

« Intensification des transferts dans les échangeurs thermiques et multi-fonctionnels : techniques, outils d'analyse et optimisation »

Intensification des échanges par voie passive en écoulements laminaire ou faiblement turbulent

Daniel BOUGEARD, Serge RUSSEIL, Jean-Luc HARION

EMDouai, EI, F-59500 Douai, France

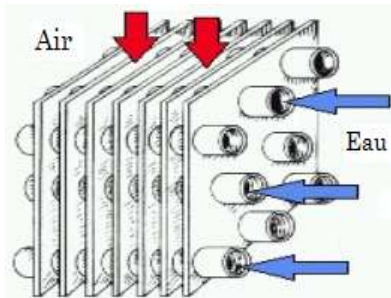
Contexte et enjeux – Plan

Intensification des échanges convectifs

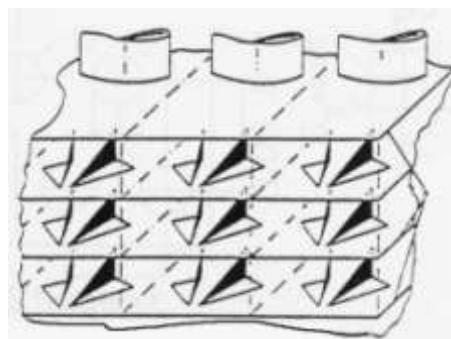
- Accroître les performances thermo-aérauliques des échangeurs
- Qualité de mélange dans les échangeurs multifonctionnels
- Diminution de quantité de matière nécessaire à la fabrication du composant (coût matière)

Plan

- ***Surfaces ailetées : échangeurs multitubulaires***
- ***Intérieur tube : macro-déformations et promoteurs de tourbillons***
- ***Contrôle passif dynamique basé sur l'interaction fluide/structure***



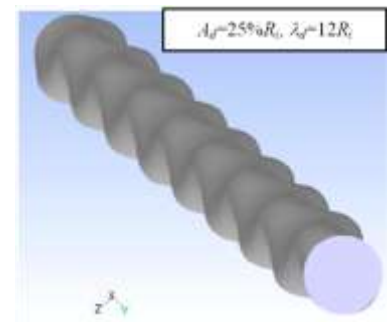
Tubes et ailettes continues



Promoteurs de tourbillons



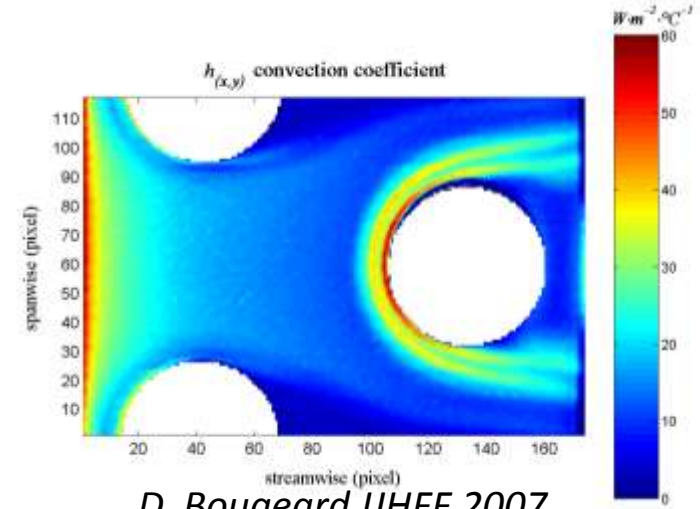
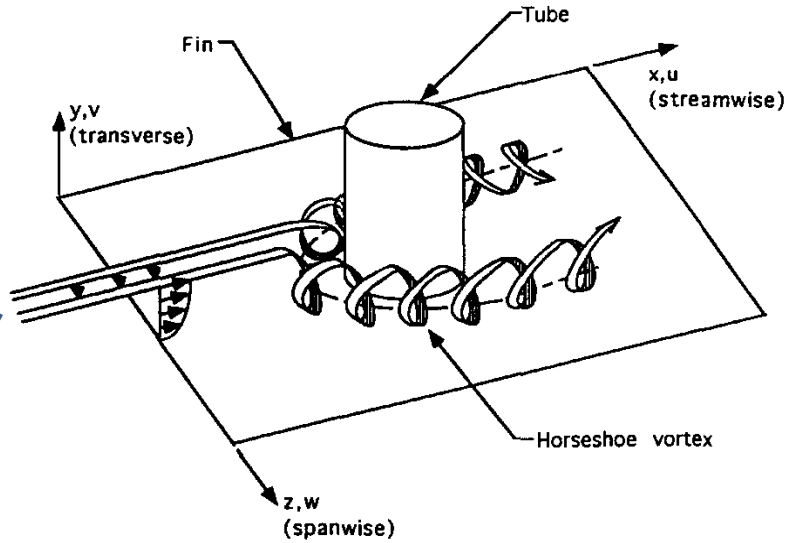
Échangeurs réacteurs



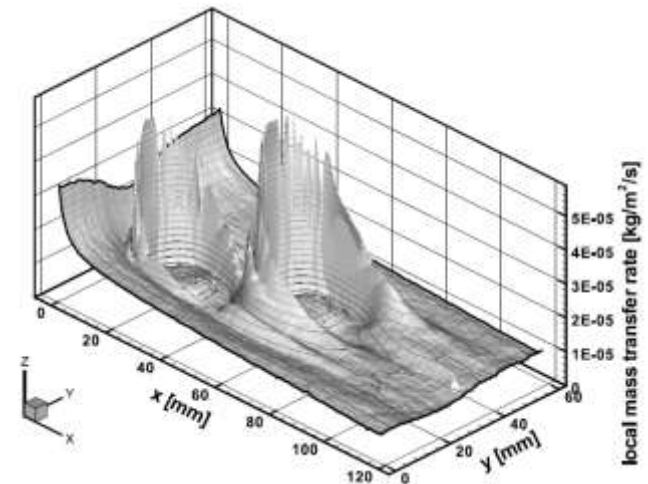
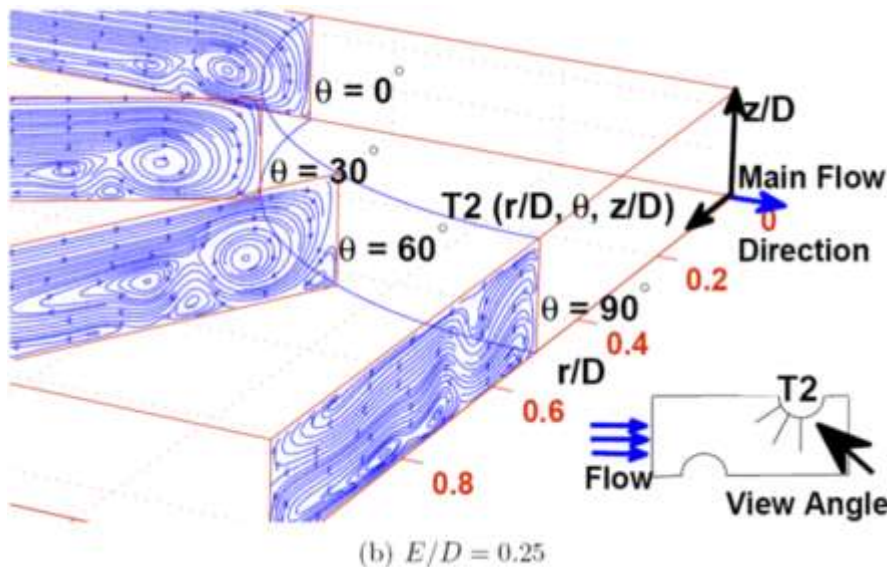
Tubes déformés

Surfaces ailetées : décroissance tourbillonnaire angulaire des HSV dans les échangeurs tubes ronds ailetés

Horse Shoe Vortex



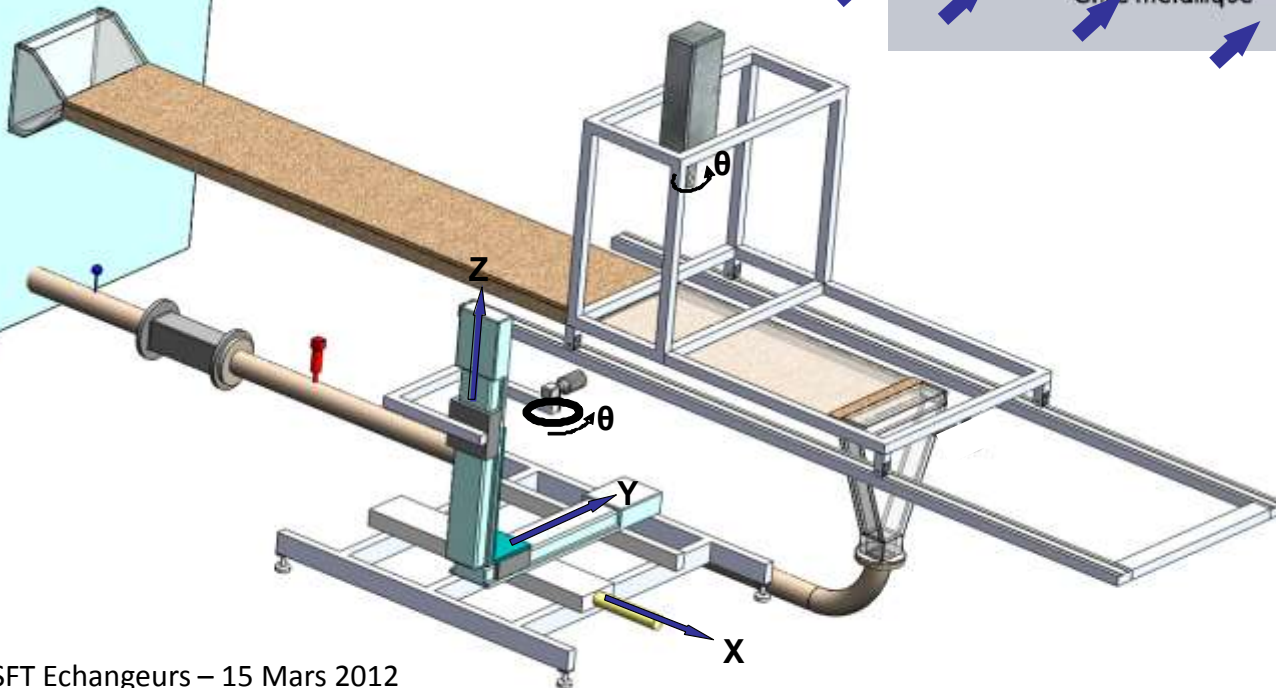
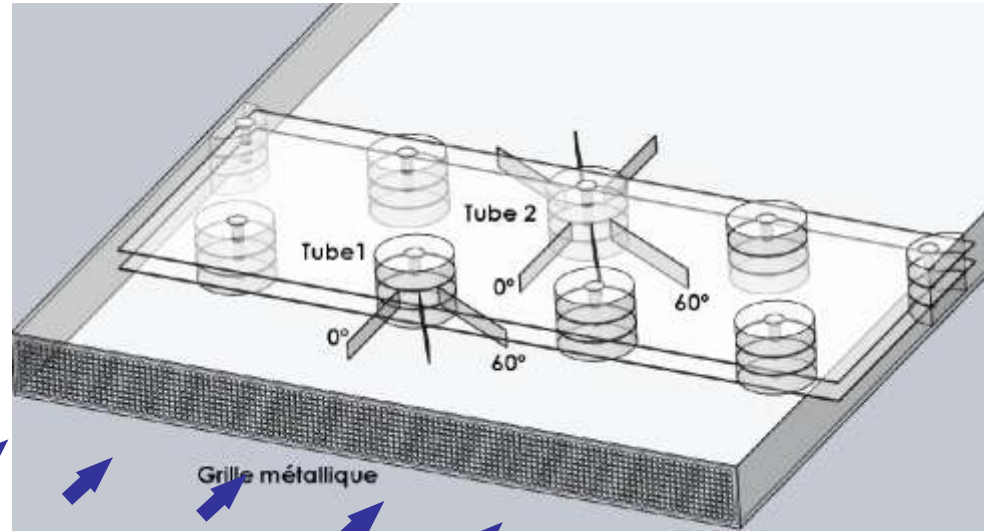
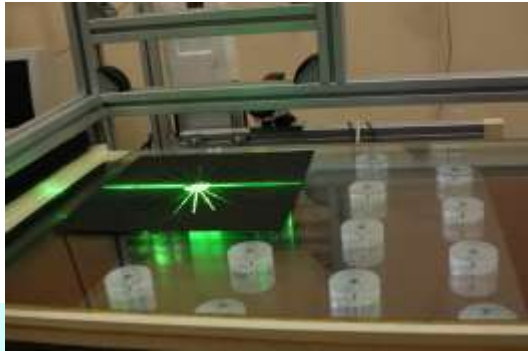
D. Bougeard IJHFF 2007



KIM et al IJHMT 2003

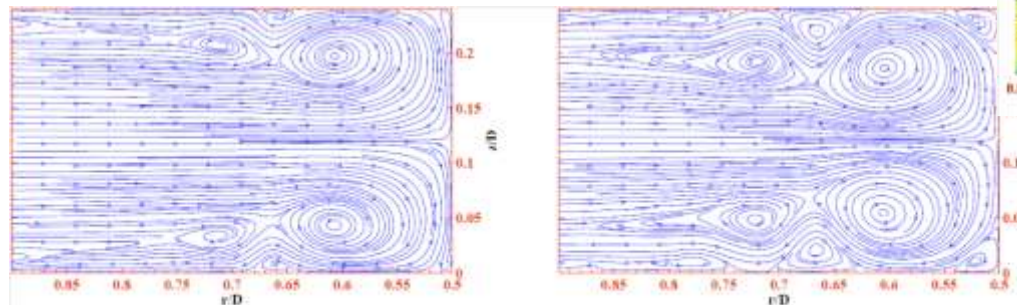
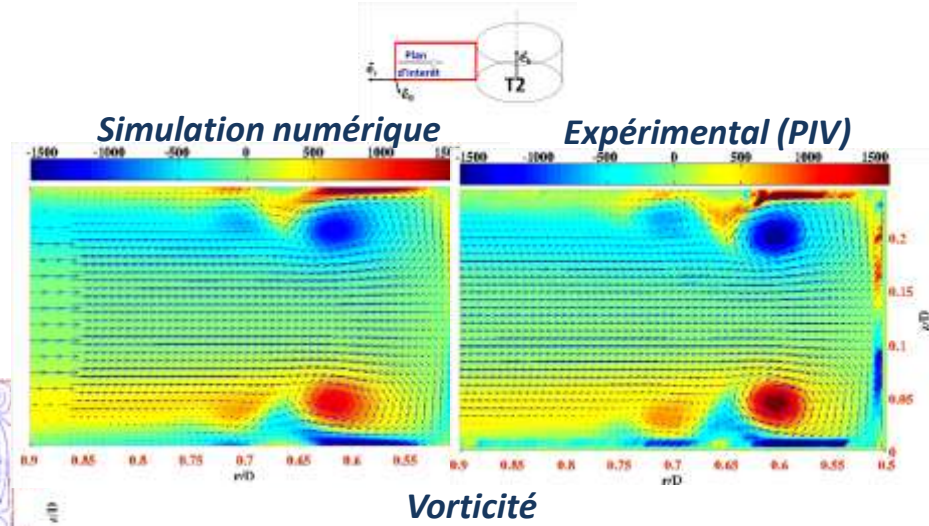
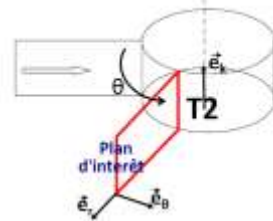
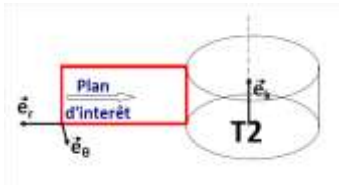
Surfaces ailetées : décroissance tourbillonnaire angulaire des HSV dans les échangeurs tubes ronds ailetés

Investigation par PIV



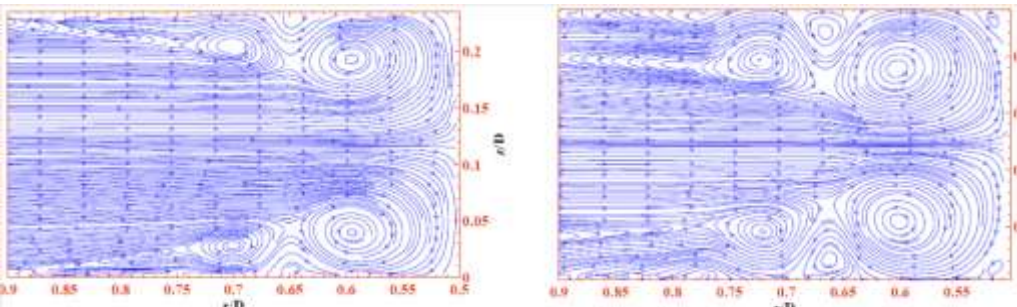
Surfaces ailetées : décroissance tourbillonnaire angulaire des HSV dans les échangeurs tubes ronds ailetés

Résultats



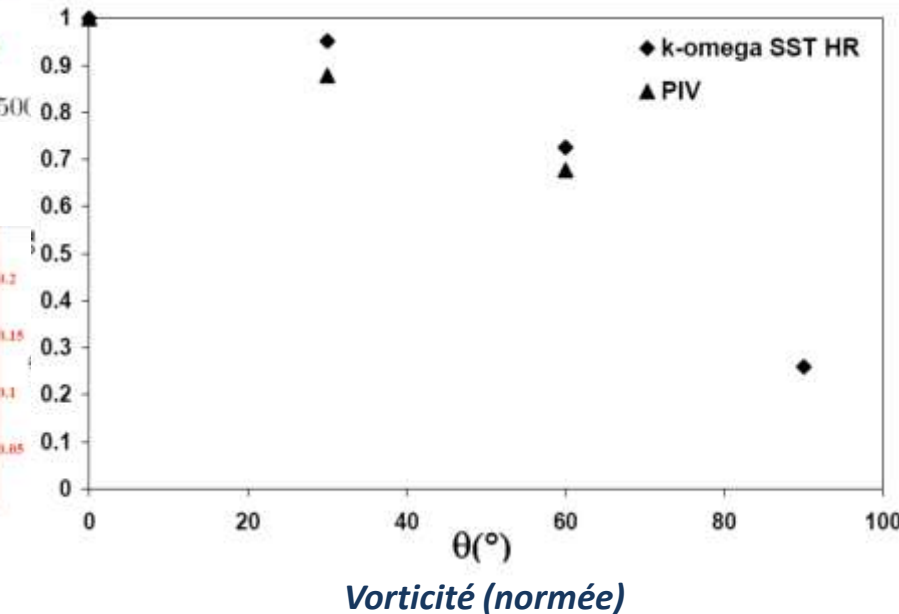
(g) $T2_{\theta=0^\circ}$, $k-\omega$ SST LR $Re_D = 1500$ (h) $T2_{\theta=60^\circ}$, $k-\omega$ SST LR $Re_D = 1500$

Simulation numérique



(i) $T2_{\theta=0^\circ}$, PIV $Re_D = 1500$ (j) $T2_{\theta=60^\circ}$, PIV $Re_D = 1500$

Expérimental (PIV)



Surfaces ailetées : échangeurs multitubulaires – influence du nombre de rang

Analyse synergétique

Field synergy principle:

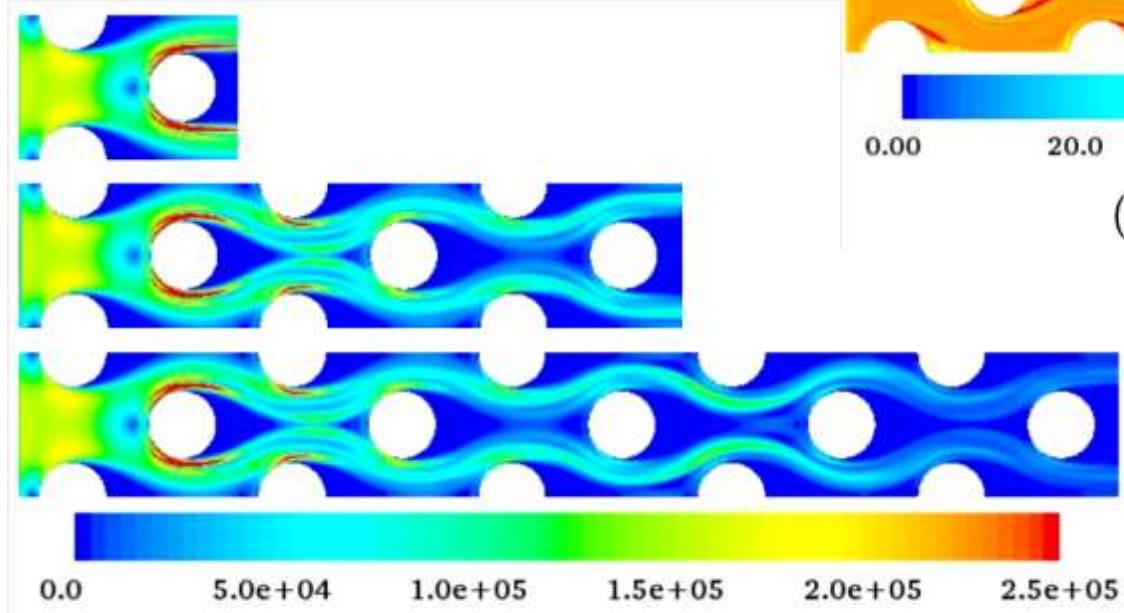
Z.Y. Guo, W.Q. Tao, R.K. Shah, The field synergy (coordination) principle and its applications in enhancing single phase convective heat transfer, IJHMT2005,

$$\underbrace{\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{\rho c_p \vec{U} \cdot \text{grad} T}_{(2)} = \underbrace{\lambda_{eff} \text{div}(\text{grad} T)}_{(3)}$$

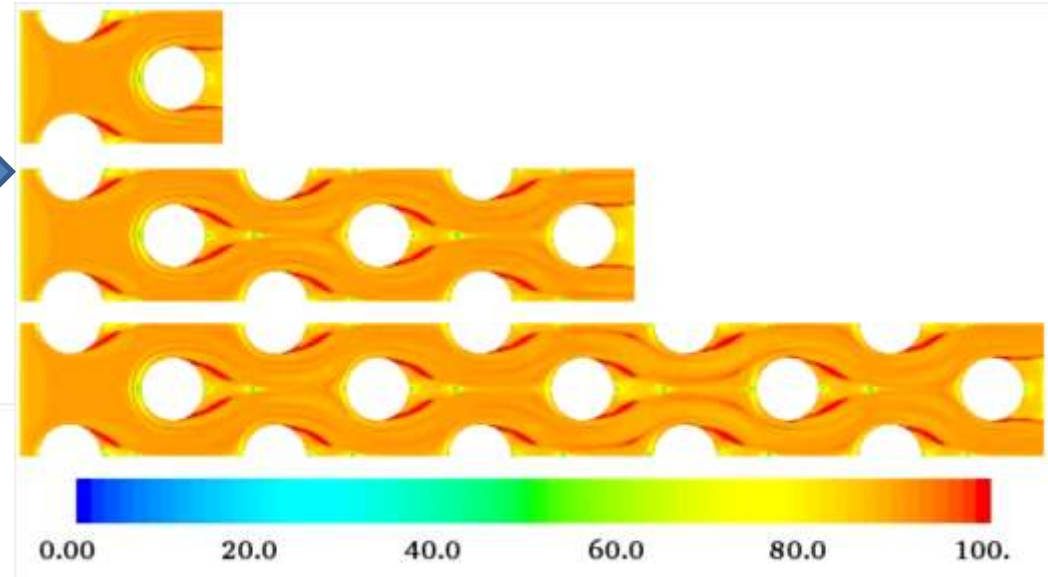
$$M \cos \theta = \alpha \text{div}(\text{grad} T)$$

$$\theta = \arccos \left(\frac{\vec{U} \cdot \text{grad} T}{M} \right)$$

$$M = \left\| \vec{U} \right\| \cdot \left\| \text{grad} T \right\|$$



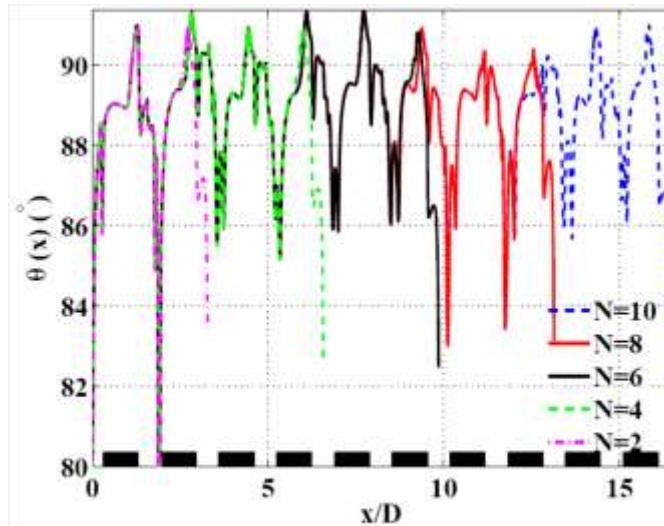
(b) Module de production M_θ (Ks^{-1})



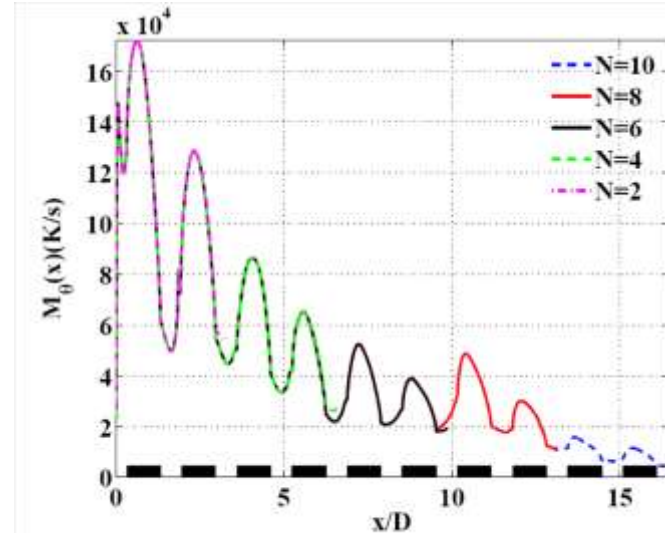
(a) Angle de synergie θ ($^\circ$)

Surfaces ailetées : échangeurs multirangs, analyse synergétique

Thermique

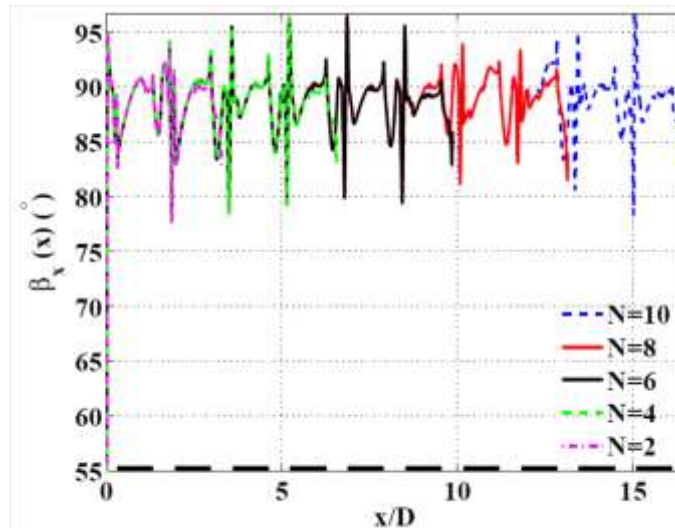


(a) Moyenne transversale de θ ($^{\circ}$)

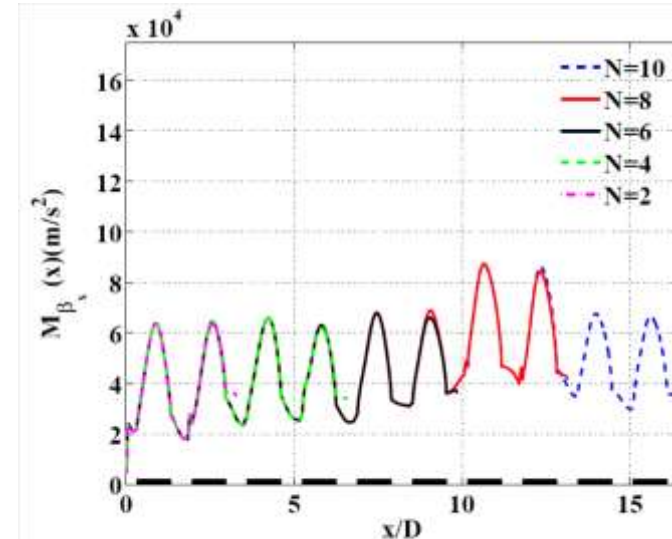


(b) Moyenne transversale de M_{θ} (K s^{-1})

Dynamique

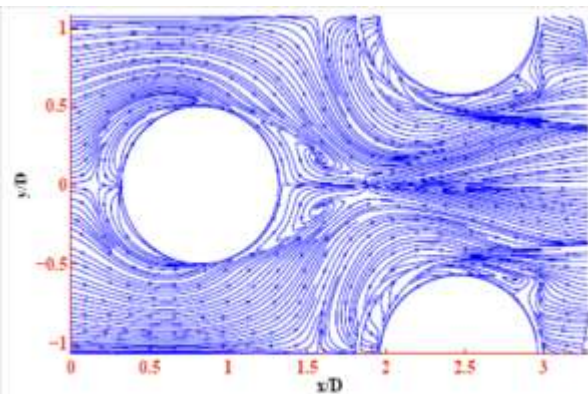
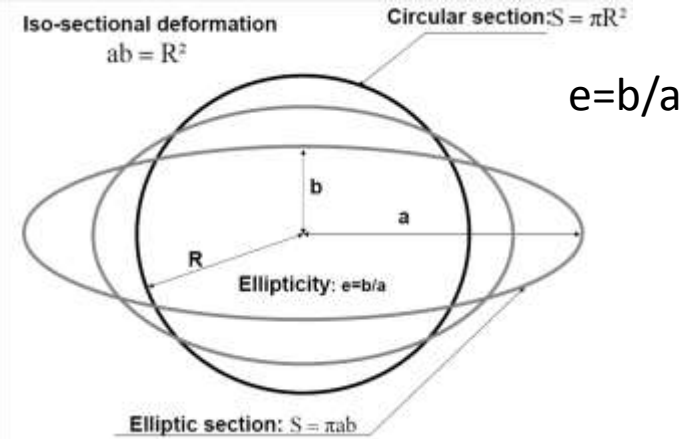
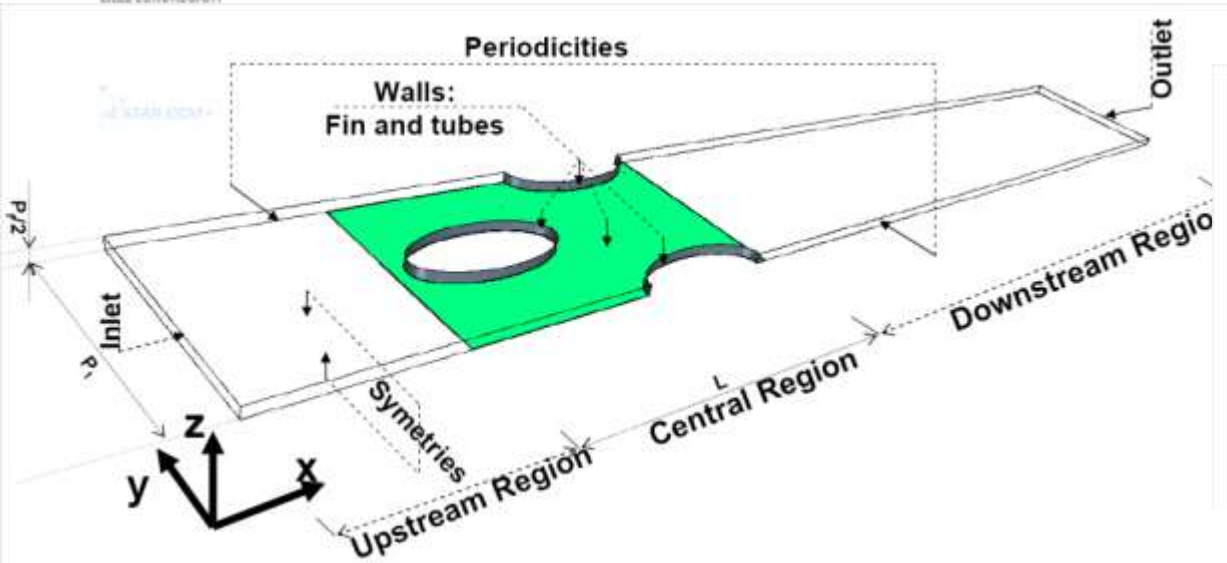


(c) Moyenne transversale de β_x ($^{\circ}$)

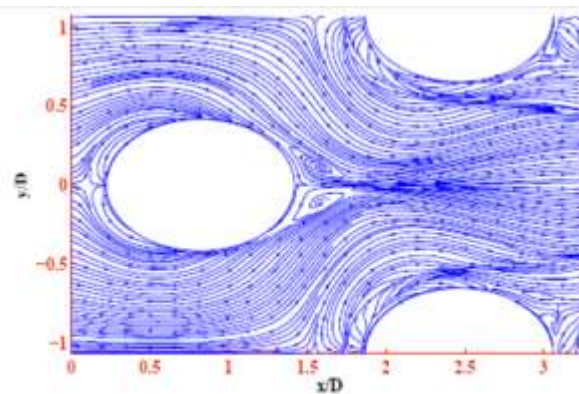


(d) Moyenne transversale M_{β_x} (m s^{-2})

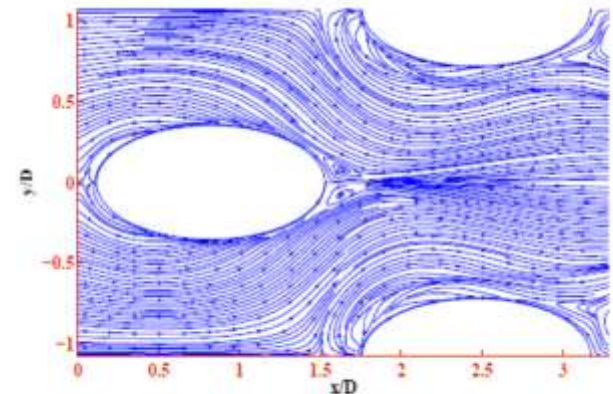
Influence ellipticité



(a) $e = 1.0$



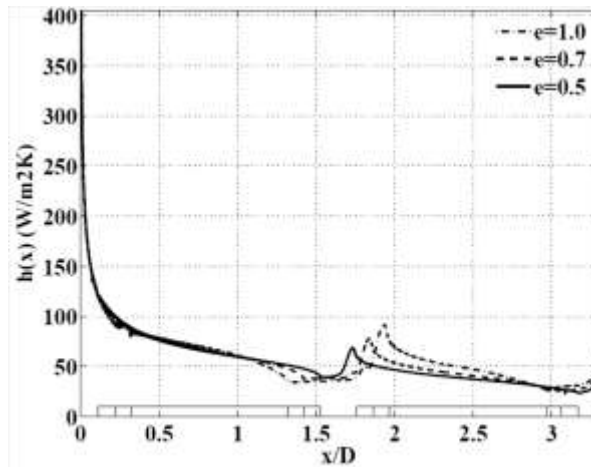
(b) $e = 0.7$



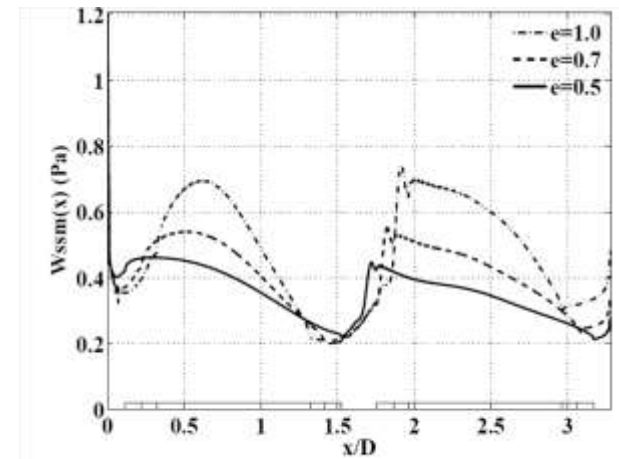
(c) $e = 0.5$

Influence ellipticité

Premier principe



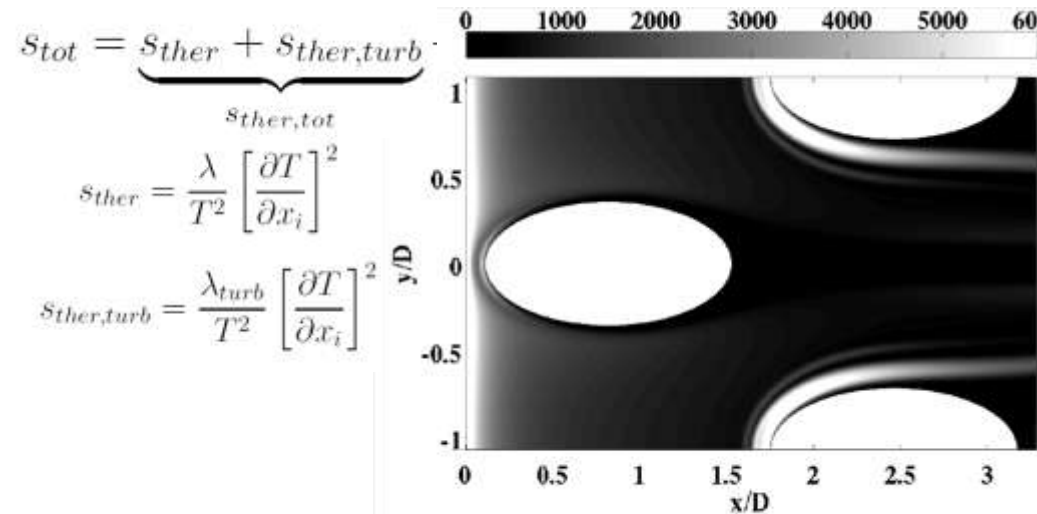
(b) Heat transfer coefficient



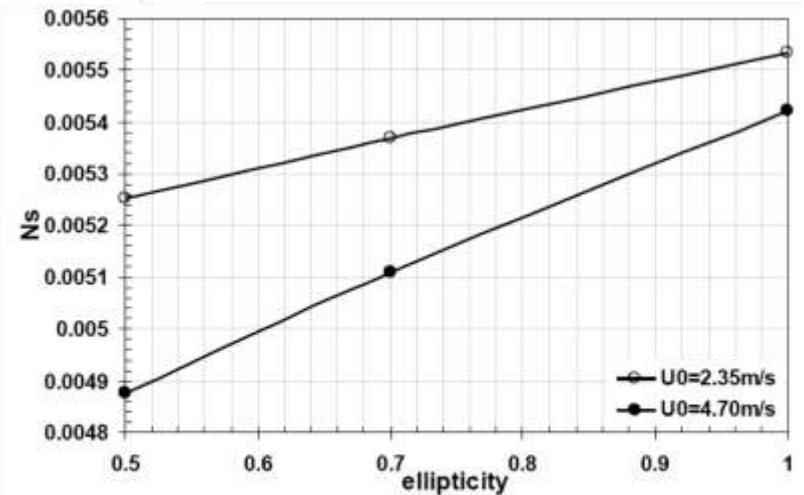
(a) Wall shear stress magnitude

Second principe

$$N_s = \frac{T_w S_{tot}}{Q}$$

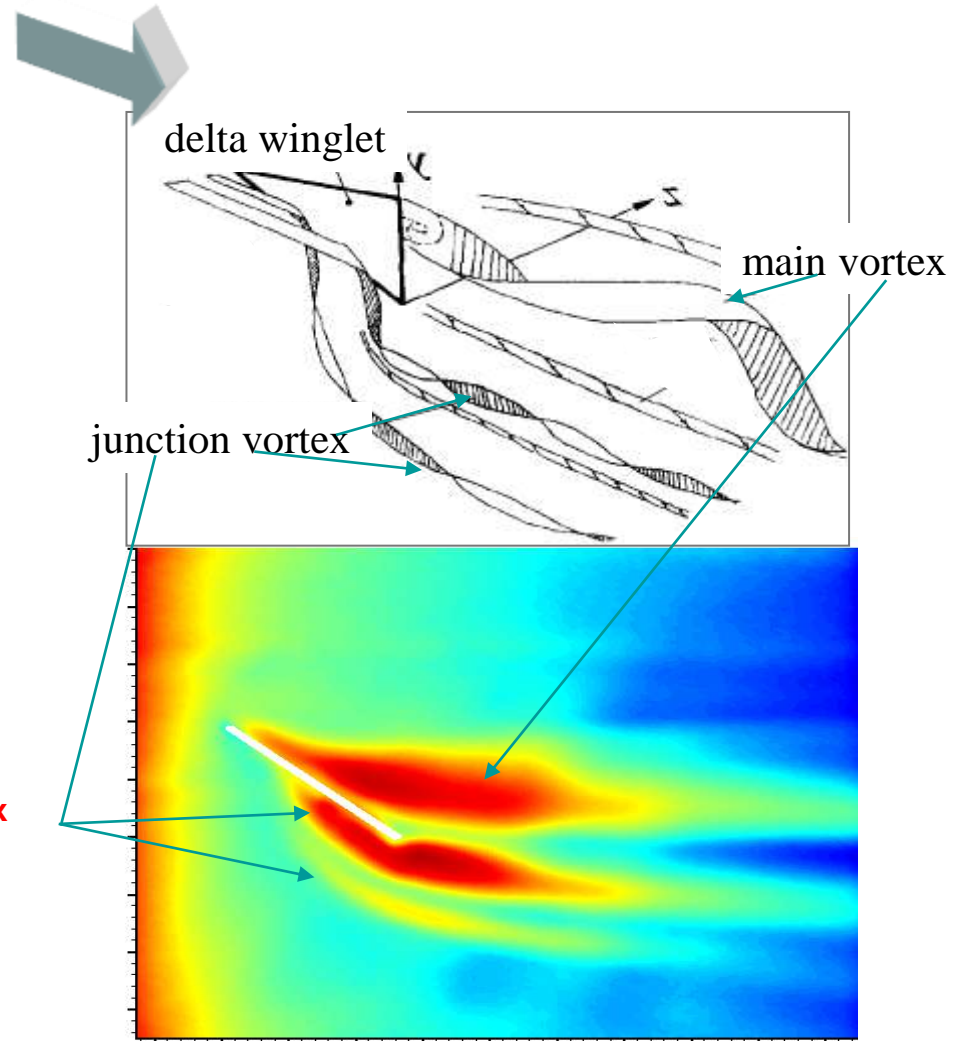
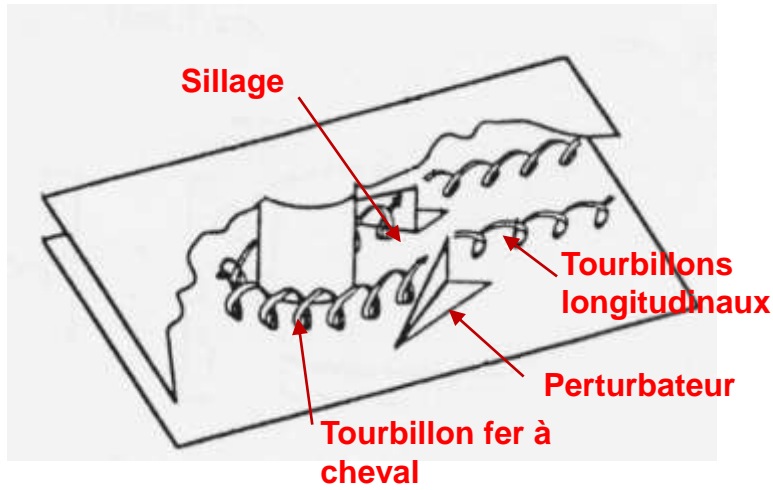
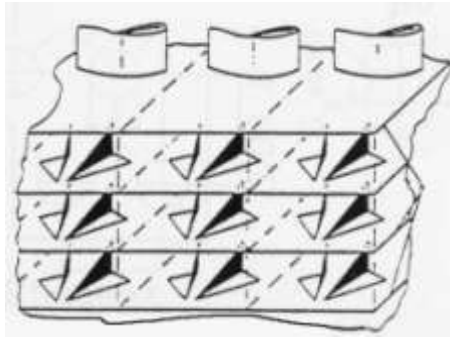


(a) $S_{ther,tot}$ (W/m³K)

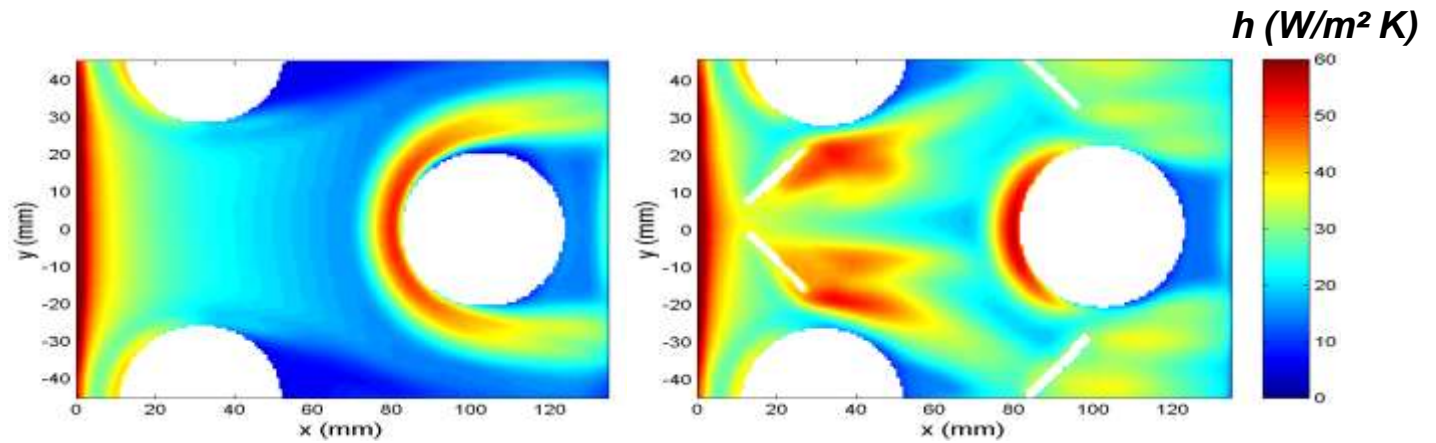


(c) Entropy production number

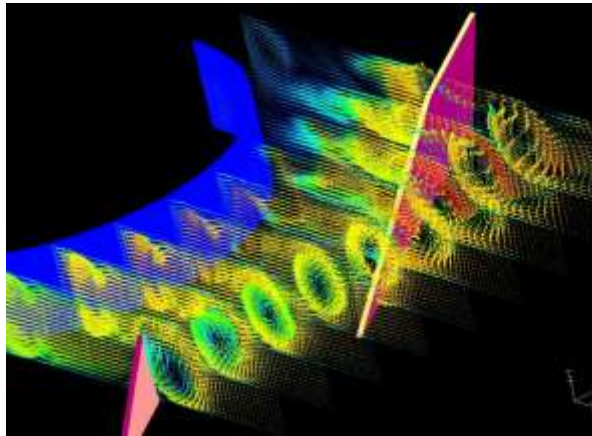
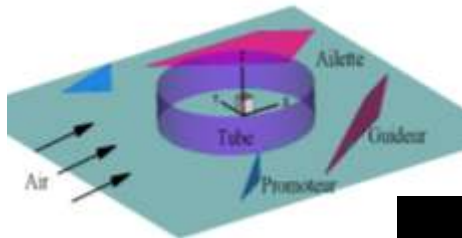
Surfaces ailetées : promoteurs de tourbillons



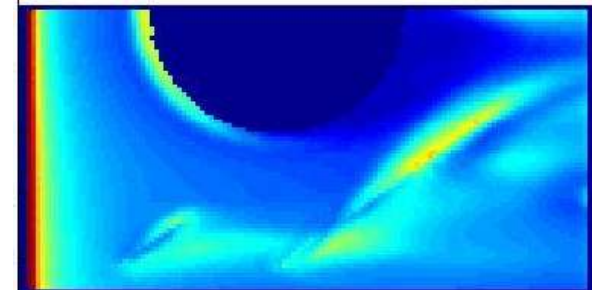
Surfaces ailetées : promoteurs de tourbillons



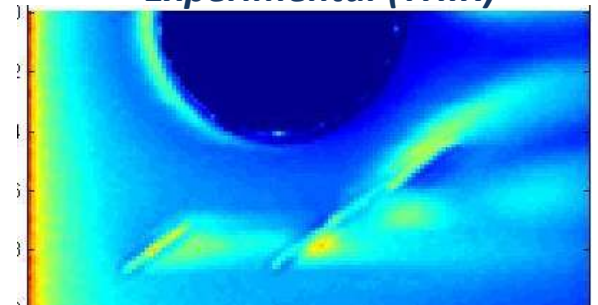
Promoquideur



Simulation numérique

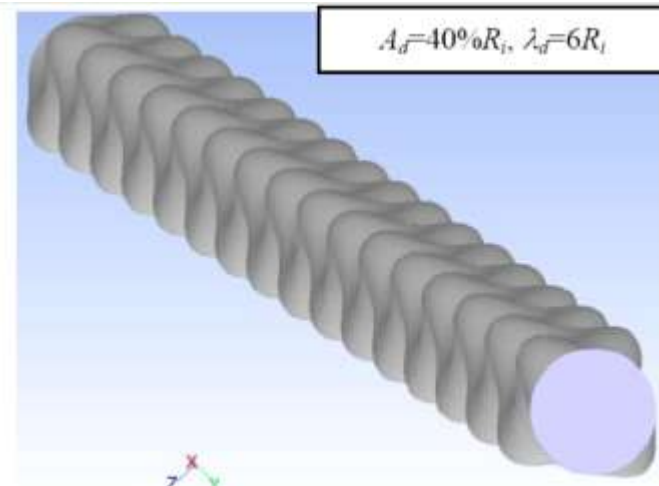
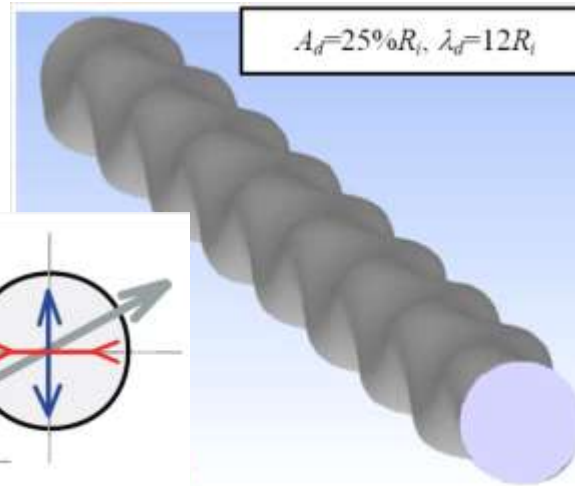


Expérimental (THIR)

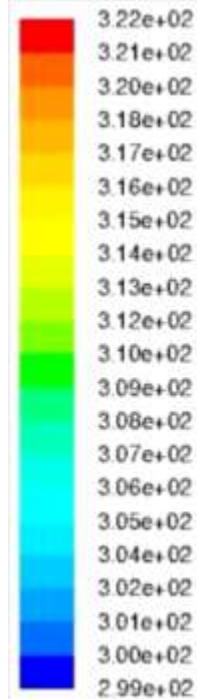
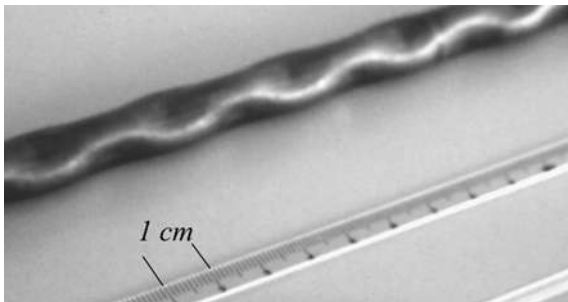
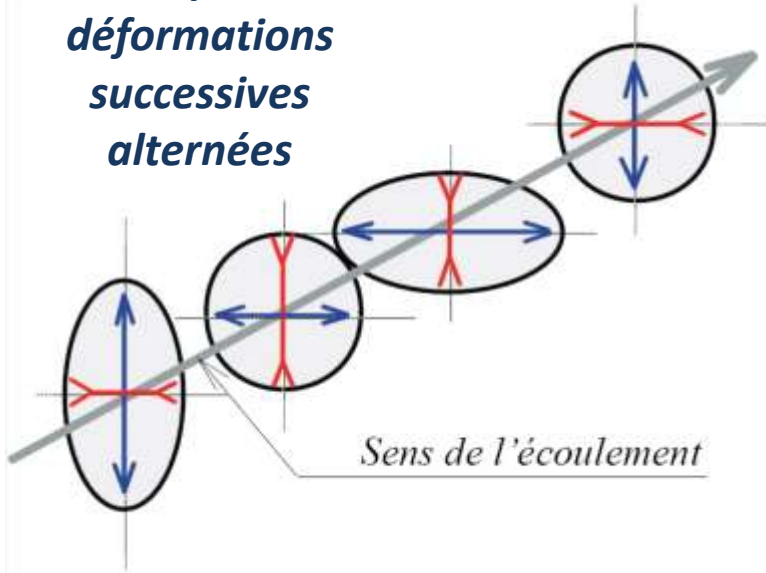


Intérieur tube : macrodéformations de parois

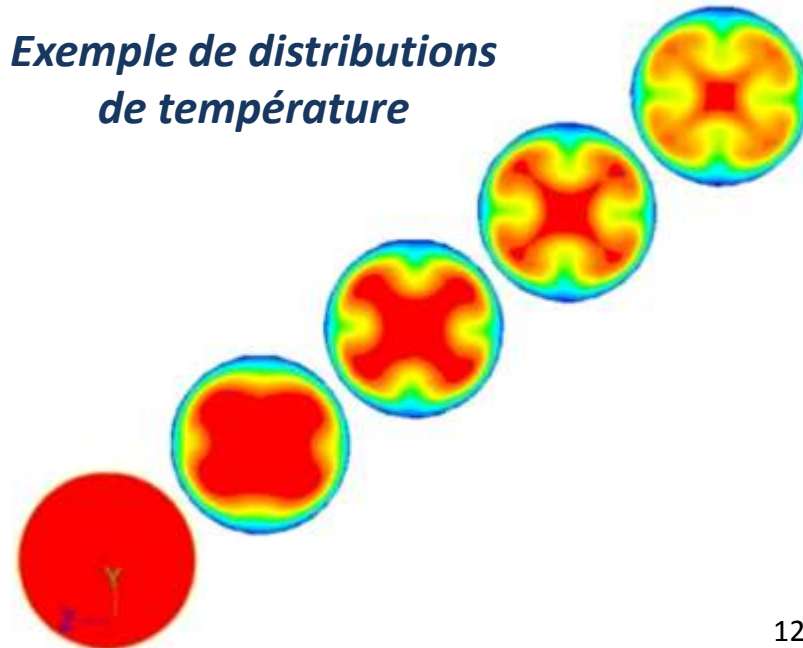
Exemples de géométries ($A_{d\acute{e}f}$; $\lambda_{d\acute{e}f}$)



Principe des déformations successives alternées

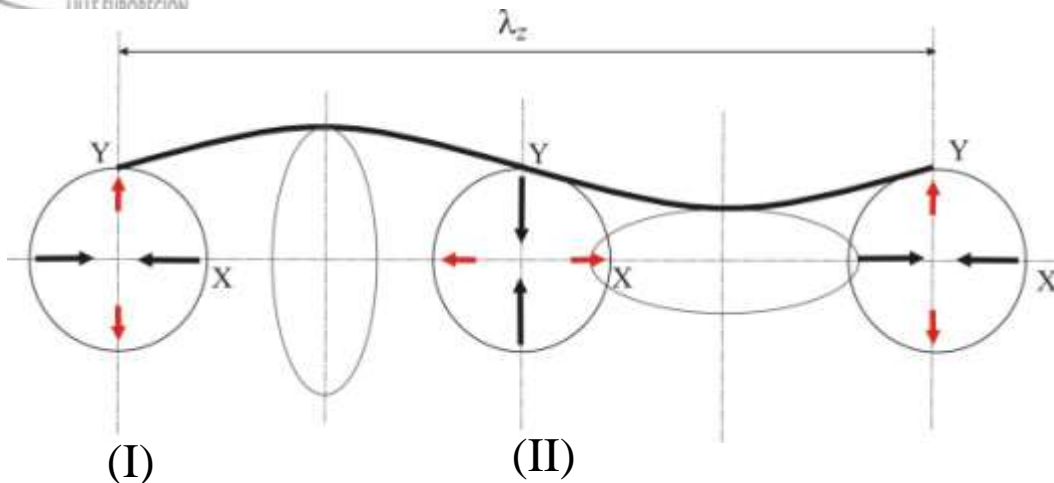


Exemple de distributions de température

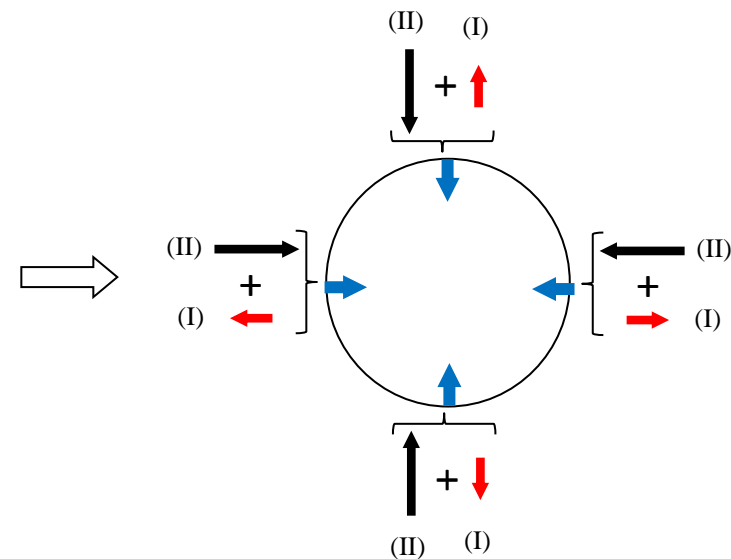


Intérieur tube : macrodéformations de parois

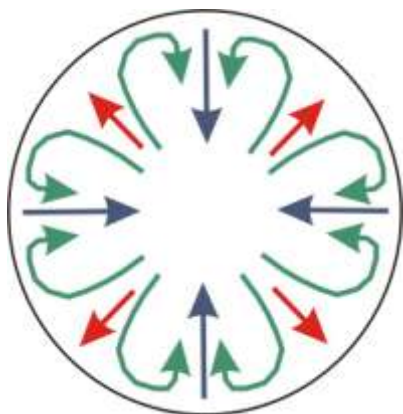
Résultantes dynamiques radiales



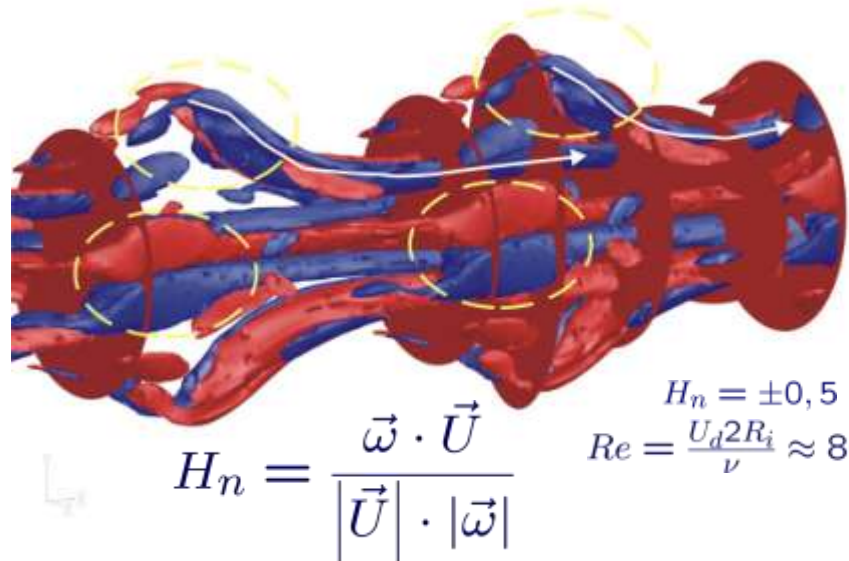
Résultantes centripètes



Mécanisme de formation des macro-structures

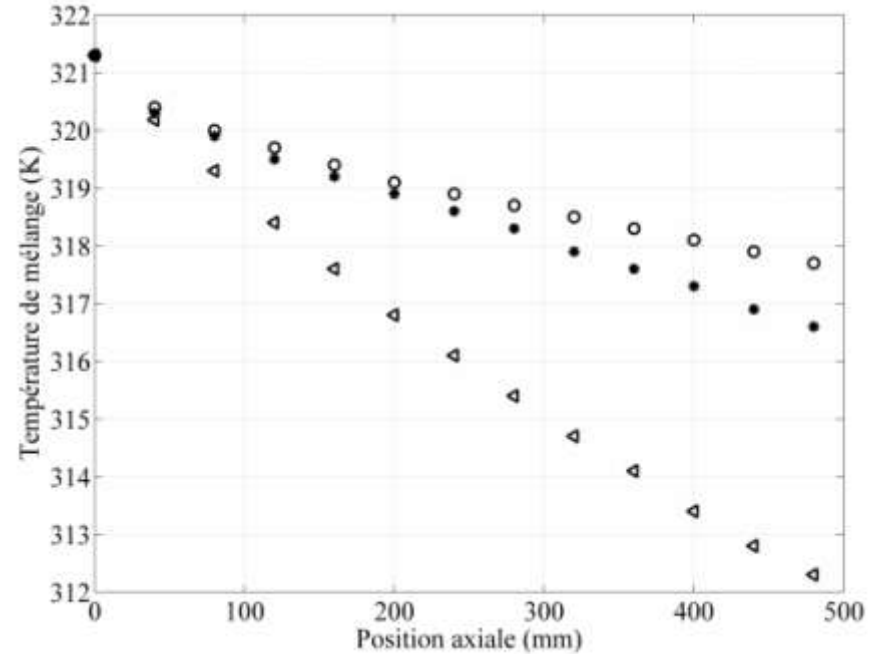
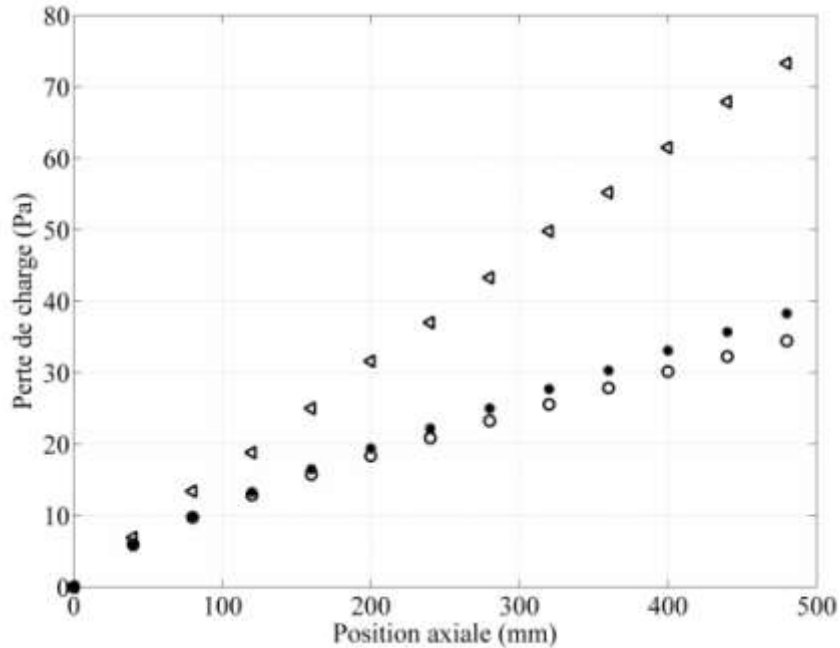


Evolution spatiale des structures : hélicité normée



Intérieur tube : macrodéformations de parois

Influence des paramètres géométriques : A_d , λ_d



$$\eta = \frac{\frac{h}{\Delta p}}{\frac{h_{lisse}}{\Delta p_{lisse}}}$$

$$\eta_{\text{tube 1}} = 1,2$$

$$\eta_{\text{tube 2}} = 1,4$$

$$h_{\text{tube lisse}} = 405,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

$$h_{\text{tube 1}} = 544,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

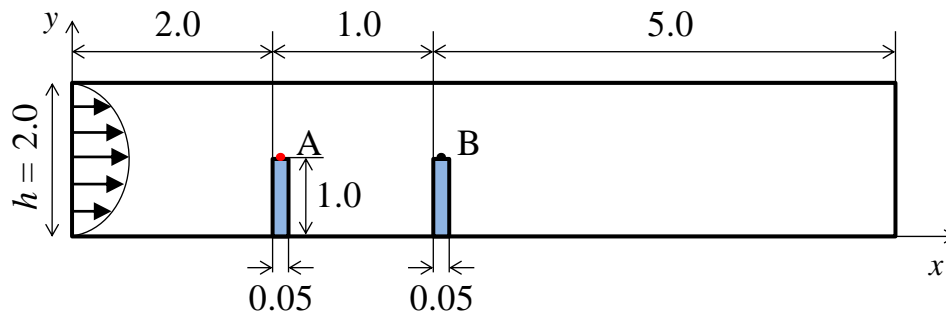
$$h_{\text{tube 2}} = 1190 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Collaboration HEI – EMD

Contrôle passif dynamique basé sur l'interaction fluide/structure

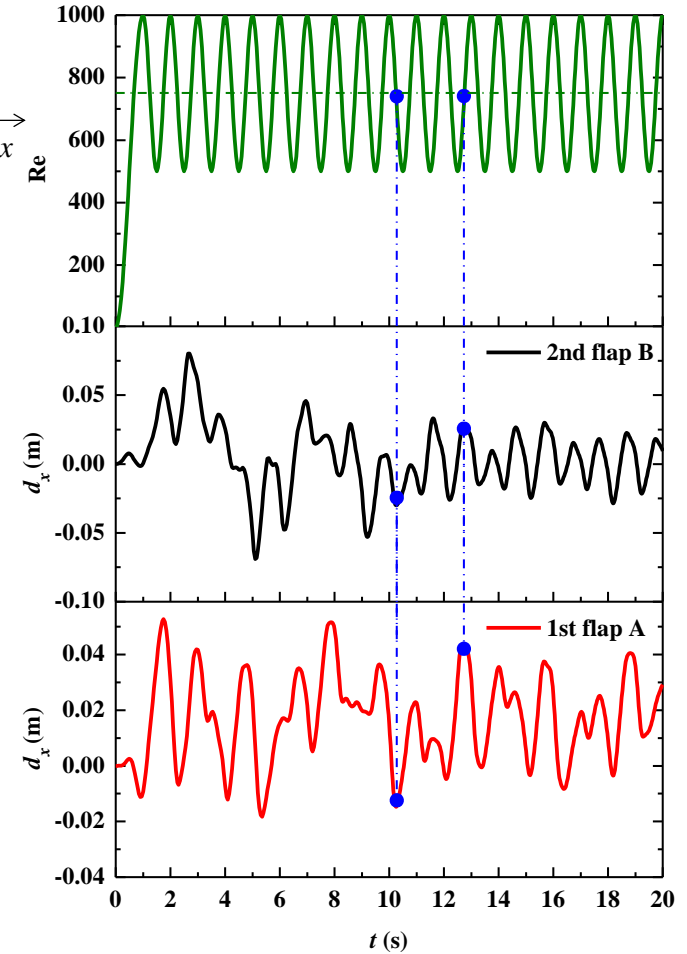
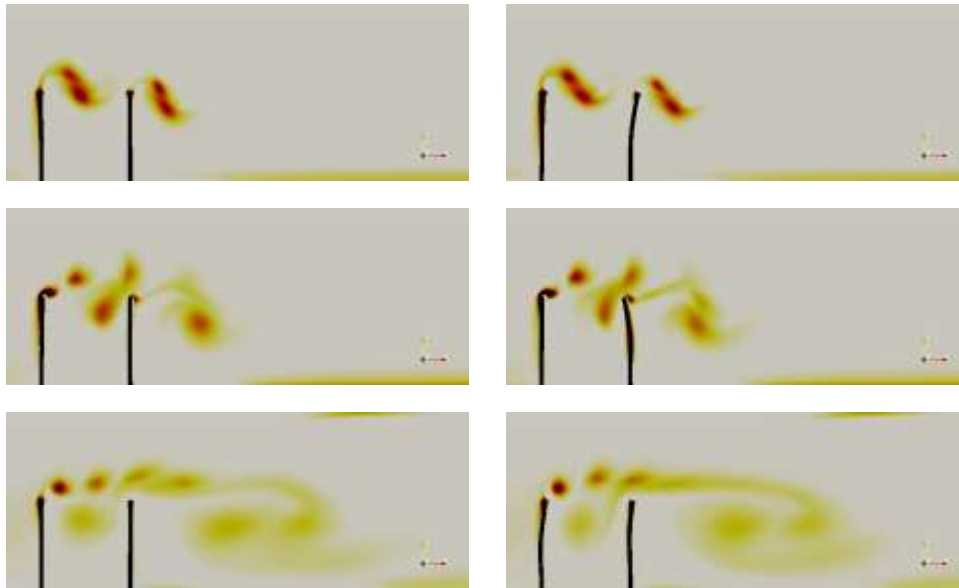
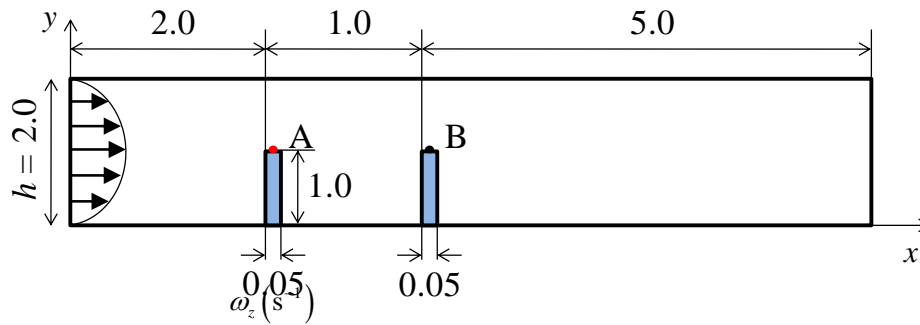
- Collaboration LIU (*Lebanese International University*)- LTN – EMD
- Elaboration d'un code FSI *vorflexFoam* sous OpenFOAM
- Premiers résultats sur cas test

- Solveur volumes finis avec maillage mobile utilisant l'approche ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) et pas de temps adaptatif (OPENFOAM)
- Solveur volumes finis résolution des déformations des parties solides avec une approche lagrangienne (OPENFOAM)
- Couplage des deux solveurs à l'interface fluide solide par méthode itérative utilisant la méthode de relaxation dynamique Aitkens



			TFP1	TFP2
Solid	ρ_s	(kg m^{-3})	1000	1000
	ν_s	(--)	0.3	0.3
	E	(Pa)	1×10^6	1×10^5
Fluid	ρ_f	(kg m^{-3})	100	100
	ν_f	($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)	0.001	0.001
Flow	$\bar{u}_{f, \text{max, inlet}}$	(m s^{-1})	0.25 – 0.50	0.25 – 0.50
	Re	(--)	500 – 1000	500 – 1000

Contrôle passif dynamique basé sur l'interaction fluide/structure



Journée thématique SFT - 15 MARS 2012

« Intensification des transferts dans les échangeurs thermiques et multi-fonctionnels : techniques, outils d'analyse et optimisation »

Merci pour votre attention

Daniel BOUGEARD, Serge RUSSEIL, Jean-Luc HARION

EMDouai, EI, F-59500 Douai, France