut : $C_{calo} = 61{,}4\ J\cdot K^{-1}$

Document ① : Protocole pour la mesure de la capacité thermique d'un solide

- Dans un calorimètre à vase Dewar, introduire une masse m_1=200 g d'eau à température ambiante.
- Dans une bouilloire électrique, introduire le solide à étudier, de masse m_2 préalablement mesurée. Le recouvrir d'eau et porter le tout à ébullition.
- Lorsque l'eau bout dans la bouilloire, mesurer la température T_1 de l'eau froide dans le calorimètre et la température T_2 de l'eau bouillante.
- Rapidement, sortir le solide de l'eau bouillante, l'introduire dans le calorimètre et fermer soigneusement celui-ci.
- Attendre que l'équilibre thermique soit atteint et mesurer la température finale T_3 de l'ensemble.

PARTIE 2 : étoiles filantes et échanges d'énergie

On cherche ici à modéliser les échanges d'énergie entre l'étoile filante et son environnement afin de comprendre son comportement. On considère que le champ de pesanteur entre 90 km et 100 km d'altitude vaut $g = 9{,}7\ m \cdot s^{-2}$;

On modélise ainsi son mouvement :

- Un fragment rocheux, composé exclusivement de 10 g de silice, entre dans le champ de gravitation de la Terre.
- Le fragment rocheux pénètre dans la mésosphère (première couche dense de l'atmosphère) à une altitude $h_1 =$ 100 km, avec une vitesse de valeur $v_1 = 2 \times 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Sa température vaut alors environ $T_1 =$ -40 °C.
- Très rapidement, à une date de valeur t_2, le fragment atteint une vitesse de valeur $v_2 = 70\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, à une altitude $h_2 = 90$ km. C'est pendant cette décélération que survient le phénomène lumineux bien connu des observateurs.

1. Justifier à l'aide de deux arguments différents que l'énergie mécanique du fragment étudié diminue.

Choix de modélisation temporaire (pour les questions 2 et 3) *: on considère dans un premier temps que l'énergie totale du fragment rocheux en chute est constante entre les altitudes h_1 et h_2.*

2. Indiquer le sens de variation de chaque forme d'énergie stockée par le fragment.

3. À l'aide d'un bilan d'énergie, calculer la température que devrait atteindre le fragment rocheux en arrivant à l'altitude h_2. Commenter le résultat en le confrontant à la température de fusion de la silice : $T_{fus} = 1973$ °C

4. Critiquer le choix de modélisation fait préalablement et proposer, à l'aide d'un diagramme, une description des échanges d'énergie auxquels participe le fragment rocheux qui rende mieux compte des phénomènes en jeu.