# EXTRAIT BAC 1 Ex 7

Après la course, la technique dite du bain froid, est utilisée par des pilotes de BMX pour favoriser la récupération physique. Elle consiste à immerger le pilote de BMX dans un bain d'eau froide à 10 °C, pendant quelques minutes.

Dans cette partie, on cherche à déterminer la température du corps du pilote au bout de la durée d'immersion. Pour cela on s'intéresse à l'évolution de la température $T$ du système {pilote de BMX} placé au contact de l'eau froide du bain dont la température $T_{eau}$ demeure constante et égale à 10 °C.

On note $Q$ l'énergie thermique échangée entre le pilote et l'eau pendant une durée $\Delta t$. On note $\Phi$ le flux thermique correspondant.

On assimile le pilote à un système incompressible possédant une capacité thermique, $C$, constante.

**Données :**

- température initiale du pilote avant son immersion : $\theta_0$ = 37 °C ;
- $T$ (K) = $\theta$ (°C) + 273 ;
- capacité thermique du système {pilote de BMX} : $C$ = 347 kJ·K$^{-1}$.

**Q.11.** Citer trois modes de transfert thermique.

**Q.12.** En appliquant le premier principe de la thermodynamique, relier la variation d'énergie interne $\Delta U$ du système {pilote de BMX} à l'énergie thermique $Q$.

**Q.13.** Exprimer le flux thermique $\Phi$ en fonction de $Q$ et de $\Delta t$. Indiquer les unités du système international des grandeurs intervenant dans cette expression.

La variation d'énergie interne d'un système incompressible au repos dont la température varie de $\Delta T$ est donnée par la relation $\Delta U = C \cdot \Delta T$.

**Q.14.** Exprimer le flux thermique $\Phi$ en fonction de la capacité thermique $C$, de la variation de température $\Delta T$ et de la durée $\Delta t$.

La valeur du flux thermique moyen échangé entre le système {pilote de BMX} et l'eau froide est estimée à $4{,}6 \times 10^3$ W.

**Q.15.** Calculer à l'aide du modèle la température du pilote au bout de 10 min d'immersion dans l'eau froide.

**Q.16.** Indiquer une des raisons expliquant pourquoi ce modèle n'est pas pertinent.

# EXTRAIT BAC 2 Ex 8

Le rover américain Persévérance, qui s'est posé sur la planète Mars le 18 février 2021 dans le cratère Jezero, est un véhicule de la taille d'une voiture et équipé de multiples capteurs et instruments de mesure.

Mars possède une température de surface moyenne de - 53 °C.

Sur Mars, le rover Persévérance est soumis aux grands écarts de température de l'atmosphère martienne. Une température moyenne de 10 °C est maintenue au cœur du rover, afin de préserver le bon fonctionnement des ordinateurs.

Plusieurs matériaux composent le rover. Parmi eux se trouvent l'aluminium et l'aérogel, un matériau semblable à un gel considéré comme un solide et dont la capacité à isoler thermiquement est remarquable.

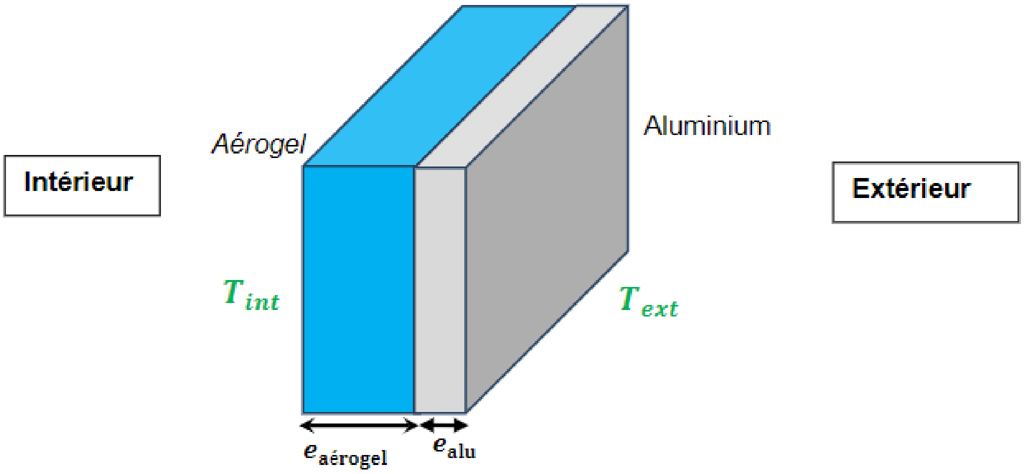
**Données :**

- conductivité thermique de l'aluminium : $\lambda_{aluminium} = 237\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- conductivité thermique de l'aérogel : $\lambda_{aérogel} = 0{,}0015\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- expression littérale de la résistance thermique d'un matériau de surface $S$ de conductivité thermique $\lambda$ et d'épaisseur $e$ : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$
- la résistance thermique totale d'un système constitué de couches de différentes matières superposées en série est égale à la somme des résistances thermiques de chacune de ces couches.

**Transfert thermique**

**1.** Schématiser le sens du transfert thermique s'opérant entre l'intérieur et l'extérieur du rover sur le schéma situé en **ANNEXE à rendre avec la copie**. Expliquer ce sens.

**ANNEXE :**



2. Citer le principal mode de transfert thermique intervenant dans cette situation. Préciser s'il existe d'autres modes de transfert thermique.

### Caractéristiques d'un matériau

Une partie du rover a dû être isolée pour les besoins de la mission. La pièce en aluminium, partie du système, possède une longueur $L$ de 40 cm, une largeur $\ell$ de 15 cm et une épaisseur $e_{aluminium}$ de 0,85 cm.

3. Calculer la résistance thermique de cette pièce avant isolation, sachant que le flux thermique traverse son épaisseur.

4. En déduire le flux thermique correspondant.

On rajoute à cette pièce une couche d'aérogel de 3,5 cm d'épaisseur, notée $e_{aérogel}$ (cf. schéma du document réponse en annexe).

5. Calculer la résistance thermique de la couche d'aérogel rajoutée ainsi que la résistance thermique de l'ensemble.

6. En déduire le flux thermique à travers **l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel)** et le comparer au flux thermique en absence d'aérogel.

7. Indiquer comment varie le flux thermique global lorsqu'on :
   - double la surface (longueur $\times$ largeur) de l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel). Justifier votre réponse ;
   - double l'épaisseur de l'ensemble (pièce en aluminium et couche d'aérogel). Justifier votre réponse.

# EXTRAIT BAC 3 (SUITE DE L'EXTRAIT 3 DE P8)

Ex 9

On s'intéresse à l'évolution de la température $T$ d'un système {canette + boisson} placé dans un congélateur dont l'air intérieur est assimilé à un thermostat. On désigne par $\Phi$ le flux thermique en watt entre le système et le thermostat.

Le flux thermique est compté positivement si le transfert thermique a lieu de l'air vers le système.

Dans l'exercice, on souhaite notamment tester la loi de Newton de la thermique.

**Données :**

- surface de la canette assimilée à un cylindre : $S = 3{,}1 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}^2$ ;
- capacité thermique du système {canette + boisson} : $C = 1{,}50 \times 10^{3}\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$ ;
- température de l'air à l'intérieur du congélateur : $\theta_{th} = -18\ °\mathrm{C}$ ;
- température ambiante : $\theta_i = 25\ °\mathrm{C}$ ;
- gamme de valeurs du coefficient de transfert thermique surfacique $h$ pour une interface paroi solide – air : de 5 à $50\ \mathrm{W{\cdot}K^{-1}{\cdot}m^{-2}}$.

5. En formulant, dans un premier temps, l'hypothèse d'un flux thermique $\Phi$ constant au cours du refroidissement du système, calculer la valeur de $\phi$. On prendra $\Delta U = -30\ \mathrm{kJ}$ pour la valeur de la variation d'énergie interne. Pour une durée de refroidissement de 920 s.

L'expérience montre que le flux $\phi$ évolue au cours du refroidissement. Une exploitation des mesures de la figure 1 permet de représenter l'évolution du flux $\phi$ en fonction de l'écart de température entre le thermostat et le système : $\theta_{th} - \theta$.

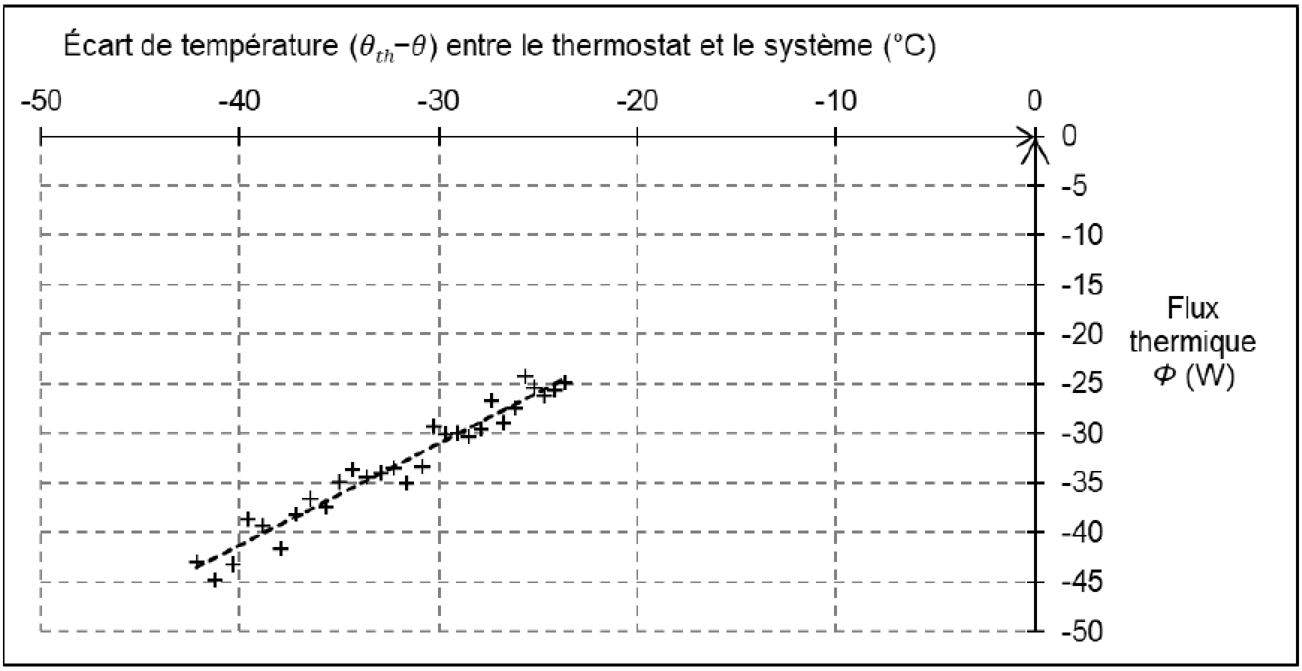



Figure 2 : Évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température

**Loi de Newton de la thermique**

Lorsqu'un système à la température $\theta$ est placé dans un fluide à la température $\theta_{th}$, il s'établit un flux thermique $\Phi$ entre le fluide et le système. La loi de Newton de la thermique modélise ce flux thermique sous la forme :

$\Phi = h{\cdot}S{\cdot}(\theta_{th} - \theta)$ avec $h$ le coefficient d'échange thermique surfacique et $S$ la surface d'échange entre le système et le fluide (thermostat).

6. Interpréter la courbe donnant l'évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température (figure 2). Exploiter la courbe afin d'estimer la valeur du coefficient d'échange thermique surfacique $h$ ; commenter.

L'évolution temporelle de la température du système {canette + boisson} en contact avec un thermostat de température $\theta_{th}$ et dont le flux thermique échangé avec celui-ci est modélisé par la loi de Newton de la thermique, est la suivante :

$$\theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}) \cdot \exp\left(-\frac{hS}{C} \cdot t\right) + \theta_{th}$$

7. En utilisant la fonction $\theta(t)$ précédente, commenter l'évolution temporelle du système. Définir et évaluer un temps caractéristique $\tau$.

# EXTRAIT BAC 4

Ex 10

Le maréchal-ferrant est un artisan spécialisé dans le ferrage des chevaux ; il pose un fer sous chaque sabot du cheval afin de les protéger.

Un fer à cheval doit être parfaitement adapté à la morphologie du sabot du cheval pour que celui-ci ne se blesse pas. Cela nécessite un ensemble d'opérations réalisées lors de la pose du fer par le maréchal-ferrant : le fer est chauffé à une température d'environ 900 °C dans une forge pour être malléable. À l'aide d'un marteau, il est ensuite déformé pour s'ajuster à la forme du sabot.

**Données :**

- température du fer à la sortie de la forge : $\theta_0$ = 900 °C ;
- volume du fer à cheval : $V_{Fer}$ = 104 cm$^3$ ;
- masse volumique du fer, supposée indépendante de la température : $\rho_{Fer}$ = 7,87 g·cm$^{-3}$ ;
- surface extérieure du fer à cheval : $S$ = 293 cm$^2$ ;
- température ambiante extérieure : $\theta_{Ext}$ = 15 °C ;
- capacité thermique massique du fer supposée indépendante de la température :

  $c_{Fer}$ = 440 J·kg$^{-1}$·K$^{-1}$ ;
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique reçu par le système {fer à cheval}, de température $\theta$ en provenance de l'air extérieur, de température $\theta_{Ext}$ :

  $\Phi = h \cdot S \cdot (\theta_{Ext} - \theta)$

  avec $h$ le coefficient de transfert thermique surfacique et $S$ la surface d'échange :
  - dans l'air : $h_{air}$ = 14 W·m$^{-2}$·K$^{-1}$ ;
  - dans l'eau froide : $h_{eau}$ = 360 W·m$^{-2}$·K$^{-1}$.

## 2. Refroidissement du fer

Lorsque le fer est à la température souhaitée de 900 °C, le maréchal-ferrant le sort de la forge et le façonne à l'aide d'un marteau pendant une minute environ. Il s'installe ensuite près du cheval et il s'écoule à nouveau environ une minute.

Le fer, encore chaud, est alors posé quelques secondes sur la face inférieure du sabot, ce qui est sans douleur pour l'animal, mais brûle la corne en laissant une trace. Cela permet au maréchal-ferrant de juger si la forme est satisfaisante. Si c'est le cas, il refroidit rapidement le fer en le trempant dans l'eau puis le fixe définitivement sur le sabot à l'aide de clous.

**Q4.** Le maréchal-ferrant martèle le fer à cheval dans l'air. Appliquer le premier principe de la thermodynamique pour le système étudié entre les instants $t$ et $t + \Delta t$ ; la durée $\Delta t$ étant supposée faible devant une durée caractéristique d'évolution de la température et la température variant de $\theta(t)$ à $\theta(t + \Delta t)$.

En déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température du fer à cheval peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \frac{\theta}{\tau} = \frac{\theta_{\text{Ext}}}{\tau} \qquad \text{avec} \qquad \tau = \frac{m_{\text{Fer}} \cdot c_{\text{Fer}}}{h_{\text{air}} \cdot S}$$

Dans ces conditions $\tau = 880$ s.

L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{\text{Ext}}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{\text{Ext}}$$

**Q5.** Vérifier que la fonction proposée $\theta(t)$ est bien solution de l'équation différentielle précédente.

**Q6.** Calculer la valeur de la température du fer au moment où le maréchal-ferrant le pose sur la face inférieure du sabot du cheval. Commenter.

### 2.2. Refroidissement dans l'eau avant la pose.

Pour accélérer le refroidissement du fer afin de le poser rapidement sur le sabot, le maréchal-ferrant plonge le fer encore chaud à la température de 600 °C dans un récipient contenant de l'eau à température ambiante de 15 °C que l'on considère comme constante.

**Q7.** En adaptant la solution obtenue dans le cadre du modèle précédent, estimer la valeur de la durée nécessaire pour que le fer soit refroidi à une température $\theta_{\text{finale}} = 40$ °C à laquelle l'artisan pourra poser le fer à l'aide de clous sur le sabot du cheval.

*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.*

**Q8.** Dans la réalité, 20 secondes suffisent pour refroidir le fer dans de l'eau à 15 °C. Commenter.

# EXTRAIT BAC 5

Ex 11

Aujourd'hui, pour faire face à la pénurie de logement, une solution se développe qui consiste à surélever les logements existants.

Construire sur le toit d'un immeuble est aussi un moyen d'améliorer la performance énergétique d'anciens bâtiments, souvent énergivores, en isolant les planchers hauts. Le bois est alors souvent utilisé pour des raisons de rapidité de construction, d'empreinte carbone de la construction et de poids total.

L'objectif de cet exercice est de réaliser une étude thermique et d'estimer la consommation énergétique d'une pièce implantée sur un toit.

**Données :**

- dimensions de la pièce : longueur $L$ = 6,0 m, largeur $\ell$ = 4,0 m, hauteur $h$ = 3,0 m ;
- caractéristiques de la fenêtre : surface $S_F$ = 2,0 m$^2$ ; double vitrage : deux parois de verre d'épaisseur $e_v$ = 4,0 mm séparées par une couche d'argon d'épaisseur $e_a$ = 16 mm ;
- expression de la résistance thermique d'une paroi d'épaisseur $e$, de surface $S$ et réalisée avec un matériau de conductivité thermique $\lambda$ : $R_{th} = \frac{e}{S \times \lambda}$ ;
- valeurs des températures considérées : $\theta_{intérieure}$ = 19 °C, $\theta_{extérieure}$ = 5 °C ;
- valeur de la conductivité thermique du verre : $\lambda_{verre}$ = 1,1 W·m$^{-1}$·K$^{-1}$ ;
- valeur de la résistance thermique d'une lame d'argon de 16,0 mm d'épaisseur et de surface 2 m$^2$ : $R_{th,argon}$ = 0,33 K·W$^{-1}$ ;
- réglementation thermique 2020 : RT2020, applicable depuis janvier 2020 vise à promouvoir les bâtiments à énergie positive dont la consommation d'énergie annuelle **par m$^2$ de surface de sol** pour le seul chauffage doit être inférieure à environ 5 kWh·m$^{-2}$, la réglementation précédente RT2012 limitait pour sa part la consommation d'énergie annuelle totale par m$^2$ de surface de sol à 50 kWh·m$^{-2}$ ;

  D'après réglementation environnementale RE2020 | Ministère de la Transition écologique (ecologie.gouv.fr)
- 1 kWh = 3,6×10$^6$ J.


Figure 1. Croquis de l'extension à construire


Figure 2. Structure d'un double vitrage

**Q1.** Exprimer la résistance thermique d'une paroi de verre $R_{th,\ verre}$ en fonction de l'épaisseur de la couche de verre $e_v$, de la conductivité thermique du verre $\lambda_{verre}$, et de la surface de la fenêtre $S_F$. Calculer sa valeur.

**Q2.** Comparer la résistance thermique de la paroi de verre avec la résistance thermique de la lame d'argon. Conclure.

**Q3.** Citer les modes de transfert thermique.

**Q4.** En assimilant dans ce calcul la résistance thermique de la fenêtre à celle de la lame d'argon, exprimer le flux thermique par conduction $\phi_{fenetre}$ à travers la fenêtre en fonction de la résistance thermique de la lame d'argon et des températures intérieure et extérieure. Calculer la valeur de ce flux et préciser son sens.

L'intégralité des parois en bois de la maison, de surface totale $S_{bois} = 82\ m^2$ et de résistance thermique $R_{th,bois} = 0{,}077\ K{\cdot}W^{-1}$ est traversée par un flux thermique $\Phi_{bois} = 1{,}8 \times 10^2\ W$.

**Q5.** En déduire que la valeur du flux total par conduction à travers l'ensemble des parois en bois et de la fenêtre est : $\phi_{total} = 2{,}2 \times 10^2\ W$.

Le propriétaire souhaite maintenir une température intérieure constante de valeur 19 °C. Il envisage d'installer un radiateur électrique. La température du sol étant de 19 °C on considère qu'il n'y a aucun échange thermique à travers le plancher.

**Q6.** Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système « air de la pièce » maintenu à la température de 19 °C pendant une durée fixée $\Delta t$ et déterminer la relation entre le transfert thermique avec l'air extérieur noté $Q_1$ et le transfert thermique avec le radiateur noté $Q_2$ ; $Q_1$ et $Q_2$ sont définies comme des grandeurs positives.

On considère que la pièce est chauffée pendant 6 mois de l'année et que la température extérieure est alors constante et égale à 5 °C.

**Q7.** Évaluer alors la consommation d'énergie liée au seul chauffage sur une année. Comparer la valeur obtenue avec les normes RT2020 et RT2012.

# EXTRAIT BAC 6 Ex 12

La capacité thermique massique d'un métal, notée $c$, est une grandeur caractéristique de ce métal. Son unité est : $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ (ou $J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$).
Pour une masse $m$ donnée de métal, cette grandeur est reliée à la capacité thermique $C$ par la relation $C = m\,c$ .

Plusieurs méthodes expérimentales permettent de déterminer la valeur de la capacité thermique massique. L'une d'elle repose sur l'analyse des échanges thermiques entre un échantillon de métal chauffé préalablement dans une étuve et un volume d'eau à température ambiante.

Dans cet exercice, on s'intéresse tout d'abord à la durée de chauffage de l'échantillon dans l'étuve avant d'examiner la méthode mise en œuvre afin de retrouver la valeur de la capacité thermique massique du métal le constituant.

*On rappelle que l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible de masse $m$ entre deux états i et f se met sous la forme :*

$$\Delta U_{i \to f} = m\,c\,\Delta\theta$$

*avec $c$ la capacité thermique massique du système étudié et $\Delta\theta = (\theta_f - \theta_i)$ la variation de température du système entre ces deux états.*

**Temps de mise à température de l'échantillon de cuivre**

À la date $t = 0$, on place un échantillon de cuivre, initialement à la température ambiante $\theta_a$, dans une étuve à l'intérieur de laquelle l'air est à la température $\theta_{th} = 100\ °C$.

On veut estimer la durée nécessaire pour être sûr que la température de l'échantillon de cuivre est bien de 100 °C à moins de 1 degré près.

Pour cela, on étudie l'évolution temporelle de la température $\theta(t)$ du système « échantillon de cuivre », de masse $m$.

**Hypothèses**

- La température $\theta(t)$ est la même en tout point de l'échantillon de cuivre.
- L'air à l'intérieur de l'étuve joue le rôle d'un thermostat. Sa température $\theta_{th}$ reste constante au cours du temps.
- Le transfert thermique entre le système et l'air à l'intérieur de l'étuve obéit à la loi phénoménologique de Newton qui exprime une relation de proportionnalité entre le flux thermique $\Phi$ et l'écart de température $(\theta_{th} - \theta(t))$.

$$\Phi = h\,S\,(\theta_{th} - \theta(t))$$

**Données** :

- $\theta_a$ = 20,5 °C $\theta_{\text{th}}$ = 100,0 °C
- Masse de l'échantillon de cuivre $m$ = 44,8 g.
- Capacité thermique massique du cuivre, valeur tabulée : $c$ = 385 J·kg$^{-1}$·K$^{-1}$.
- Surface $S$ d'échange entre le système et l'air $S$ = 22 cm$^2$
- Coefficient d'échange convectif de l'air : $h = 10\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$
- $\lim\limits_{x \to +\infty} e^{-x} = 0$

1. Prévoir le sens du transfert thermique $Q$ qui a lieu entre le système et le thermostat.

2. Ecrire le premier principe pour le système et en déduire une relation entre le transfert thermique $Q$, la masse du système $m$, la capacité thermique massique du cuivre $c$ et la variation de température $\Delta\theta$ du système soumis au transfert thermique.

3. Donner la relation liant le transfert thermique $Q$ et le flux thermique $\Phi$ pendant la durée très courte $\Delta t$. On suppose que $\Phi$ est constant pendant la durée $\Delta t$.

4. En déduire une relation entre $h$, $S$, $\theta_{\text{th}}$, $\theta(t)$, $m$, $c$, $\Delta\theta$ et $\Delta t$ .

5. Déduire de ce qui précède l'équation différentielle donnant l'évolution de la température $\theta(t)$ du système en fonction du temps. La mettre sous la forme :

$$\frac{\mathrm{d}\theta(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau} \times \theta(t) = \frac{\theta_{\text{th}}}{\tau}$$

$\tau$ étant un temps caractéristique $\tau = \frac{m\,c}{h\,S}$ .

La solution de l'équation différentielle précédente est de la forme :

$$\theta(t) = A \times e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

où $A$ et $B$ sont deux constantes.

6. Déterminer l'expression des constantes $A$ et $B$ en fonction de $\theta_a$ et $\theta_{\text{th}}$. Détailler le raisonnement.

7. Montrer que l'application numérique conduit à l'expression suivante, avec $t$ en s :

$$\theta(t) = 100 - 79{,}5 \times e^{-\frac{t}{784}} \qquad (^\circ\mathrm{C})$$

8. Déterminer la date $t_1$ à partir de laquelle la température du système sera supérieure à 99 °C.

**Principe de la détermination de la capacité thermique massique**

On a placé une masse $m_e$ d'eau dans un calorimètre. La température d'équilibre de l'eau est $\theta_e = 20{,}5$ °C. On plonge l'échantillon de cuivre à la température $\theta_{th}$ dans l'eau du calorimètre. La température finale de l'ensemble se stabilise à la valeur $\theta_f$.

**Hypothèses**

- La paroi du calorimètre étant une enceinte calorifugée, il n'y a pas de transfert thermique entre l'intérieur et l'extérieur du calorimètre.
- On considère de plus, pour simplifier, que le calorimètre ne participe pas aux échanges thermiques et que, par conséquent, les échanges thermiques au sein du calorimètre n'ont lieu qu'entre l'eau et l'échantillon de cuivre.

**<u>Données</u> :**

- Masse de l'eau dans le calorimètre $m_e$ = 100 g.
- Masse de l'échantillon de cuivre : $m$ = 44,8 g.
- Capacité thermique massique de l'eau $c_{eau}$ = 4180 J·kg$^{-1}$·K$^{-1}$
- Température initiale de l'eau $\theta_e$ = 20,5 °C.
- $\theta_f$ = 23,1°C.

**9.** Sachant que, dans le calorimètre, l'ensemble {échantillon de cuivre, eau} est isolé, montrer que :

$$c = \frac{m_e c_{eau}(\theta_f - \theta_e)}{m(\theta_{th} - \theta_f)}$$

**10.** Faire l'application numérique. Proposer une explication à un éventuel écart avec la valeur tabulée.