

Séance de Travaux Dirigés 8

Efficacité et matrice de transfert d'un échangeur

Objectifs

1. Mettre en place un modèle couplé fluide/thermique appliqué à un échangeur thermique,
2. Mener une analyse 3D limitée à un secteur de 45 degrés en profitant des différents plans de symétrie,
3. Déterminer l'efficacité η de l'échangeur et en déduire sa matrice de transfert \mathcal{H} ,
4. Extraire la carte du coefficient HTC sur les parois de l'échangeur.

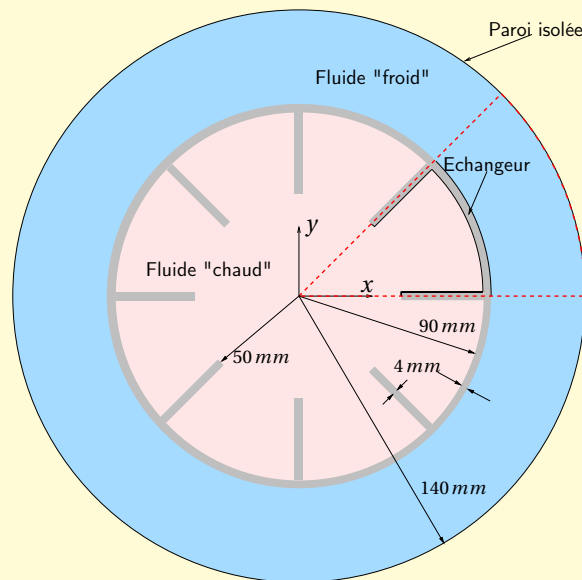


Figure 1 – Plan de coupe (x, y) de l'échangeur thermique

L'ailette est une enveloppe cylindrique (rayon interne de 90 mm et d'épaisseur 4 mm) présentant un jeu d'ailettes sur sa partie interne pour augmenter la surface d'échange avec le fluide *chaud*.

L'analyse sera menée en stationnaire et le domaine en 3 dimensions en considérant un secteur de 45° (voir délimitation en rouge pointillés) pour une longueur mesurée sur l'axe z de 0.6 m.

L'efficacité (voir supports de cours dédiés) est donnée par : $\eta = \frac{T_{e,1} - T_{s,1}}{T_{e,1} - T_{e,2}}$ avec $K_2 > K_1$.

et la matrice de transfert d'après :

$$\begin{pmatrix} T_{s,1} \\ T_{s,2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \eta & \eta \\ \eta \left(\frac{\min(K_i)}{\max(K_i)} \right) & 1 - \eta \left(\frac{\min(K_i)}{\max(K_i)} \right) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} T_{e,1} \\ T_{e,2} \end{pmatrix} \quad \text{avec} \quad K_i = q_{m,i} c_{p,i},$$

où $T_{e,i}$ désigne la température d'entrée du fluide i et $T_{s,i}$ la température de sortie. On note $K_i [W/K]$ le débit calorique avec $q_{m,i}$ et $c_{p,i}$ dénotant respectivement le débit massique et la capacité calorifique du fluide i .

Par convention, le fluide *chaud* est indicé (1) et le fluide *froid* est indicé (2).

	Fluide	$T_{e,i} [^\circ C]$	$T_{s,i} [^\circ C]$	$\rho [kg/m^3]$	$c_p [J/kg/K]$	$S [m^2]$	$v [m/s]$
Fluide <i>Chaud</i>	Air	80	à déterminer	1.225	1004	0.003	[0.01 – 0.05]
Fluide <i>Froid</i>	Air	10	à déterminer	1.225	1004	0.0042	[0.01 – 0.05]

Le matériau utilisé pour l'échangeur est du cuivre (CU, *copper*) de propriétés :

$\rho = 8940 kg/m^3$, $C = 386 J/kg/K$ (capacité calorifique) et $\kappa = 398 W/m/K$ (conductivité).

Libre à vous de choisir le sens de circulation des fluides : parallèles ($\uparrow\uparrow$) ou à contre-courants ($\uparrow\downarrow$).

Important :

1. afin de rester dans les limites du *raisonnable* en termes de tailles de maillages et temps CPU de calcul, la longueur du domaine a volontairement été limitée ainsi que les débits pour favoriser les échanges sur une si courte distance.
2. cette séance s'appuie sur les acquis de la séance précédente qui portait sur la mise en place d'un modèle couplé aérodynamique/thermique avec échanges convectifs de type forcé et naturel : vous y reporter si nécessaire.
3. ce tutoriel est par conséquent volontairement plus succinct pour *tester* votre degré d'autonomie... Il vous appartient notamment de proposer des solutions d'affichage pour le post-traitement.

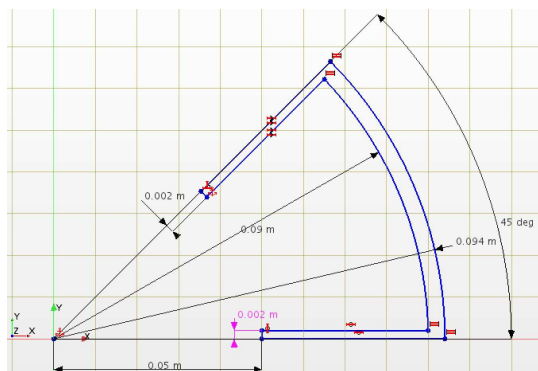
Création de la CAO complète

Celle-ci est constituée de trois composants :

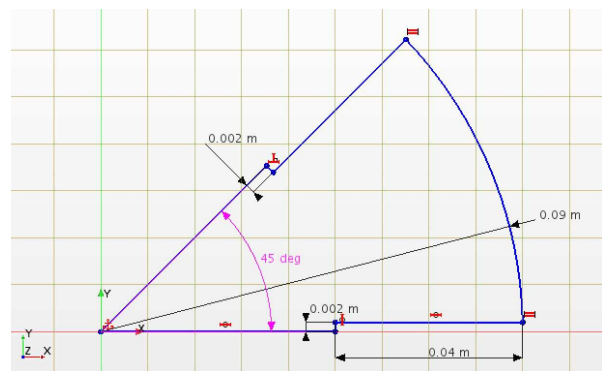
- Echangeur : enveloppe cylindrique (rayon interne de 90 mm et d'épaisseur 4 mm) présentant un jeu d'ailettes sur sa partie interne,
- Fluide *chaud* : volume d'écoulement interne à l'échangeur,
- Fluide *froid* : volume d'écoulement (espace annulaire) externe à l'échangeur.

La création de la CAO s'appuie sur les étapes suivantes communes aux trois composants :

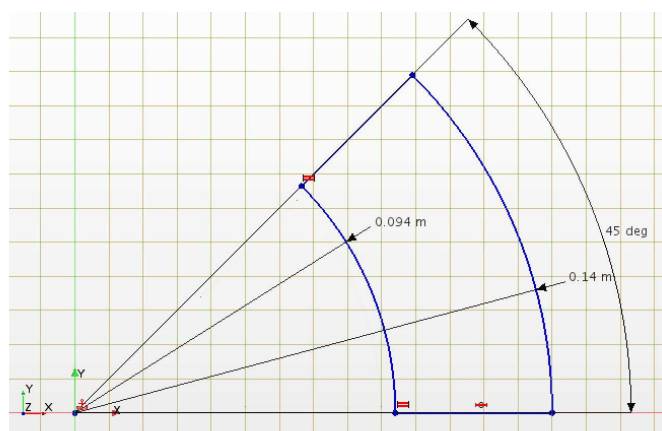
1. création d'un *sketch* dans le plan xy ,
2. nommer le *sketch* en fonction du domaine considéré,
3. extrusion selon z sur une distance de 0.6 m (**retenir l'option *None* pour le mode *Interaction***),
4. nommer l'extrusion en conséquence,
5. nommer toutes les surfaces.



(a) Echangeur



(b) Fluide chaud



(c) Fluide froid

Conseil(s) pratique(s) :

- commencer par la CAO de l'échangeur. Il vous suffit ensuite de dupliquer le *sketch* (clic-droit...) et de *corriger* les frontières en vous appuyant sur les frontières communes à l'échangeur.

- vous pouvez aussi démarrer la session en téléchargeant sur Moodle, le fichier .sim dans lequel la CAO de l'échangeur est déjà réalisée.

A l'issue de la phase de CAO, vous devriez obtenir une CAO 3D telle qu'illustrée ci-dessous :

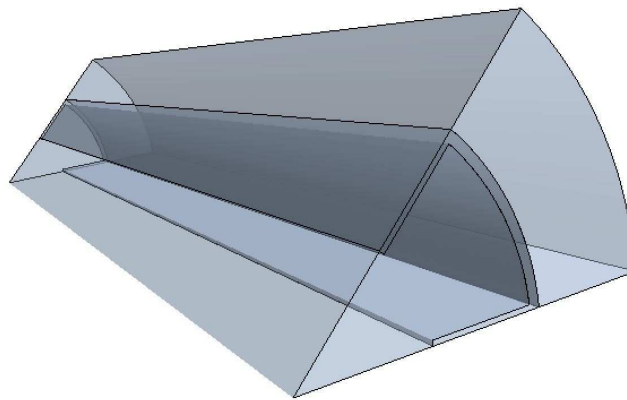


Figure 2 – Vue 3D de la CAO complète (avec effet de transparence)

Les étapes suivantes sont classiques :

- ▷ Création des **Geometry Part** pour les 3 domaines,
- ▷ Création des **Regions** en une seule fois en cochant les 3 domaines.

Vérifier l'existence des deux interfaces de couplage fluide/thermique dans l'onglet **Interface** :

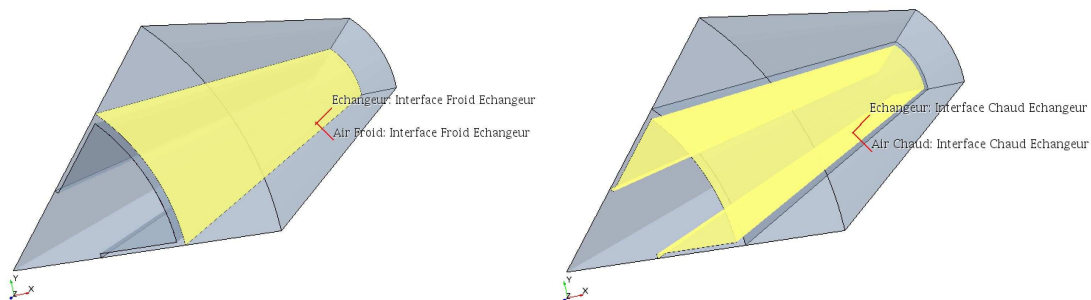


Figure 3 – Interfaces (2) de couplage fluide/thermique

Créations des maillages

Les maillages s'appuieront sur les points suivants :

- ▷ recours au mode **Automated Mesh**,
- ▷ un maillage commun aux deux fluides et un maillage pour l'échangeur,
- ▷ sélectionner obligatoirement l'option **Surface Remesher** pour garantir la meilleure qualité de maillage volumique,
- ▷ privilégier le type tétraèdre afin de limiter leurs tailles.
- ▷ sélectionner l'option **Prism layer** pour les deux fluides (pas utile pour l'Echangeur),
- ▷ ne pas oublier de définir les conditions aux limites avant de générer les maillages...

Les valeurs des paramètres à considérer sont données dans le tableau ci-dessous :

	Fluides	Echangeur
Base Size	0.06 m	0.005 m
Surface Growth rate	1.3	1.3
Number of Prism Layers	5	-
Prism Layer Stretching	1.5	-

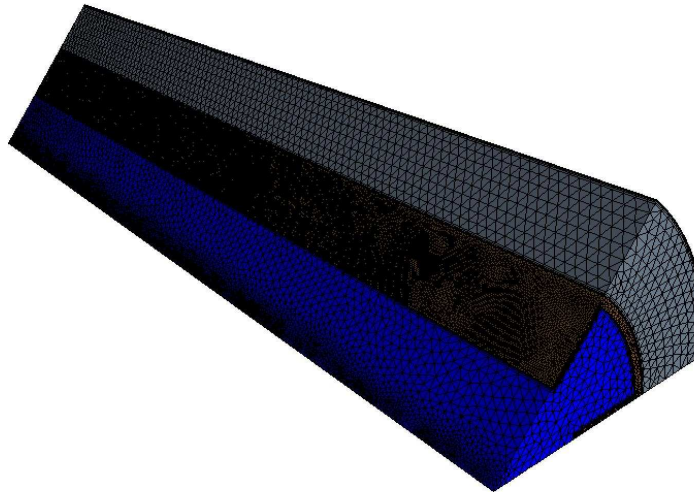


Figure 4 – Vue 3D des maillages

Mise en données du problème

Le choix des modèles est assez similaire à celui du précédent TD et doit néanmoins respecter les points suivants :

- une **Physics Continuum** pour chaque domaine (soient 3 en tout) en les renommant spécifiquement : il n'est en effet pas possible d'initialiser de la même façon les deux domaines fluides si l'échangeur est considéré à contre-courants,
- approche stationnaire,
- les fluides peuvent être considérés comme incompressibles en raison des faibles vitesses et en l'absence de convection dite naturelle,
- sélectionner/vérifier systématiquement l'option **Coupled Energy** pour associer l'équation de l'énergie,
- modèle de turbulence de type Spallart-Almaras pour réduire le nombre d'inconnues,
- associer le **Physics Continuum** correspondant à chaque **Region**,
- vérifier ou corriger le cas échéant les propriétés matériaux (fluide et structure) en accord avec les données de l'exercice,
- renseigner les valeurs des conditions aux limites : les vitesses d'entrée pour les deux fluides seront supposées identiques et comprises entre 0.01 m/s et 0.05 m/s .

Initialiser le calcul et déployer les *Scalar Scenes* de votre choix.

Calcul

Il est possible de lancer séparément chacune des trois physiques. En règle générale la convergence des écoulements est la plus longue et la plus coûteuse et il peut être intéressant de les calculer séparément lors d'une première phase dite *découplée* puis, lors d'une seconde phase dite *couplée*, de les réactiver toutes pour mener à bien l'analyse couplée. La façon de procéder est la suivante :

- décocher l'option **Active** dans l'onglet **Continua > Physics...** de la physique à *désactiver*,
- ne pas oublier, après convergence, de ré-activer les physiques *désactivées* pour la mise en place du couplage.

Pour accélérer le calcul, ne pas hésiter à augmenter (20, 50, 100...) la valeur du nombre de Courant dans **Solvers > Coupled Implicit**

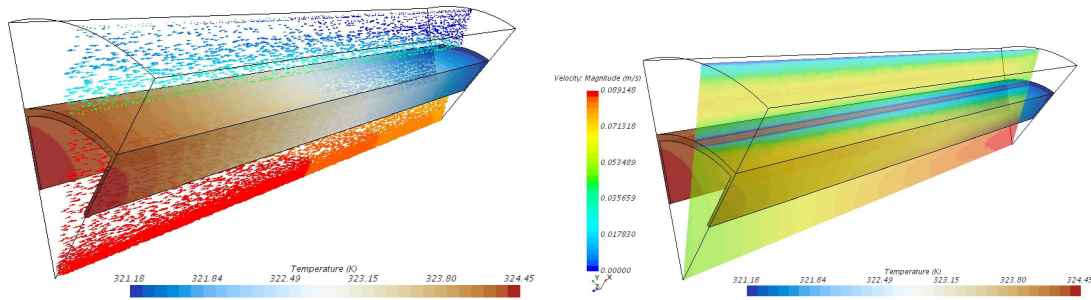


Figure 5 – Post-traitements avec extraction d'un plan et jeux de transparence

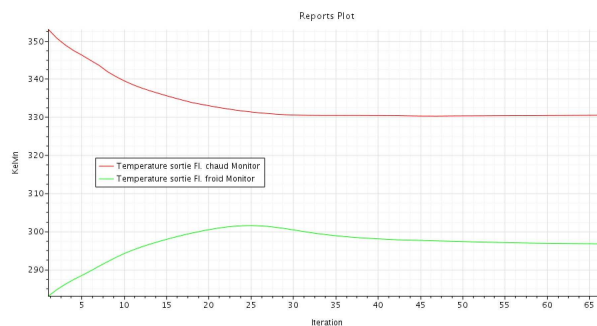
Post-traitement

Parmi les données fondamentales à vérifier, vous mettrez en œuvre des options pour vérifier :

- ▷ que l'énergie cédée par le fluide *chaud* est intégralement récupérée par le fluide *froid*,
- ▷ au cours des itérations l'évolution des températures moyennes en sortie $T_{s,1}$ et $T_{s,2}$,
- ▷ **extraire les champs du coefficient h (HTC) sur les deux faces de l'échangeur**,
- ▷ que les profils axiaux de températures sont cohérents (voir cours).

Heat Transfer of Boundary Heat Transfer on Volume Mesh	
Part	Value (W)
Air Froid: Entree	-7.346731e+01
Air Froid: Sortie	7.691351e+01
Total:	3.446199e+00

Figure 6 – Bilan des échanges

Figure 7 – Evolution au cours des itérations des températures moyennes en sortie $T_{s,1}$ et $T_{s,2}$

Enfin, vous déterminerez, une fois le calcul convergé, le rendement de l'échangeur :

$$\eta = \frac{T_{e,1} - T_{s,1}}{T_{e,1} - T_{e,2}},$$

ainsi que sa matrice de transfert telle que :

$$\begin{pmatrix} T_{s,1} \\ T_{s,2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \eta & \eta \\ \eta \left(\frac{\min(K_i)}{\max(K_i)} \right) & 1 - \eta \left(\frac{\min(K_i)}{\max(K_i)} \right) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} T_{e,1} \\ T_{e,2} \end{pmatrix} \quad \text{avec} \quad K_i = q_{m,i} c_{p,i},$$

après avoir calculé les valeurs des débits caloriques K_1 et K_2 .

Il ne vous reste plus qu'à étudier l'influence de la vitesse des écoulements entrants sur ces paramètres !