



Faculté :

التكنولوجيا

كلية:

Département :

Génie des procédés et  
industrie pétrochimique

هندسة الطرائق والصناعات البتر وكيميائية

قسم:

مسابقة الدخول لدكتوراه الطور الثالث، ل م د 2020/2021

Concours d'accès au doctorat 3<sup>e</sup> cycle, LMD 2020/2021

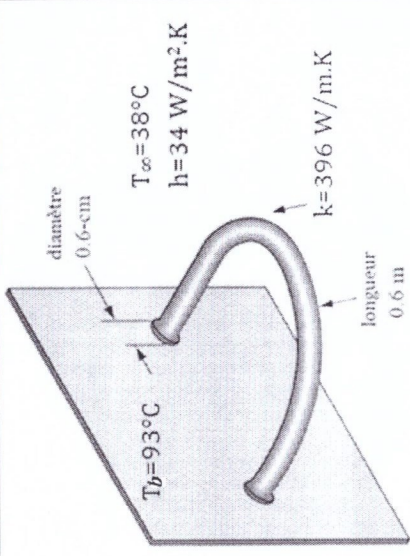
الاختصاص: هندسة كيميائية

Variante :		01	الخيار رقم:
<b>Epreuve :</b>	Transfert thermique et échangeurs de chaleur		
<b>Durée :</b>	ساعات	03	Coefficient :
<b>Date :</b>	27/03/2021	17:00-15:00	Heure :

**Exercice 01 :** (06 points)

Les deux extrémités d'une tige en forme U, sont fixées à une paroi verticale comme indiqué sur la figure à droite. La température de la paroi est maintenue à 93 °C et la tige est exposée à l'air à 38 °C. Le diamètre et la longueur développée de la tige sont 0,6 cm et 0,6 m respectivement. La conductivité thermique de la tige est de 396 W/m.K et le coefficient de transfert de chaleur par convection pour ce système est de 34 W/m<sup>2</sup>.K.

- Déterminer la température du point médian (L/2) de la tige.
- Déterminer le flux de transfert de chaleur de la tige.



Distribution de température et perte de chaleur pour des ailettes de section uniforme

Type de la condition à $x = L$	Distribution de la température $\theta / \theta_b$	Flux de chaleur dégagé $q_f$
Ailette isolée à son extrémité $d\theta / dx _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$	$M \tanh mL$
Température de l'extrémité de l'aillette est fixe $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{(\theta_L / \theta_b) \sin mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$	$M \frac{(\cosh mL - \theta_L / \theta_b)}{\sinh mL}$
Extrémité de l'aillette perd de la chaleur par convection $h\theta(L) = -k d\theta / dx _{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$	$M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$
$\theta = T - T_\infty$ $\theta_b = \theta(0) = T_b - T_\infty$ $m^2 = hP / kA_c$ , $M = \sqrt{hPkA_c} \theta_b$		

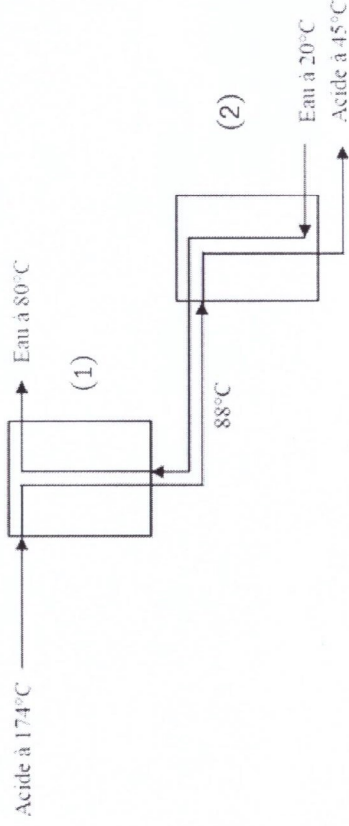
**Exercice 02 :** (07 points)

Un échangeur de chaleur à flux contre-courant constitué de deux réservoirs en série pour refroidir par l'eau l'acide sulfurique avec un débit de 4500 kg/h. Sachant que les coefficients d'échange global pour le premier et le deuxième réservoir sont  $U_1 = 1000$  (kcal/h.m<sup>2</sup>.°C) et  $U_2 = (630$  kcal/h.m<sup>2</sup>.°C), respectivement.

La chaleur spécifique de l'acide sulfurique :  $c_{p(\text{acide})} = 0,36$  kcal/.kg.°C,  $c_{p(\text{eau})} = 1$  kcal/.kg.°C.

- Calculer la surface totale de refroidissement.

Les températures aux différents points du circuit sont indiquées dans le schéma ci-dessous :

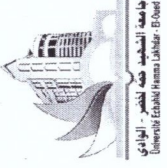
**Exercice 03 :** (07 points)

Un échangeur de chaleur à flux parallèle a une conductance totale  $UA = 10$  W/K. Le fluide chaud entre en  $T_h = 400$  K et une capacité thermique  $C_h = 10$  W/K. Le fluide froid entre à  $T_c = 300$  K et une capacité thermique  $C_c = 5$  W/K.

1. Déterminer le nombre d'unités de transfert (NTU),
2. Déterminer l'efficacité ( $\varepsilon$ ),
3. Déterminer le flux de transfert de chaleur ( $q$ ),
4. Déterminer la température de sortie du fluide chaud ( $T_{h,out}$ ) de l'échangeur de chaleur.
5. Déterminer la température de sortie du fluide froid ( $T_{c,out}$ ) de l'échangeur de chaleur.
6. Tracer la répartition de la température dans l'échangeur de chaleur.
7. Tracer la distribution de température à l'intérieur de l'échangeur de chaleur si la conductance de l'échangeur de chaleur est très grande ; c'est-à-dire quelle est la distribution de température dans la limite où  $UA \rightarrow \infty$ .

limite où  $UA \rightarrow \infty$ .

L'efficacité d'un échangeur de chaleur à courant parallèle	L'efficacité d'un échangeur de chaleur à contre courants	Rapport : $C_r$
$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1+C_r)]}{1+C_r}$	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1-C_r)]}{1-C_r \exp[-NUT(1-C_r)]}$	$C_r = C_{\min} / C_{\max}$
Relation de NTU	Relation de NTU	
$NUT = -\frac{\ln[1-\varepsilon(1+C_r)]}{1+C_r}$	$NUT = \frac{1}{C_r - 1} \ln \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1} \right) \quad (C_r < 1)$ $NUT = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad (C_r = 1)$	



Faculté :

Technologie

التكنولوجيا

كلية:

Département :

Génie des procédés et  
industrie pétrochimique

هندسة الطرائق والصناعات البترولية والكيميائية

مسابقة الدخول لدكتوراه الطور الثالث، ل م د 2020/2021

Concours d'accès au doctorat 3<sup>e</sup> cycle, LMD2020/2021

الاختصاص: هندسة كيميائية

الخيار رقم: 01		Variante :	
المعامل:	المدة:	Corrigé de Transfert thermique et échangeurs de chaleur	الاختبار:
التوقيت:	التاريخ:	03	المعامل:
	Heure :	17:00-15:00	التوقيت:

Solution d'exercice 01 : (06 points)

Donne :  $D = 0,006 \text{ m}$  ,  $L = 0,6 \text{ m}$  ;  $T_b = 93^\circ \text{C}$  ;  $T_\infty = 38^\circ \text{C}$  ;  $h = 34 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ .

Par symétrie, La conduction à travers la tige au centre est nulle.

Par conséquent, la tige peut être considérée comme deux tiges à extrémité isolée.

a)- Le système considère comme deux tiges à extrémité isolée :

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh(mL)}, \quad \begin{cases} \theta_{(x)} = T_{(x)} - T_\infty \\ \theta_b = T_b - T_\infty \end{cases}$$

Où :  $\theta = T - T_\infty$  ;  $\theta_b = \theta(0) = T_b - T_\infty$  et

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} = \sqrt{\frac{h4}{kD}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (34)}{396 \cdot (0,006)}} = 7,56 \text{ m}^{-1},$$

Evaluation de la température à l'extrémité de chaque ailette

$$\frac{\theta_{(L_f)}}{\theta_b} = \frac{1}{\cosh[m(L_f - L_f)]} = \frac{1}{\cosh(mL_f)}$$

La longueur de l'ailette est la moitié de la tige :  $L_f$  de chaque ailette :  $L_f = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ m}$

$$\frac{\theta_{(L_f)}}{\theta_b} = \frac{T_{(L_f)} - T_\infty}{T_b - T_\infty} = \frac{1}{\cosh(7,56) \cdot (0,3)} = 0,205$$

$$T_{(L_f)} = 0,205 \cdot (T_b - T_\infty) + T_\infty = 0,205 \cdot (93 - 38) + 38 = 49,27^\circ \text{C}$$

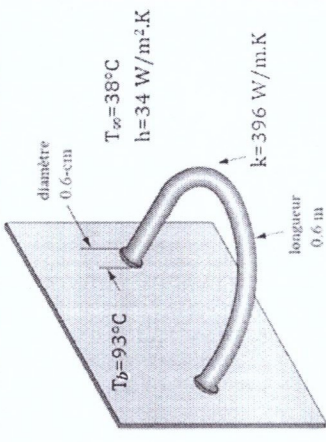
b)- Le flux de transfert de chaleur de la tige :

$$\dot{q}_f = M \tanh(mL_f); M = \sqrt{hPkA_c} \theta_b = \sqrt{h(\pi D)k \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \cdot (T_b - T_\infty)$$

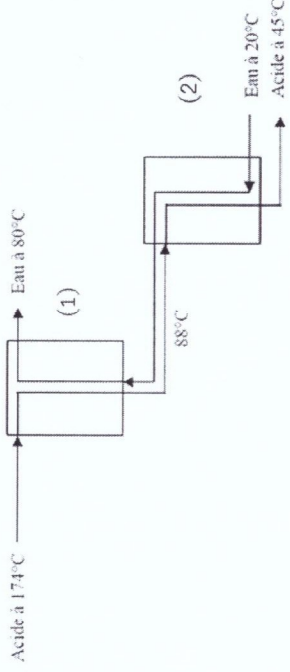
$$M = \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot (34) \cdot (396) \cdot (0,006)^3} (93 - 38) = 4,653 \text{ W}$$

$$q_{\text{tige}} = 2xq_f = 2x4,56 = 9,12 \text{ W}$$

$$, q_r = 4.653 \tanh(7,56 \cdot 0,3) = 4,56 \text{ w}$$



## Solution d'exercice 02 :(07 points)



Les deux échangeurs en série le même débit chaud entre dans les deux échangeurs et le même débit froid entre dans les deux échangeurs

1) **Echangeur 1 :** →

$$174^{\circ}\text{C} \longrightarrow 88^{\circ}\text{C}$$

$$80^{\circ}\text{C} \longleftarrow T_f$$

$$q_{e1} = \dot{m}_c C_{pe} (T_{e1} - T_{c2}) = 4500.0,36(174 - 88) = 139320 \text{ Kcal} / h$$

$$q_{e1} = q_f \dot{m}_f C_{pf} (T_{f1} - T_f) = \dot{m}_f \cdot 1 (80 - T_f) = 139320 \text{ Kcal} / h$$

2) **Echangeur 2 :**

$$88^{\circ}\text{C} \longrightarrow 45^{\circ}\text{C}$$

$$T_f \longleftarrow 20^{\circ}\text{C}$$

$$q_{e2} = q_f \dot{m}_f C_{pf} (T_f - T_{f3}) = \dot{m}_f \cdot 1 (T_f - 20) = 69660 \text{ Kcal} / h$$

$$q_{e2} = \dot{m}_c C_{pe} (T_{c2} - T_{c3}) = 4500.0,36(88 - 45) = 69660 \text{ Kcal} / h$$

$$\dot{m}_f \cdot 1 (80 - T_f) = 139320 \text{ kcal} / h \rightarrow 1$$

$$\dot{m}_f \cdot 1 (T_f - 20) = 69660 \text{ kcal} / h \rightarrow 2$$

$$1 / 2 \Rightarrow T_f = 40^{\circ}\text{C}$$

Les deux échangeurs sont à contre-courant :

$$q_1 = U_1 A_1 \Delta T_{lm1} \Rightarrow A_1 = \frac{q_1}{U_1 \cdot \Delta T_{lm1}} = 2 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{lm1} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left( \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = \frac{(88 - 40) - (174 - 80)}{\ln \left( \frac{88 - 40}{174 - 80} \right)} = 68,44^{\circ}\text{C}$$

$$q_2 = U_2 A_2 \Delta T_{lm2} \Rightarrow A_2 = \frac{q_2}{U_1 \cdot \Delta T_{lm2}} = 3,1 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{lm2} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left( \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = \frac{(45 - 20) - (88 - 40)}{\ln \left( \frac{45 - 20}{88 - 40} \right)} = 35,4^{\circ}\text{C}$$

$$S = S_1 + S_2 = 2 + 3,1 = 5,1 \text{ m}^2$$

## Solution d'exercice 03 : (07 points)

1- Le nombre d'unité de transfert :

$$NUT = \frac{UA}{C_{\min}} = \frac{10}{5} = 2.$$

2- Calcul de L'efficacité  $\varepsilon$  :

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{C_f}{C_c} = \frac{5}{10} = 0,5$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1+C_r)]}{1+C_r} = \frac{1 - e^{-(2(1+0,5))}}{1+0,5} = \frac{1 - e^{-3}}{1,5} = 0,63$$

3- Le flux de transfert de chaleur :

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} ; q_{\max} = C_{\min} \Delta T_{\max}$$

$$q_{\max} = 5 \times (400 - 300) = 500 \text{ W}$$

$$q = \varepsilon X q_{\max} = 0,63 \cdot 500 = 315 \text{ W}$$

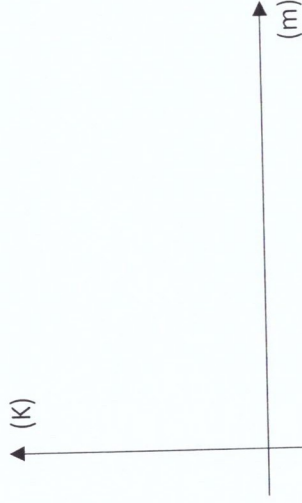
4- Température de sortie  $T_{h,out}$  :

$$q = C_h (T_{h,in} - T_{h,out}) \Rightarrow T_{h,out} = T_{h,in} - \frac{q}{C_h} = 400 - \left(\frac{315}{10}\right) = 368,5 \text{ K}$$

5- Température de sortie  $T_{c,out}$  :

$$q = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) \Rightarrow T_{c,out} = T_{c,in} + \frac{q}{C_c} = 300 + \left(\frac{315}{5}\right) = 363 \text{ K}$$

6- La répartition de la température dans l'échangeur :



7- La distribution de la température à l'intérieur de l'échangeur si la conductance de l'échangeur est très grande :

