Circulation d'eau chaude dans un tuyau de cuivre

L'objectif de ce TP est d'étudier les pertes thermiques qui ont lieu lorsque de l'eau passe dans des canalisations.

. . . .

I) Présentation

1°) Description du montage

Ce montage représente à échelle réduite les phénomènes qui ont lieu lorsque de l'eau chaude circule à travers les tuyaux de cuivre qui parcourent nos habitations.

Vous disposez d'un tuyau de cuivre d'une longueur $\ell = 2{,}0$ m reliée à des tuyaux en plastiques, le tout formant un circuit hydraulique entraînée par une pompe thermostatée.

Dans le tuyau qui est devant vous, lorsque vous le regardez de manière usuelle, l'eau arrive par la gauche et ressort par la droite.

Avant de commencer les manipulations regardez le montage et identifiez les différents éléments qui seront importants plus tard :

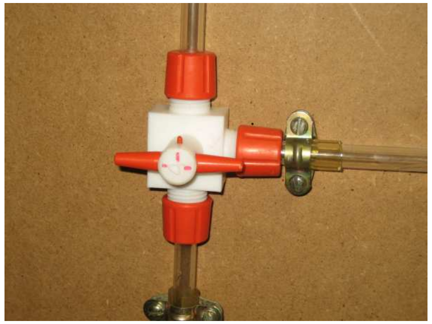
➜ le bain thermostaté (qui **doit** toujours être en marche) ainsi que le bouton de réglage de température (le **seul** que vous manipulerez sur cette machine)

➜ la vanne 3 voies située à l'arrivée de l'eau qui permet d'envoyer l'eau thermostatée soit dans le tuyau de cuivre soit dans le tuyau de plastique

➜ les 3 thermomètres permettant de repérer la température au début de la canalisation, à la fin de la canalisation et au sein du bain thermostaté

➜ les 2 palpeurs situés de chaque côté du tuyau de cuivre permettant de mesurer précisément ses variations de longueurs (un tour de cadran représente une variation de longueur de 1,00 mm

➜ le chronomètre permettant … de mesurer le temps qui passe (si vous n'avez pas de chronomètre, servez-vous de celui qu'il y a sur votre portable ou sur votre montre)



Dans les manipulations qui suivent, vous allez :

➜ déterminer la capacité thermique de l'ensemble du circuit hydraulique

➜ évaluer la puissance thermique perdue dans le circuit de tuyau plastique

➜ évaluer la puissance thermique perdue dans le circuit de tuyau de cuivre

➜ évaluer le coefficient de dilatation isobare du cuivre

2°) Modélisation et résultat théorique

En première approximation, l'échange thermique δQ entre un corps solide de température T et l'atmosphère ambiante de température T_0 pendant la durée $\mathrm{d}t$ s'écrit :

$$\delta Q = \pm h\,(T_0 - T)$$

h est un coefficient phénoménologique lié au matériau utilisé, à la circulation de l'air autour du solide et à la surface du solide.

¿? *Quelle est la dimension de h ? Comment choisir le signe ?*

➜ En prenant comme système l'ensemble du réseau hydraulique, montrez que la température de l'eau obéit à l'équation différentielle suivante :

$$C\,\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = \mathscr{P}_{\mathrm{th}} + h\,(T_0 - T(t)) \qquad \rightsquigarrow \qquad \frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{h}{C}\,T(t) = T_0 + \frac{\mathscr{P}_{\mathrm{th}}}{C} \qquad \text{où :}$$

➜ $T(t)$ est la température du bain

➜ C est la capacité thermique totale

➜ $\mathscr{P}_{\mathrm{th}}$ est la puissance thermique apportée par le bain thermostatée

➜ T_0 est la température de l'air ambiant

Dans ces conditions, la température suit la loi :

$$T(t) = T_0 + \frac{\mathscr{P}_{\mathrm{th}}}{h} + T_1\,\mathrm{e}^{-t/\tau} \qquad \text{avec} \qquad \tau = \frac{C}{h}$$

T_1 qui dépend des conditions initiales

Dans la suite, vous modifierez $\mathscr{P}_{\mathrm{th}}$ en mettant en route ou non le bain thermostaté et h en changeant la voie de circulation de l'eau (h_0 dans le cas du plastique et H_{Cu} dans le cas du cuivre).

3°) Première descente en température

Normalement la température du bain thermostaté devrait être de l'ordre de 60 °C (ou plus, la valeur exacte n'étant pas importante) et le bain thermostaté devrait avoir une température de commande minimale.

Conditions expérimentales :

- ➜ le bain thermostaté ne fonctionne qu'en mode de circulation d'eau $\mathscr{P}_{\text{th}} = 0$ (voyant jaune éteint)
- ➜ le circuit d'eau passe par les tuyaux en plastique ($h = h_0$)

Le but va être d'être d'évaluer le rapport $\tau = \dfrac{C}{h_0}$.

➩ Suivez l'évolution de la température du bain pendant plusieurs minutes (une petite dizaine) à raison d'environ une ou deux mesures par par minutes.

En réécrivant la fonction température, il est possible de faire apparaître une relation linéaire :

$$T(t) - T_0 = T_1\,\mathrm{e}^{-t/\tau} \quad \rightsquigarrow \quad \ln(T - T_0) = \ln T_1 - \frac{t}{\tau} \quad \rightsquigarrow \quad y = \ln T_1 - \frac{x}{\tau}$$

➩ Mesurez T_0 avec un des thermomètres non utilisés.

➩ Faites une régression linéaire (comme en cinétique chimique) $y = \ln(T - T_0)$ en fonction de $x = t$ et déduisez-en $\dfrac{1}{\tau}$ (attention aux unités).

4°) Montée en température

Dans cette partie, vous allez évaluez le rapport $\dfrac{P_{\text{th}}}{h}$ pour pouvoir en déduire C.

Conditions expérimentales :

- ➜ le bain thermostaté fonctionnera en mode de chauffe $\mathscr{P}_{\text{th}} = 1{,}0$ kW
- ➜ le circuit d'eau passe par les tuyaux en plastique ($h = h_0$)

➩ Mettez en route le bain thermostaté (commande de température sur 80 °C) et suivez l'évolution pendant quelques minutes.

⚠ **Ne pas prolonger outre mesure le chauffage, en particulier ne pas dépasser une température mesurée de 70 °C afin de garantir un apport thermique constant.**

En réécrivant la fonction température, il est possible de faire apparaître une relation linéaire entre $y = T$ et $x = \mathrm{e}^{-t/\tau}$

$$T(t) = T_0 + \frac{\mathscr{P}_{\text{th}}}{h_0} + T_1\,\mathrm{e}^{-t/\tau} \quad \rightsquigarrow \quad y = T_0 + \frac{\mathscr{P}_{\text{th}}}{h_0} + T_1\,x$$

Rappelons que τ a été déterminé à la question précédente.

➩ À l'aide d'une régression linéaire, déduisez-en $T_0 + \dfrac{\mathscr{P}_{\text{th}}}{h_0}$.

➩ Déduisez-en h_0 puis C.

5°) Deuxième descente de température

Dans cette partie, vous allez évaluer H_{Cu} représentant les pertes thermiques à travers les tuyaux de cuivre.

Conditions expérimentales :

- ➜ le bain thermostaté ne fonctionne qu'en mode de circulation d'eau $\mathscr{P}_{\text{th}} = 0$
- ➜ le circuit d'eau passe par le tuyau en cuivre ($h = H_{\text{Cu}}$)

➩ Changez la voie de circulation d'eau et attendez que l'eau recouvre une température à peu près uniforme (*ie.* partout la même). Ce n'est pas grave si la température n'est pas constante.

➩ Arrêtez le chauffage du bain thermostaté (commande de température au minimum) et suivez non seulement la température mais aussi les indications sur les palpeurs sur les côtés (une certaine organisation et synchronisation du groupe de travail est plus qu'utile ici).

➩ Recopiez et remplissez le tableau suivant avec autant de colonnes que nécessaire.

t								
T								
$\delta\ell_1$								
$\delta\ell_2$								

➩ À l'aide d'une méthode similaire à celle utilisée lors de la première descente de température, déduire la nouvelle constante de temps $\tau' = \dfrac{C}{H_{\text{Cu}}}$.

➩ Déduire H_{Cu}.

➩ En admettant que le tuyau de cuivre augmente de volume essentiellement dans sa longueur, nous pouvons écrire celle-ci sous la forme :

$$\chi_T = \frac{1}{V}\,\frac{\partial V}{\partial T}\Big|_P = \frac{1}{\ell}\,\frac{\partial \ell}{\partial T}\Big|_P = \mathrm{C^{te}} \quad \rightsquigarrow \quad \ell(T) = \ell_0 + \chi_T\,\ell_0\,(T - T_0)$$

➩ À l'aide des mesures précédentes, calculer le coefficient de dilatation isobare du cuivre χ_T à la pression atmosphérique.

➩ Comparez avec la valeur tabulée : $\chi_T = 16{,}4.10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$.

¿? *Pourquoi la valeur de χ_T est-elle parfois écrite $\chi_T = 1{,}64$ mm/m/100K ?*