Université de Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

2019/2020

TP L1
Conduction radiale

Objectif

Mesurer la distribution de la température pour la conduction stationnaire à travers la paroi d'un cylindre (transfert de chaleur radial) et démontrer l'effet du changement de flux de chaleur.

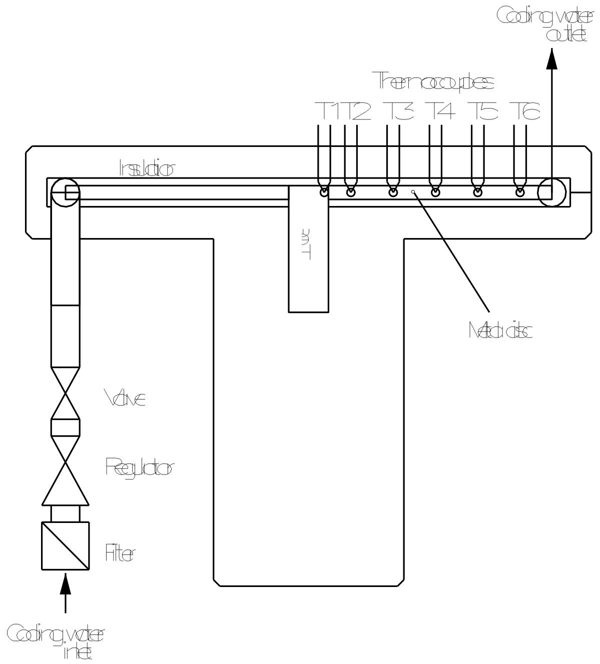
Méthode

En mesurant le changement de la température résultante de la conduction radiale avec le rayon du cylindre. Le centre du disque est chauffé par contre la périphérie est refroidie à des différents taux de chaleur.

Équipement requis

Accessoire de la conduction radiale de chaleur HT12

Unité de service de transfert de chaleur de HT10X



Installation d'équipement

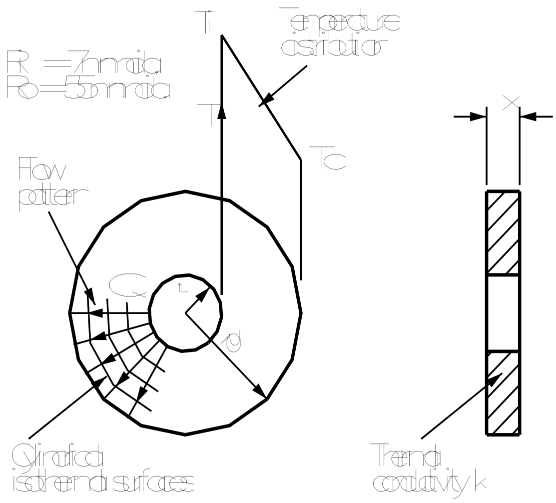
Avant de procéder à l'exercice il faut s'assurer que l'équipement a été préparé comme suit :

Localiser l'accessoire radial de conduction de chaleur HT12 à côté de l'unité de service de transfert de chaleur de HT10X/HT10XC sur un banc approprié.

Relier les six thermocouples sur le HT12 aux douilles appropriées sur l'unité de service.

Les thermocouples sont placés effectivement aux rayons suivants à partir du centre de disque :

T1 (7 mm) ,T2(10 mm),T3(20 mm),T4(30 mm) ,T5(40 mm) ,T6(50 mm) .



Théorie

Les surfaces intérieures et externes d'un cylindre à parois épaisses sont chacune à des températures uniformes différentes

Le disque peut être considéré comme une série de couches successives.

La chaleur radiale traverse chacune des couches successives dans le mur doit être constante si l'écoulement est stationnaire mais puisque la superficie des couches successives augmente avec le rayon, le gradient de température doit diminuer avec le rayon.

Le disque fabriqué en laiton possède une épaisseur de 3.2 mm et un diamètre de 110 mm. Il présente au centre un creux de diamètre 14 mm où est installe un cylindre en cuivre. Le disque est couvert dans son intégralité par une couche d'isolant en plastic qui emprisonne une fine couche d'air afin d'isoler les sections et réduit au minimum les pertes de chaleur a l'environnement. Aussi cela permet de prévenir des accidents de brulures au toucher des operateurs.

L'objectif de cet exercice est de montrer le profil de température résultant du flux de la chaleur radial à l'extérieur du centre du disque à différents taux d'écoulement de la chaleur.

L'application de la loi de Fourier pour calculer la chaleur traversant le mur et son rapport avec le rayon.

Procédé

Faire couler l'eau de refroidissement et ajuster la valve de contrôle pour donner approximativement 1.5 litre/mn.
Placer la tension de réchauffeur à 12 volts, i.e., ajuster le potentiomètre de commande de tension pour donner une lecture de 12 volts.
Permettre au HT12 de se stabiliser.
Enregistrer les valeurs des températures T1, T2, T3, T4, T5, T6, V, I
Placer la tension de réchauffeur à 17, 21 , 24 volts. Suivre la même méthode qu'avant.

Résultats et calculs

Pour cet exercice les données sont:

Tension de réchauffeur	V	Volts
Courant de réchauffeur	I	Ampères
La température au rayon de 7 millimètres (à l'intérieur)	T1	(°C)
La température au rayon de 10 millimètres	T2	(°C)
La température au rayon de 20 millimètres	T3	(°C)
La température au rayon de 30 millimètres	T4	(°C)
La température au rayon de 40 millimètres	T5	(°C)
La température au rayon de 50 millimètres (dehors)	T6	(°C)

1. Vous devriez également estimer et enregistrer les erreurs expérimentales pour ces mesures.
2. Pour chaque ensemble de lectures tracer le graphe de la température en fonction du rayon.
3. À partir des graphes, estimer la température à la périphérie du disque (au rayon R_0 = 55mm) pour chaque flux de la chaleur Q.

TP L2
Distribution de la température sur une surface étendue

Objectif

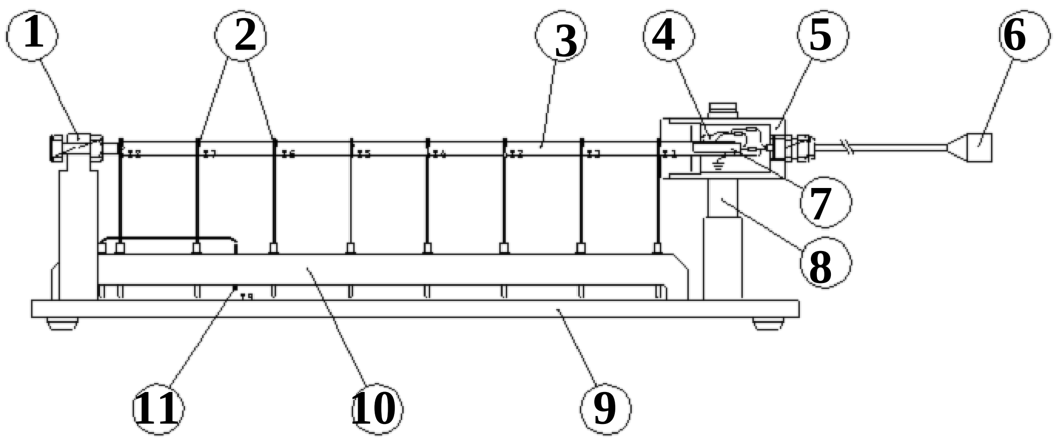
Cette manip a été conçue pour démontrer les caractéristiques du profil de température et du transfert de chaleur pour une surface étendue (tige cylindrique, ailette) lorsque la chaleur se répand le long de la tige par conduction occasionnant des déperditions vers l'environnement par convection et rayonnement.

Méthode

La méthode consiste à mesurer les températures surfaciques, le long d'une tige cylindrique pleine en **laiton**, à des positions bien déterminées. La tige est chauffée par une des extrémités par une puissance de chauffe (Heater Fig. 2).

Équipement

- L'accessoire HT15 (fig. 1) et l'unité de service de transfert de chaleur HT10X (Fig. 2)
- Neuf thermocouples type K (fig. 1)



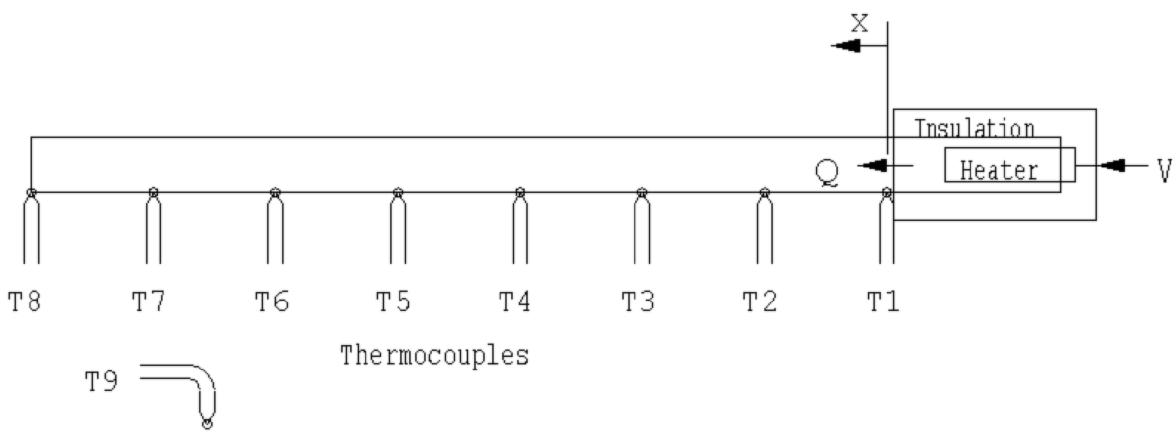


Figure 1. L'accessoire HT15

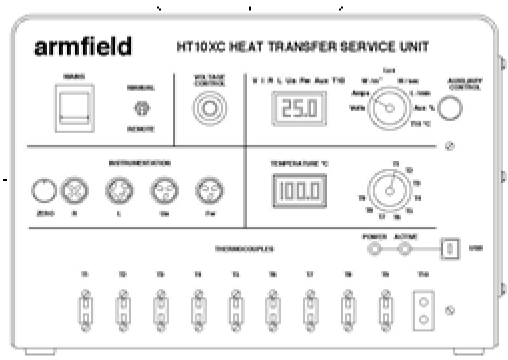


Figure 2- l'unité de service de transfert de chaleur HT10X

La tige (3) est fabriqué à partir d'une barre cylindrique en laiton solide avec un diamètre D constant de 10 mm. Elle est montée horizontalement avec un support (8) à l'extrémité chauffée et une fixation (1) à l'autre extrémité. La tige est revêtue d'une peinture résistante à la chaleur noir mat, qui fournit une émissivité constante proche de l'unité. La conductivité thermique de la tige de laiton doit etre rechercher par l'etudiant.
L'extrémité chauffée de la barre est montée co-axialement à l'intérieur d'un boîtier en matière plastique (5) qui prévoit une lame d'air et isole la surface occupée par le dispositif de chauffage afin de minimiser la perte de chaleur et éviter des brûlures à l'opérateur.

Huit thermocouples (2) sont fixés à la surface de la tige, à des intervalles égaux de 50 mm donnant une longueur totale L de 350 mm instrumenté. Chaque thermocouple est enroulé autour de la tige afin de minimiser les erreurs de conduction.
Le thermocouple T1 mesure la température à l'extrémité chaude de la tige et T8 mesure la température à l'extrémité opposée. Le thermocouple T9 est monté de manière adjacente à la tige chauffée et mesure la température de l'air ambiant. Toutes les températures sont mesurées à l'aide des **thermocouples de type K** chacune équipée d'un connecteur miniature mâle pour le raccordement direct à l'unité de service HT10X

Théorie

Lorsqu'il est nécessaire de refroidir une surface par convection, le taux d'évacuation de la chaleur peut être amélioré en augmentant la surface d'échange. Ceci est réalisé par l'ajout des surfaces étendues (ailettes).

Un gradient de température est induit le long de la surface étendue $\left(L\ ?\ D\right)$ (fig. 1) en raison de la combinaison de deux phénomènes. Le premier est dû à la conductivité thermique longitudinale alors que le second représente les pertes de chaleur à l'environnement (milieu ambiant). Pour déterminer l'échange de chaleur entre la surface et son environnement, il est impératif de connaitre la distribution de la température le long de la surface étendue. Dans ces cas de figure, le rayonnement et la convection naturelle se produisent simultanément et doivent être tous les deux inclus dans l'analyse énergétique.

1/ En considérant le bilan énergétique dans l'état stationnaire pour une surface étendue, l'équation suivante peut être dérivée:

$$\frac{d^2\theta(x)}{dx^2} - m^2\theta(x) = 0 \qquad \text{Où} \quad \begin{cases} m^2 = \dfrac{(H \cdot P)}{(A \cdot \lambda)} \\ et \ \theta(x) = Tx - Ta \end{cases} \tag{1}$$

Avec : H, A et λ sont des constantes. Ainsi, pour une puissance P fixée, m^2 revient à être constant et par conséquent, m doit l'être aussi.

En supposant que le diamètre de la tige est faible par rapport à sa longueur et que la perte de chaleur à l'extrémité non chauffée sont négligeable (extrémité x = L), on pourra alors écrire que :

$$\frac{d\theta(x)}{dx} = 0 \ à \ x = L \tag{2}$$

Donc, la solution de (1) prend la forme : $\dfrac{\theta(x)}{\theta_0} = \dfrac{Tx - Ta}{T1 - Ta} = \dfrac{\cosh m(L - x)}{\cosh m L}$ (3)

Le but de cet exercice est d'observer le gradient de température le long de la surface étendue et de montrer que le terme ***m*** est constant dans toutes positions *x* le long de la surface.

2/ L'analyse qui suit la théorie utilise une relation empirique pour un caractériser un échange combiné convection naturelle + rayonnement. Proposée par W.H. McAdams dans la publication « Heat Transmission », third edition, McGraw-Hill, New York, 1959, elle stipule que:

La puissance de chauffage est déterminée par :

$$Q_{IN} = V \times I \tag{4}$$

La perte de chaleur totale de la tige peut être calculée comme suit :

$$Q_{tot} = H \ As \ (Ts - Ta) \tag{5}$$

$$\begin{cases} H = hc_m + hr_m \\ As = \pi \cdot D \cdot L \ \ (\text{Superficie totale de la surface étendue}) \end{cases} \tag{6}$$

Où :

$$hc_m = 1.32\left[\frac{(Ts - Ta)}{D}\right]^{0.25} \qquad \text{(W.H. McAdams)} \tag{7}$$

Ts [K]= température moyenne de la surface de la tige
(Déterminer à partir des températures T1 jusqu'à T8)
Ta [K] = température d'air ambiant (= T9 + 273)

$$hr_m = F\xi\sigma\frac{\left(Ts^4 - Ta^4\right)}{\left(Ts - Ta\right)} \qquad (8)$$

Où:

σ = constant de Stefan Boltzmann	($Wm^{-2}K^{-4}$)
ξ = Emissivité de la surface	(sans dimension)
F = 1 = facteur de forme	(sans dimension)

Procédure :

Régler la tension de chauffage à 20 Volts et surveiller la température T1. Lorsque cette température atteint 80 °C, réduire alors la tension de chauffage à 9 Volts (le réglage initial plus élevé permettra de réduire le temps nécessaire pour stabiliser les températures sur la tige).
Laisser le HT15 se stabiliser et enregistrer les valeurs de la tension et du courant fourni à l'appareil de chauffage, ainsi que la température à chaque position le long de la tige (T1 à T8 et T9 température ambiante de l'air.

Régler la tension de chauffage à 16 Volts puis laissez l'HT15 se stabiliser. Enregistrer les lectures comme avant. Répéter la lecture avec la tension de chauffage à 12 Volts, puis à 14 Volts.

Résultats et les calculs

Pour cet exercice les données sont:

Tension de chauffage	V	Volts
Intensité de chauffage	I	Amps
Temperature à x = 0	T1	(°C)
Température à x = 0.05m	T2	(°C)
Température à x = 0.10m	T3	(°C)
Température à x = 0.15m	T4	(°C)
Température à x = 0.20m	T5	(°C)
Température à x = 0.25m	T6	(°C)
Température à x = 0.30m	T7	(°C)
Température à l'extrémité (*x* = 0.35m)	T8	(°C)
Température de l’air ambiant	T9	(°C)

Longueur de la tige = distance de T1 à T8 L = 0,35 m
Diamètre de la tige D = 0.01 m
La distance entre chaque thermocouple est de 0,05 m.

Pour chaque position le long de la tige (dimension *x*), utiliser les températures mesurées correspondantes pour trouver la valeur de ***m*** qui satisfait la relation:

$$\frac{Tx - T9}{T1 - T9} = \frac{\cosh m(L - x)}{\cosh m\, L} \qquad (9)$$

Note: La valeur de ***m*** peut être trouvée par itération en utilisant une valeur de départ suggéré de 7,4.

Trouver la valeur moyenne de ***m*** puis utiliser cette valeur pour calculer la température Tx théorique à chaque position *x* le long de la tige.

Répétez cette procédure pour chaque ensemble de température obtenus et confirmer que, pour chaque série de mesures la valeur ***m*** reste constant.

Pour chaque série de mesures.

1. Tracer la courbe de température de surface mesurée Tx en fonction de la position x le long de la surface étendue.
2. Tracer le profil de température théorique que vous avez calculé en utilisant la valeur moyenne de ***m*** et comparer la courbe de vos valeurs mesurées.
3. Quel est l'effet de faire varier la puissance du chauffage (flux de chaleur le long de la tige)?
4. Comparer la puissance Q_{in} avec Q_{tot} et commenter chaque différence.

Nomenclature

Nom	***Symbole***	**unité SI**
Puissance de chauffage	Q_{IN}	W
Surface chauffée	*As*	m^2
Section de la surface chauffée	*A*	m^2
Distance le long de la surface chauffée (à partir de T1)	*x*	m
Conductivité thermique de la tige de laiton	λ	$Wm^{-1}k^{-1}$
Perte de chaleur totale de la surface étendue	Q_{tot}	W
Coefficient global de transfert thermique	*H*	$Wm^{-2}K^{-1}$
Le coefficient moyen de transfert thermique par convection	hc_m	$Wm^{-2}K^{-1}$
Le coefficient moyen de transfert thermique par rayonnement	hr_m	$Wm^{-2}K^{-1}$

<u>Questions à poser pendant la manip :</u>

1. Pourquoi un transfert longitudinal par conduction est considéré dans cette manip ? et pourquoi le transfert radial par conduction est omis ?
2. Quand l'échange de chaleur est négligé à l'extrémité opposée à celle chauffée, on a pu écrire que : $\frac{d\theta(x)}{dx} = 0$. Explique cet état de fait?

3. Pourquoi $\frac{d}{dx}$ et non pas $\frac{\partial}{\partial x}$?
4. Un réglage initial de la tension de chauffe plus élevé permettra de réduire le temps nécessaire pour stabiliser la T sur la tige. Pourquoi?
5. Que veut dire un thermocouple type K ?
6. Dans quel cas on pourra négliger le rayonnement dans cette étude ?

Université de Jijel
2019/2020
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique