

Université Paris Est – Gustave Eiffel

Faculté des Sciences et Technologies

Master Mécanique



Compte rendu TP :

Simulation numérique d'un échangeur de chaleur coaxial

Réalisé par :

BENANTAR Mohamed Azzeddine

MAROUF Ayyoub

Encadré par :

CHIBOUTI Dahia

2021/2020

Table des matiers:

Introduction :	3
1. Partie théorique.....	3
1.1 Résultats théoriques des températures de sorties :.....	5
2 Description du problème :	5
2.1 Maillage :.....	6
3 Les résultats de la simulation :	6
3.1 Cas idéal :.....	6
3.2 Cas réel :.....	7
4 L'évolution de la température :	7
Conclusion :	8

La liste des tableaux :

Tableau 1: Les résultats théorique.....	5
Tableau 2: les Température de sorties en fonction de débit	5
Tableau 3: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur co-courant (cas idéal)	6
Tableau 4: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur contre-courant (cas idéal)	7
Tableau 5: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur co-courant (cas réel)	7
Tableau 6: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur contre-courant (cas réel)	7

La liste des figures :

Figure 1:vue de la coupe de la géométrie de l'échangeur coaxial	5
Figure 2:illustration du maillage	6
Figure 3:l'évolution des températures pour un échangeur contre-courant (théo)	8
Figure 4: l'évolution des températures pour un échangeur contre-courant.....	8
Figure 6: l'évolution des températures pour un échangeur co-courant	8
Figure 5:l'évolution des températures pour un échangeur co-courant (théo)	8

Introduction :

Les échangeurs de chaleurs sont des systèmes permettant de transférer l'énergie thermique entre deux fluides de température différente. Il existe plusieurs types d'échangeurs, dans ce TP on va étudier un échangeur tubulaire coaxial avec les deux modes de fonctionnements co-courant et à contre-courant.

Dans ce TP on va faire la simulation numérique avec ANSYS Fluent du transfert thermique dans un échangeur tubulaire coaxial avec les deux modes de fonctionnement et puis comparer les résultats théorique et l'expérimentales avec les résultats obtenus sous ANSYS.

1. Partie théorique

L'expression du flux ϕ perdu ou gagner par un fluide est : $\Phi = \dot{m}C_p\Delta T$

Pour un fluide chaud $\Phi_c = \dot{m}_c C_p (T_{c,e} - T_{c,s})$

Pour un fluide froid $\Phi_f = \dot{m}_f C_p (T_{f,s} - T_{f,e})$

On peut aussi le définir par $\Phi = (KS)_e \Delta T_{ml}$

On définit ΔT_{ml} l'écart de température moyenne logarithmique à co-courant et à contre-courant respectivement avec les formules suivantes

$$\Delta T_{ml, \text{contre-courant}} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln[(T_{c,e} - T_{f,s}) / (T_{c,s} - T_{f,e})]}$$

$$\Delta T_{ml, \text{co-courant}} = \frac{(T_{c,e} - T_{f,e}) - (T_{c,s} - T_{f,s})}{\ln[(T_{c,e} - T_{f,e}) / (T_{c,s} - T_{f,s})]}$$

Donc on aura :

$$\begin{aligned} \dot{m}_f C_p (T_{f,s} - T_{f,e}) &= (KS)_e \frac{(T_{c,e} - T_{f,s}) - (T_{c,s} - T_{f,e})}{\ln[(T_{c,e} - T_{f,s}) / (T_{c,s} - T_{f,e})]} \\ \dot{m}_c C_p (T_{c,e} - T_{c,s}) &= \dot{m}_f C_p (T_{f,s} - T_{f,e}) \end{aligned}$$

Pour simplifier l'écriture des équations on pose :

$$\frac{\dot{m}_f C_p}{\dot{m}_c C_p} = \frac{(T_{c,e} - T_{c,s})}{(T_{f,s} - T_{f,e})} = C$$

Et en remplaçant cette constante dans la relation au-dessus on trouve

$$\ln[(T_{c,e} - T_{f,s}) / (T_{c,s} - T_{f,e})] = (KS)_e \frac{(C - 1)}{\dot{m}_f C_p}$$

Soit

$$\frac{(T_{c,e} - T_{f,s})}{T_{c,s} - T_{f,e}} = \exp\left[\frac{(KS)_e(C-1)}{\dot{m}_f C_p}\right]$$

On manipule les formules qu'on a établi au paravent on a obtenu les deux températures de sorties $T_{f,s}$ et $T_{c,s}$

$$T_{f,s} = T_{f,e} + \frac{T_{c,e} - T_{c,s}}{C}$$

$$T_{c,s} = \frac{T_{c,e}(C-1) - C\{1 - \exp\left[(KS)_e \frac{(C-1)}{\dot{m}_f C_p}\right]\} T_{f,e}}{C \exp\left[(KS)_e \frac{(C-1)}{\dot{m}_f C_p}\right] - 1}$$

En faisant les mêmes démarches avec le même raisonnement, on détermine l'expression de la température de sortie du fluide chaud à co-courant.

$$T_{c,s} = \frac{\{C + \exp\left[(KS)_e \frac{(C+1)}{\dot{m}_f C_p}\right]\} T_{c,e} - C\{\exp\left[(KS)_e \frac{(C+1)}{\dot{m}_f C_p}\right] - 1\} T_{f,e}}{(C+1) \exp\left[(KS)_e \frac{(C+1)}{\dot{m}_f C_p}\right]}$$

Pour déterminer ces températures on doit d'abord déterminer R la résistance thermique R et le coefficient global d'échange K_e .

$$\text{Avec : } K_e = 1/RS_e \text{ et } R = \frac{1}{2\pi L r_i h_i} + \frac{1}{2\pi L k} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{2\pi L r_e h_e}$$

On a aussi l'expression de K_e rapporté à la surface externe

$$K_e = \frac{1}{\frac{r_e}{r_i h_i} + \frac{r_e}{k} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{h_e}} = 42,85$$

$$\text{la surface d'échange } S_e = 2\pi r_e l = 0.01844 \text{ m}^2$$

Ainsi que l'expression de K_i rapporté à la surface interne

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i}{k} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{r_i}{r_e h_e}}$$

A partir de ces expressions pour calculer les coefficients d'échange convectif h_e et h_i

On définit les nombres de Reynolds pour la conduite chaude et l'espace annulaire respectivement :

$$Re_{Di} = \frac{U_c D_i}{\nu}, Re_{Deq} = \frac{U_f D_{eq}}{\nu}$$

Pour calculer les coefficients d'échanges on doit utiliser ces corrélations mais on doit d'abord vérifier la validité de la corrélation il faut calculer le nombre de Prandtl et le nombre de Reynolds et ces nombres adimensionnel doivent vérifier ces conditions :

$$0.5 < Pr < 10^6 \text{ et } 2300 < Re < 5 \cdot 10^6 \text{ donc}$$

$$C_f = 0.078 Re_{Di}^{-1/4} \text{ et } Nu_D = \frac{(C_f/2)(Re_D - 10^{-3})Pr}{1 + 12.7(C_f)^{1/2}(Pr^{1/3} - 1)}$$

On a pour la conduite interne (eau chaude) $Nu_{Di} = \frac{h_i D_i}{k}$ donc $h_i = \frac{k Nu_{Di}}{D_i}$

Pour l'espace annulaire $Nu_{Deq} = \frac{h_e D_{eq}}{k}$ donc $h_{eq} = \frac{k Nu_{Deq}}{D_{eq}}$

Le nombre de Prandtl : $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$

	Nu	Pr	h	Re	Débit	C_f
Fluide chaud	58.32	3.59	4381.32	9390	0.0333	0.00803
Fluide froid	67.64	6.86	5827.32	8491.2	0.05	0.00832

Tableau 1: Les résultats théorique

On remarque que le Nu est le Pr vérifier les conditions d'utilisations de la corrélation donc on peut calculer les températures de sortie.

1.1 Résultats théoriques des températures de sorties :

Débit (l/min)	T_{cs}	T_{fs}
3	47.93	26.11
2	47.48	25.43
1	49.71	30.42

Tableau 2: les Température de sorties en fonction de débit

2 Description du problème :

On va étudier le transfert thermique dans un échangeur tubulaire de forme U. le fluide chaud circule dans le cylindre intérieur en acier et le froid circule dans l'espace annulaire de l'échangeur, on représente une section en 2D du domaine d'étude.

On va traiter ce problème sous Ansys fluent et on va analyser les résultats qu'on va trouver et les comparer avec la théorie.

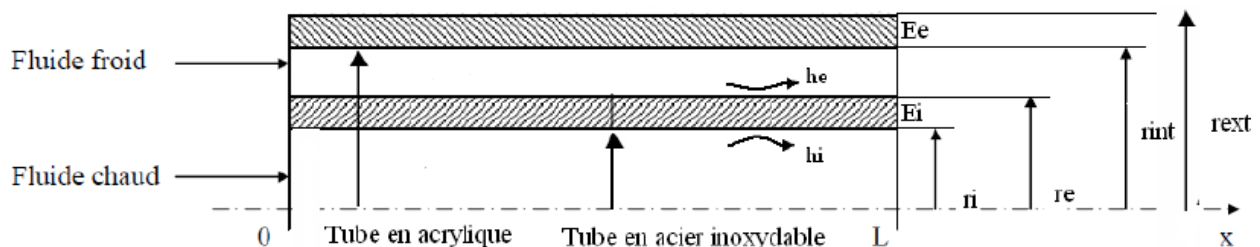


Figure 1: vue de la coupe de la géométrie de l'échangeur coaxial

Longueur totale : $L = 66\text{cm}$

Tube intérieur

- Diamètre intérieur du tube d'eau chaude : $D_i = 8,3\text{mm}$
- Épaisseur intérieure du tube d'acier inoxydable $E_i = 0,6\text{mm}$

Tube extérieur

- Diamètre extérieur de l'espace annulaire d'eau froide : $D_i = 12\text{mm}$
- Épaisseur extérieure de la paroi en acrylique : $E_e = 2,0\text{mm}$

2.1 Maillage :

On a choisi le nombre de mailles pour chaque surface comme indiqué sur la figure ci-dessous

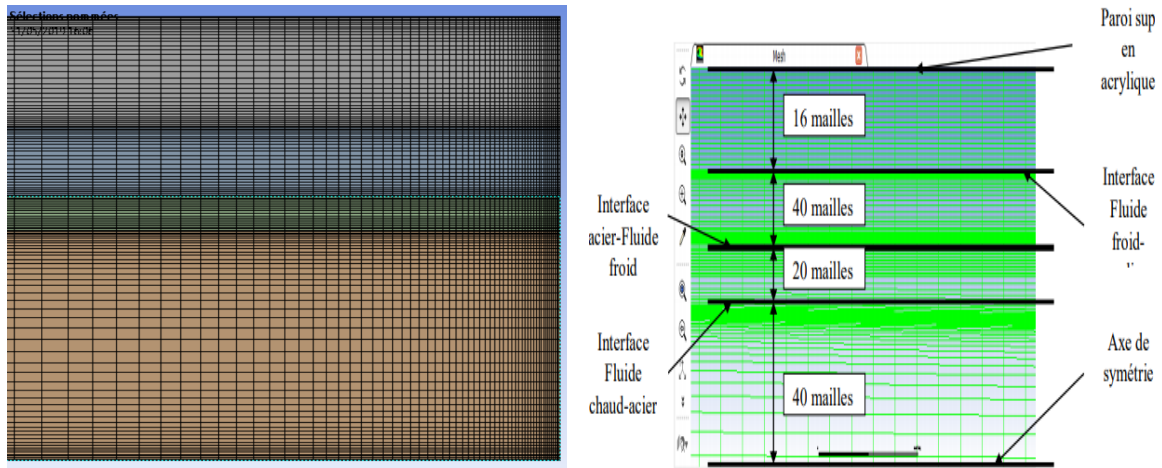


Figure 2: illustration du maillage

3 Les résultats de la simulation :

On va présenter les résultats de la simulation numérique obtenu sur ANSYS Fluent sous formes des tableaux pour deux modes de fonctionnements différents co-courant et contre-courant en faisant varier le débit et les températures d'entrée pour chaque débit on extrait les températures de sortie du fluide chaud et froid (T_{cs} et T_{fs})

3.1 Cas idéal :

- **Echangeur co-courant :**

Température (°C)	T_{cs} (exp)	T_{cs} (Num)	T_{fs} (exp)	T_{fs} (Num)	flux (watt)
3 (l/mn)	47,36	46,31	25,04	24,8005	1142.364
2 (l/mn)	48,89	47,7284	26,65	26,68	1017.817
1 (l/mn)	51,06	50,5871	31,87	30,3955	743.8386

Tableau 3: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur co-courant (cas idéal)

- **Echangeur Contrecourant :**

Température (°c)	Tcs (exp)	Tcs (Num)	Tfs (exp)	Tfs (Num)	flux (watt)
3 (l/mn)	47,36	46,3113	25,04	24,8075	1142.238
2 (l/mn)	48,89	47,7297	26,65	26,7416	1017.664
1 (l/mn)	51,06	50,84	31,87	30,409	743.6562

Tableau 4: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur contre-courant (cas idéal)

3.2 Cas réel :

- **Echangeur co-courant :**

Température (°c)	Tcs (exp)	Tcs (Num)	Tfs (exp)	Tfs (Num)	flux (watt)
3 (l/mn)	47,14	45,9033	24,45	25,11	1166.198
2 (l/mn)	48,52	46,8949	26,38	27,079	1032.39
1 (l/mn)	50,99	49,0033	32,03	30,6786	747.0465

Tableau 5: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur co-courant (cas réel)

- **Echangeur Contrecourant :**

Température (°c)	Tcs (exp)	Tcs (num)	Tfs (exp)	Tfs (Num)	flux (watt)
3 (l/mn)	47,14	45,9041	24,45	25,1223	1166.198
2 (l/mn)	48,52	46,9459	26,38	27,0882	1032.249
1 (l/mn)	50,99	49,0046	32,03	30,6934	746.8713

Tableau 6: les Température de sorties en fonction de débit dans un échangeur contre-courant (cas réel)

D'après les résultats qu'on a obtenu par la simulation numérique on remarque que le flux de chaleur augmente en augmentant le débit et en comparant les résultats numériques avec les résultats expérimental trouvés sur une bonde d'essai on remarque qu'on a obtenue presque les mêmes températures de sorties avec un écart vraiment petit, cette erreur est dû aux erreurs du matériels utilisé ainsi que le lecteur des valeurs de températures.

4 L'évolution de la température :

On a remarqué que les températures de sorties sont presque les mêmes, ils sont dans le même intervalle pour les trois débits donc on va illustrer que l'évolution de température pour le débit de 3(l/min) et comparer les formes des graphes de températures avec la théorie :

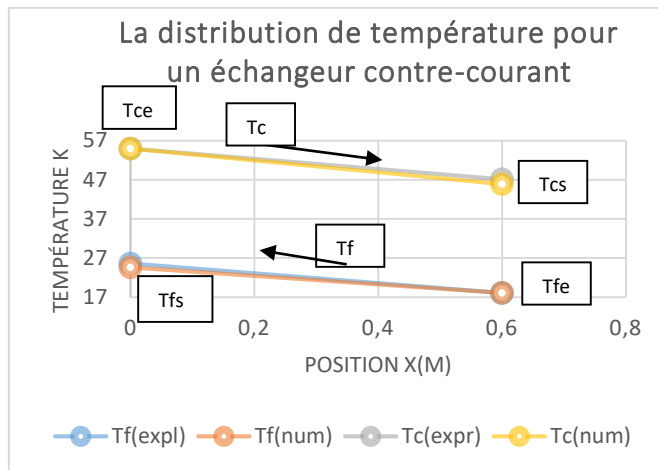


Figure 4: l'évolution des températures pour un échangeur contre-courant

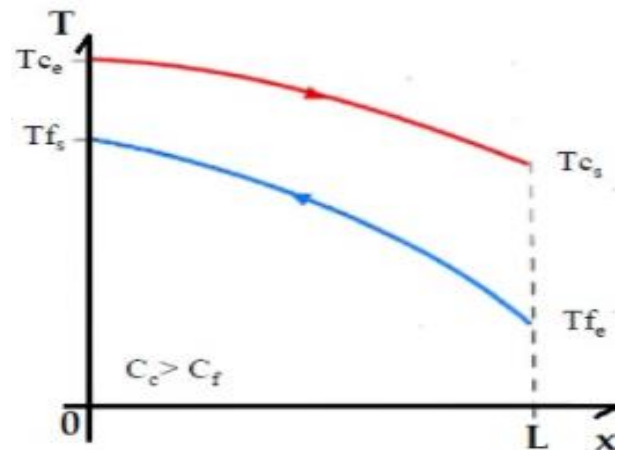


Figure 3: l'évolution des températures pour un échangeur contre-courant (théo)

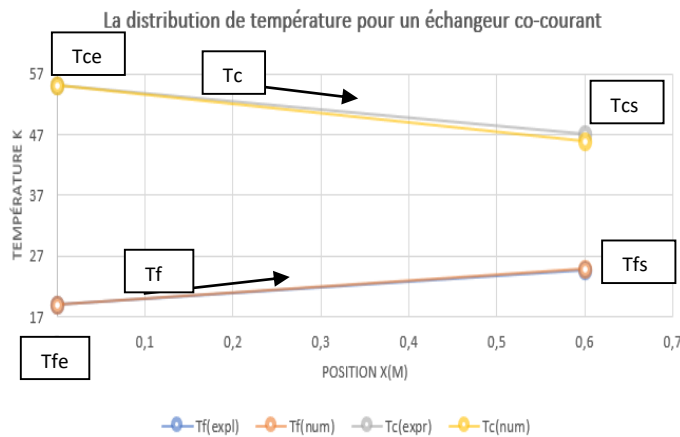


Figure 5: l'évolution des températures pour un échangeur co-courant

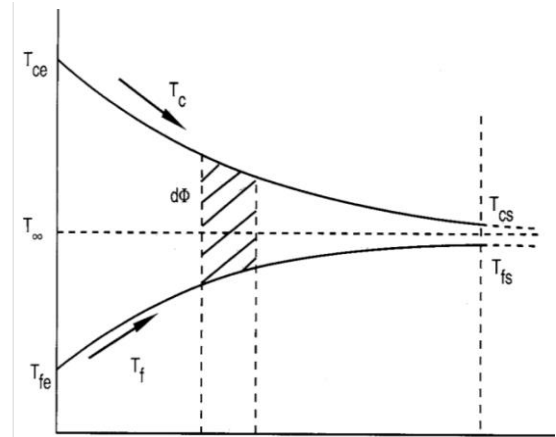


Figure 6: l'évolution des températures pour un échangeur co-courant (théo)

On remarque qu'on a eu les mêmes allures pour les deux modes de fonctionnement. On conclue qu'on peut utiliser ANSYS Fluent comme logiciel de simulation pour étudier ce type de problème parce qu'il donne des bonnes résultats.

Conclusion :

On a remarqué dans ce TP que les résultats obtenus expérimentalement et numériquement sont proches des résultats théoriques avec un l'écart de température très petit, la différence remarquée entre les valeurs de température est dû aux incertitudes de mesure et la précision du matériels utilisés.

On constate que le meilleur mode de fonctionnement est le contre-courant parce que le $\Delta T_{ml, contre-courant} > \Delta T_{ml, co-courant}$ donc le transfert thermique entre les deux fluides est important dans le cas d'un échangeur contre-courant.