



SERIE D'EXERCICES N°4

Exercice 1

Soit une enceinte qui est à maintenir à une température constante $T_U = 20^\circ\text{C}$, au milieu d'un environnement à $T_0 = 10^\circ\text{C}$, par chauffage à partir d'une source thermique qui a une température T_a (voir figure 1). Pour mesurer ces températures, 3 thermocouples Chromel-Alumel sont utilisés. Les jonctions de références de ces thermocouples sont placées à la température ambiante T_0 .

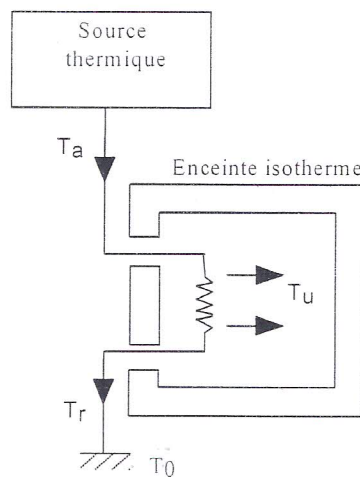


Figure 1 : Chauffage d'une enceinte isotherme

1. Expliquez le principe de fonctionnement d'un thermocouple
2. Quels sont les autres transducteurs pour la mesure de la température que vous connaissez?
3. Le thermocouple mesurant la température T_U est branché aux bornes d'un voltmètre digital. Quelle devrait être la tension affichée par ce voltmètre?
4. La valeur affichée par le voltmètre est en fait 0.652 mV. Interpréter ce résultat
5. Le voltmètre branché au thermocouple mesurant T_a affiche une tension de 6.112 mV, Quelle est la température de la source thermique?

Exercice 2

On veut mesurer la stratification thermique dans un bassin solaire rempli d'eau. Pour cela, on place 5 thermocouples de type J (Fer/Constantan) espacés en profondeur. A un instant t , on mesure les f.e.m. délivrées par les 5 thermocouples ; on obtient les résultats suivants :

N° du thermocouple	1	2	3	4	5
f.e.m. (en mV)	1,019	1,536	2,058	2,585	3,115

- 1- Chercher les valeurs des températures en utilisant la table du thermocouple Fer/Constantan sachant que leurs soudures de références sont placées à 0°C.
- 2- Quelle f.e.m donnerait un thermocouple Fer/Constantan si sa soudure de référence était à la température T1 = 30°C et sa soudure de mesure à T2 = 60°C.
- 3- En supposant que la courbe d'étalonnage des thermocouples est une droite dans ce domaine de température, utiliser la méthode des moindres carrés pour déterminer les caractéristiques de cette droite.
- 4- Déterminer, à 3 chiffres significatifs près, l'erreur commise sur la mesure de température correspondante à la f.e.m. e = 1,797 mV en faisant cette approximation.
- 5- Quelle doit être la résolution, à un chiffre significatif près, du voltmètre à utiliser si la résolution voulue sur la mesure de température est de 3°C ?
- 6- On veut faire un thermocouple Fer/Métal M. Déterminer la sensibilité de ce thermocouple, sachant que celle du thermocouple Métal M/Constantan est égale à 0,03 mV/°C.

On donne
$$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2} \quad \text{et} \quad b = \frac{\sum y - m \sum x}{n}$$

Tension thermo-électrique en mV d'un thermocouple type J (jonction de référence à 0°C)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,000	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456	0,507
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,814	0,865	0,916	0,968	1,019
20	1,019	1,071	1,122	1,174	1,226	1,277	1,329	1,381	1,433	1,485	1,537
30	1,537	1,589	1,641	1,693	1,745	1,797	1,849	1,902	1,954	2,006	2,059
40	2,059	2,111	2,164	2,216	2,269	2,322	2,374	2,427	2,480	2,532	2,585
50	2,585	2,638	2,691	2,744	2,797	2,850	2,903	2,956	3,009	3,062	3,116
60	3,116	3,169	3,222	3,275	3,329	3,382	3,436	3,489	3,543	3,596	3,650
70	3,650	3,703	3,757	3,810	3,864	3,918	3,971	4,025	4,079	4,133	4,187
80	4,187	4,240	4,294	4,348	4,402	4,456	4,510	4,564	4,618	4,672	4,726
90	4,726	4,781	4,835	4,889	4,943	4,997	5,052	5,106	5,160	5,215	5,269

Exercice 3

Lors de l'écoulement des fluides dans les échangeurs thermiques (un film liquide ruisselant sur un faisceau de tubes par exemple) des couches de tartre peuvent se déposer sur la surface externe d'échange, provoquant la chute des performances thermiques des échangeurs.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer l'épaisseur de la couche de tartre (Figure 1). Ceci est réalisé en vue de déterminer à quel moment précis il faut procéder à un nettoyage acide de l'échangeur.

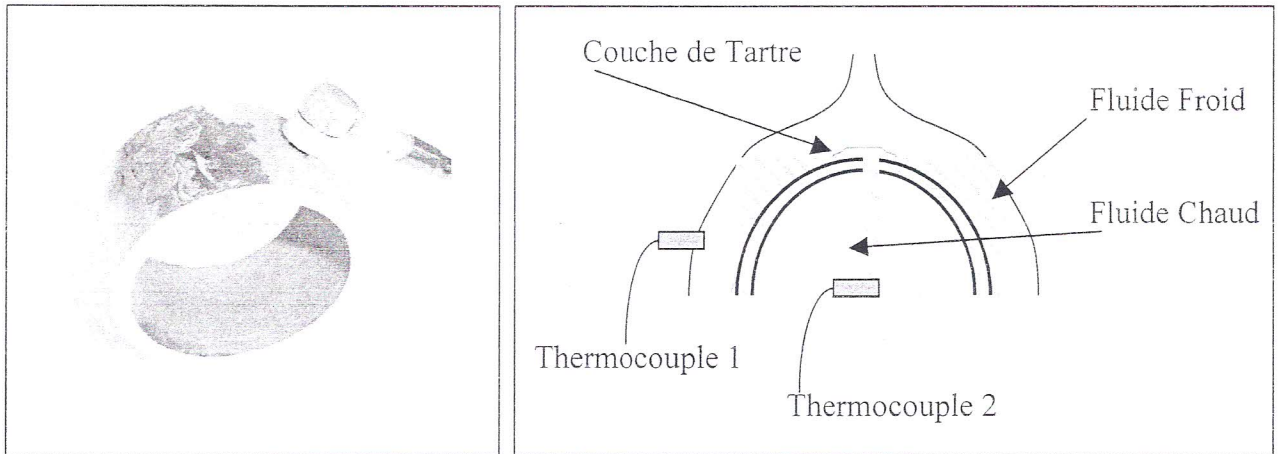


Figure 1 : Mesure de l'épaisseur d'une couche de Tartre sur les tubes d'un échangeur

Une de ces méthodes consiste à mesurer les températures de part et d'autre de la surface d'échange et à déterminer par la suite le coefficient global de transfert de chaleur U par la relation :

$$Q = U A \Delta T \quad (1)$$

Où Q est le flux de chaleur transféré via la surface d'échange A . Pour cette expérience, le flux de chaleur a été fixé à $Q=10000 \text{ W}$ et la surface des tubes à $A=10 \text{ m}^2$.

ΔT : L'écart entre la température du fluide chaud T_c (à l'intérieur des tubes) et celle du fluide froid T_f (à l'extérieur des tubes) :

$$\Delta T = T_c - T_f \quad (2)$$

Par ailleurs, le coefficient U dépend de l'épaisseur x du tartre par la relation suivante:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_0} + (R_0 + x) \left[\frac{1}{R_i h_i} + \left(\frac{1}{k_w} + \frac{1}{k_s} \right) \times \text{Ln} \left(\frac{R_0}{R_i} \right) \right] \right]} \quad (3)$$

Où:

Paramètres	Signification	Unité	Valeur
R_0	Rayon extérieur des tubes de l'échangeur	m	0,0287
R_i	Rayon intérieur des tubes de l'échangeur	m	0,028
h_i	Coefficient intérieur de transfert de chaleur	$\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$	5000
h_0	Coefficient extérieur de transfert de chaleur	$\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$	4202
k_w	Conductivité thermique du matériau du tube	$\text{W/m} \cdot \text{C}$	100
k_s	Conductivité thermique de la couche du tartre	$\text{W/m} \cdot \text{C}$	15

Deux thermocouple de type K (Chromel-Alumel), sont utilisés pour la mesure des températures T_c et T_f . Après une période de fonctionnement de 1500h et à une température ambiante de 19°C , on a relevé les valeurs suivantes:

- Thermocouple 1 (fluide froid) $V_1 = 2,9965 \text{ mV}$.
- Thermocouple 2 (fluide chaud) $V_2 = 2,259 \text{ mV}$.

L'expérimentateur a oublié de mettre la jonction froide du deuxième thermocouple dans le bain glacé.

1. Expliquer le principe de fonctionnement d'un thermocouple.
2. **a.** Pourquoi doit-on mettre la jonction froide d'un thermocouple à 0°C ?
b. Est-ce que l'erreur faite par l'expérimentateur (laisser la jonction froide à la température ambiante) est grave ?
c. Sinon, comment peut-on la corriger ?
3. Déterminer les valeurs des températures des fluides chaud et froid.
4. Calculer la valeur du coefficient global de transfert de chaleur U .
5. Déduire la valeur de l'épaisseur de tartre x à cet instant.
6. En se basant sur l'équation (1), donner l'expression de l'erreur relative sur le coefficient global de transfert de chaleur U .
7. Si les erreurs relatives sur le flux Q est de 1% et les températures T_c et T_f sont de 0,05%, quelle est l'erreur relative réalisée sur le coefficient global de transfert de chaleur U ? Commentez le résultat obtenu.
8. En partant de l'expression de U , démontrer que l'erreur sur l'épaisseur x du tartre peut être donnée par la relation suivante:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta x}{C + x} \quad (4), \text{ où } C \text{ est une constante}$$

Tableau 1 : Tension Thermo-électrique en mV d'un thermocouple type K

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509