

14.TP1 - Refroidissement du contenu d'une tasse

Compétence travaillée :

- 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.

Matériel

SALLE INFORMATIQUE avec ATELIER SCIENTIFIQUE

Bureau

Bouilloire électrique

Elève

Thermomètre : - sonde K (ancienne)
- voltmètre adapté
- adaptateur Exao température

Chronomètre

Calorimètre

Bécher de 150 ou 200 mL

Eprouvette graduée de 200 mL

Dispositif de ventilation : - ventilateur (d'ordinateur)
- générateur adapté (continu 12 V)
- potence + noix + pince

Dispositif d'agitation : agitateur + barreau aimanté

I - Présentation du TP

1 - Problématiques du TP

Dans ce TP, on souhaite étudier l'évolution de la température de l'eau dans une tasse lorsqu'on la laisse refroidir.

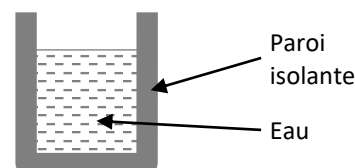
Les problématiques sont les suivantes :

- Problématique n° 1 : Est-ce que le fait de souffler à la surface de l'eau accélère le refroidissement ?
- Problématique n° 2 : Est-ce que le fait d'agiter l'eau accélère le refroidissement ?

2 - Remarque sur le matériel utilisé

On travaillera avec un récipient appelé **calorimètre** (voir schéma ci-contre).

On admettra que le calorimètre est parfait, c'est-à-dire que ces parois sont parfaitement isolantes. Alors, les seuls échanges entre l'eau et l'air ambiant se font à la surface de l'eau.



II - Proposition de protocoles

Proposer un protocole pour répondre à chacune des deux problématiques.

III - Etude théorique

1 - Document : loi phénoménologique de Newton

a - Présentation

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.

b - Enoncé de la loi

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

$Q(t) = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T(t)) \times \Delta t$ 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 m^2) ;
 T_{ext} est la température du thermostat (en $^{\circ}\text{C}$ ou en K) ;
 $T(t)$ est la température du système à l'instant t (en $^{\circ}\text{C}$ ou en K) ;
 Δt est la durée de l'échange (en s).

2 - Application de la loi à la situation étudiée

Système thermodynamique étudié :

Le système étudié est l'eau présente dans le calorimètre. On notera m la masse d'eau.

Hypothèses de travail :

- On admet que l'air ambiant constitue un thermostat, c'est-à-dire que sa température ne change pas au cours de l'étude. On notera T_{air} la température de l'air ambiant.
- On admet que le calorimètre est parfait.

Instant initial de l'étude : le système est initialement à la température T_0 . On prendra une température $T_0 > T_{\text{air}}$.

Etablissement de l'équation vérifiée par la température :

On raisonne entre deux instants t_1 et t_2 tels que la température de l'eau à ces instants est respectivement T_1 et T_2 .

- En appliquant le premier principe, on peut affirmer que l'énergie Q transférée de l'eau à l'air ambiant est donnée par la relation : $Q = m \times c \times (T_2 - T_1)$, où c est la chaleur massique de l'eau.

- En appliquant la loi phénoménologique de Newton, on peut affirmer que l'énergie Q transférée de l'eau à l'air peut s'écrire : $Q = h \times S \times (T_{air} - T) \times (t_2 - t_1)$.

=> En combinant ces deux résultats, on peut montrer que la température T de l'eau vérifie l'équation suivante :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{h \times S}{m \times c} (T_{air} - T)$$

IV - Protocole d'enregistrement de la température en fonction du temps

1 - Température ambiante

 Mesurer et noter la valeur de la température ambiante.

2 - Refroidissement sans ventilation ni agitation

 A faire :

Brancher le thermomètre sur la console Exao.

Ouvrir et paramétrer le logiciel « Atelier scientifique » afin d'enregistrer la température en fonction du temps :

- Verticalement => calibre 10/110 °C.

- Horizontalement => durée : 30 min ; nombre de points : 501.

Verser 150 mL de l'eau à environ 80 °C dans le calorimètre.

Placer la sonde de température dans l'eau (en évitant qu'elle touche les parois).

Lancer l'acquisition.

Une fois l'acquisition terminer, à l'aide de l'outil « Compte rendu » du logiciel, imprimer votre courbe.

3 - Refroidissement avec ventilation (problématique n° 1)

 A faire : Reprendre le protocole précédant en ajoutant un ventilateur qui souffle l'air à la surface de l'eau.

4 - Refroidissement avec agitation (problématique n° 2)

 A faire : Reprendre le protocole précédant en ajoutant un dispositif d'agitation (agitateur + barreau aimanté).

V - Exploitation des Résultats

1 - Validation du modèle de la loi phénoménologique de Newton

a - Equation théorique

1) Montrer que la fonction $T(t) = (T_0 - T_{air}) \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + T_{air}$ est solution de cette équation et donner l'expression de τ en fonction de h , S , m et c .

2) Montrer que l'expression de $T(t)$ donne bien $T(t = 0) = T_0$.

3) Indiquer la valeur de l'eau si on la laisse refroidir longtemps

Montrer que l'expression de $T(t)$ compatible avec le résultat proposé.

b - Comparaison des résultats expérimentaux à la théorie

 A l'aide de l'outil « Modélisation » du logiciel « Atelier scientifique », modéliser la courbe obtenue expérimentalement par la fonction précédente et relever les valeurs de T_0 , T_{ext} et τ .

4) Le modèle vous semble-t-il en accord avec l'expérience. Argumenter votre réponse.

5) Quelles hypothèses simplificatrices ont été faites.

2 - Réponse à la problématique

6) Répondre en justifiant avec soin aux deux problématiques du TP.

7) Indiquer si le coefficient h d'échange conducto-convectif est plus grand ou plus petit lorsqu'il y a le ventilateur par rapport à la situation sans ventilateur.

Indiquer si le coefficient h d'échange conducto-convectif est plus grand ou plus petit lorsqu'il y a l'agitation par rapport à la situation sans agitation.