14.A3 – Système en contact avec un thermostat

Compétences travaillées :

• Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps.

• *Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.*

• **Capacité mathématique** : Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant.

I – <u>Présentation</u>

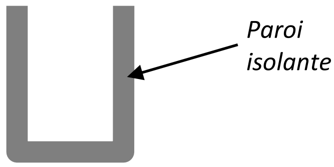
<u>But de l'activité</u>

Dans cette activité, on souhaite étudier l'évolution de la température de l'eau dans une tasse lorsqu'on la laisse refroidir à l'air ambiant.

Dans un premier temps, on va confronter la théorie avec des données expérimentales.

Dans un deuxième temps, on va s'intéresser aux paramètres qui permettent d'accélérer le refroidissement.

<u>Le calorimètre</u>



Le dispositif utilisé pour l'étude est **un calorimètre**.

Un calorimètre et une cuve dont les parois peuvent, dans une première approximation, être considérées comme parfaitement isolantes.

II – <u>Document : loi phénoménologique de Newton</u>

<u>Présentation</u>

La loi phénoménologique de Newton permet de modéliser les échanges thermiques entre un système (solide ou liquide) et **un thermostat** (liquide ou gaz dont la température est constante).

Dans ce cas, l'échange est une combinaison de conduction et de convection. On parle de transfert conducto-convectif.

<u>Enoncé de la loi</u>

Pour une petite durée ***Δt***, l'énergie échangée entre le système et le thermostat à travers l'une des surfaces du système est donnée par la relation :

Q(t) = h × S × (T_{ext} – T(t)) × Δt où : ***Q(t)*** est l'énergie échangée pendant la durée ***Δt*** à travers la surface ***S*** ;
h est le coefficient d'échange conducto-convectif de la surface ***S*** ;
S est la surface d'échange (en m²) ;
T_{ext} est la température du thermostat (en °C ou en K) ;
T(t) est la température du système à l'instant t (en °C ou en K) ;
Δt est la durée de l'échange (en s).

✏**)** Quelle est l'unité de ***h*** ?

III – <u>Etude du refroidissement d'un liquide dans un calorimètre</u>

<u>1) Présentation de la situation</u>

On considère que la température de l'air ambiant ne varie pas et vaut ***T_{ext}***.

On place une masse ***m = 0,150 kg*** d'eau à la température ***T_0*** dans un calorimètre.

Le calorimètre sera considéré comme parfait, c'est à dire que les échanges thermiques ne peuvent se faire que par la surface ***s*** de l'eau en contact avec l'air ambiant. On prendra ***s = 16 cm²***.

<u>2) Etude théorique</u>

a - Etablissement de l'équation différentielle pour T(t)

> D'après le premier principe : $Q = m \times c \times \left(T_{fin} - T_{début}\right)$, où c est la chaleur massique de l'eau et m la masse d'eau.
> Si on raisonne entre les instants t et $t + \Delta t$ on obtient : $Q(t) = m \times c \times (T(t + \Delta t) - T(t))$.
> En combinant cette relation avec la loi phénoménologique :
> On obtient $m \times c \times (T(t + \Delta t) - T(t)) = h \times S \times (T_{ext} - T(t)) \times \Delta t$.
> Soit $m \times c \times \frac{T(t+\Delta t) - T(t)}{\Delta t} = h \times S \times \left(T_{ext} - T(t)\right)$.
> En faisant tendre $\Delta t \to 0$, cette équation devient $\boldsymbol{C \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times (T_{ext} - T)}$.
> Cette équation est une équation différentielle du premier ordre pour la fonction $T(t)$.

b - Solution de l'équation différentielle

✎ **1)** Montrer que la fonction $\boldsymbol{T(t) = (T_0 - T_{ext}) \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + T_{ext}}$ est solution de l'équation différentielle .

✎ **2)** En déduire l'expression de τ en fonction des grandeurs physique *h*, *S*, *c*, *m, T_0* et *T_{ext}* et préciser son unité.

✎ **3)** Montrer que *$T(t=0) = T_0$*.

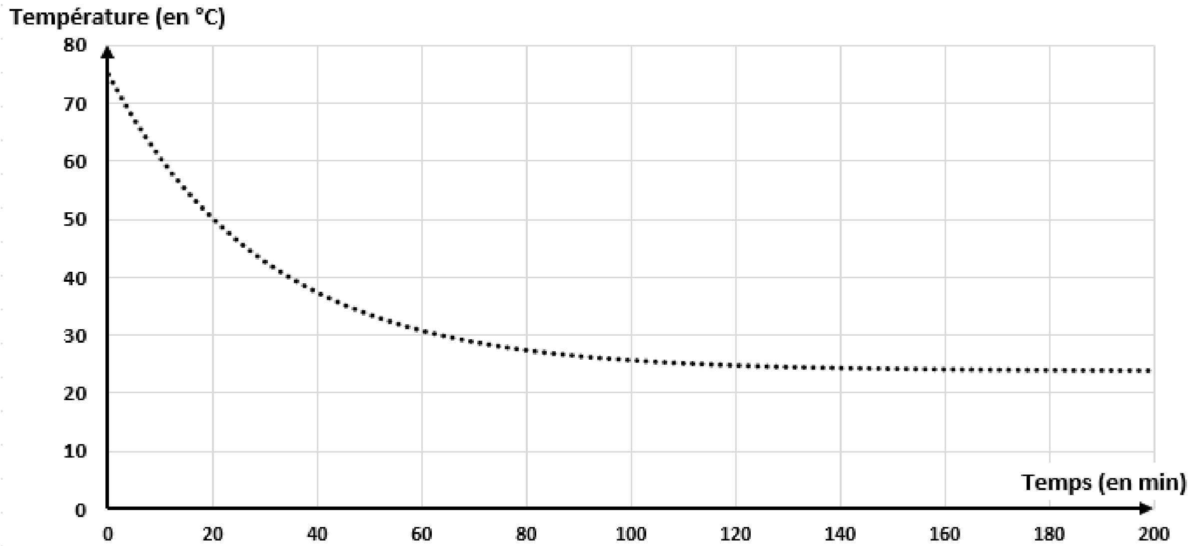
✎ **4)** Montrer que *$T(t \longrightarrow \infty) = T_{Ext}$*.

c – Tracé de la courbe

✎**)** En prenant T_0 = 80 °C, T_{ext} = 20 °C et $\tau = 2{,}0 \times 10^3\ s$, Tracer la courbe T(t) pour t ∈ [0 s ; 20×10^3 s].

3) Données expérimentales

On réalise l'expérience et on obtient les résultats ci-dessous.



✎ **1)** La courbe est-elle en accord avec la théorie ?

✎ **2)** Déterminer la valeur expérimentale de T_0.

✎ **3)** Déterminer la valeur expérimentale de T_{ext}.

✎ **4)** En admettant que **τ** est l'abscisse du point d'intersection entre la tangente à l'origine et l'asymptote à l'infini, déterminer la valeur de ***τ***.

✎ **5)** En déduire la valeur de ***h***.

IV – Paramètres qui permettent d'accélérer le refroidissement

1) Souffler sur sa boisson permet-il d'accélérer le refroidissement ?

On ajoute un ventilateur qui brasse l'air à la surface de l'eau. On notera que ce dispositif est une version améliorée de l'action de souffler sur sa boisson pour la faire refroidir.

✎ **1)** Proposer l'allure de la courbe que l'on pourrait obtenir en la traçant sur le graphique du III.3.

✎ **2)** Quel mode de transfert thermique est mis à profit avec cette méthode ?

2) Remuer sa boisson permet-il d'accélérer le refroidissement ?

✎**)** En utilisant le matériel disponible en chimie, proposer une manipulation qui permette de vérifier que le fait de remuer sa boisson accélère son refroidissement.