



Echangeurs thermiques et multi-fonctionnels : enjeux, applications et axes de recherche

Optimisation des performances d'échangeurs de chaleur.

École des Mines de DOUAI

941 rue Charles Bourseul - B.P. 838 - 59508 DOUAI

Département Énergétique Industrielle

Daniel Bougeard, Serge Russeil, Jean Luc Harion, Rabie Nacereddine

daniel.bougeard@mines-douai.fr



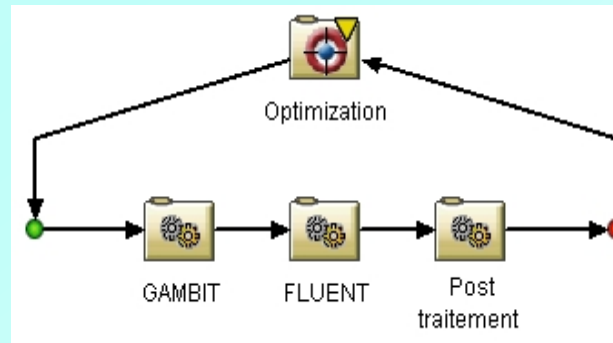
- ***Optimisation des systèmes énergétiques***
 - *Echangeurs : centraux dans des démarches d'optimisation énergétique de ces systèmes*
 - *Accroître les performances des échangeur : enjeu important*

- ***Objectifs d'optimisation multiples :***
 - *Amélioration de l'efficacité énergétique*
 - *Qualité de mélange dans des configurations d'échangeurs multifonctionnels*
 - *Diminution de quantité de matière nécessaire à la fabrication du composant (coût matière)*



- **Optimisation multicritères :**
 - *Minimisation de la perte de charge*
 - *Minimisation de la masse*
 - *Amélioration de la compacité*

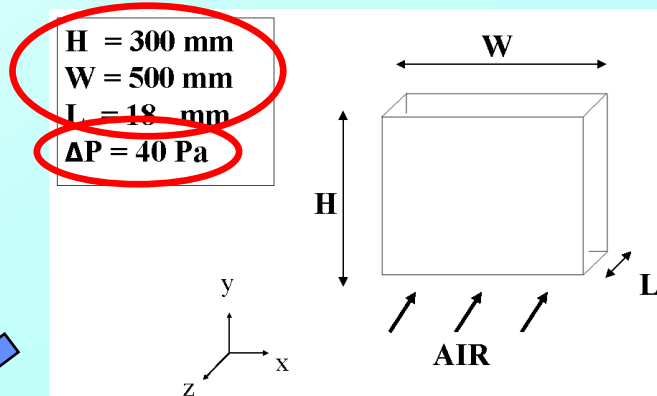
- **Boucle logicielle :**
 - *i-SIGHT*
 - *Logiciels CFD (Fluent, Star CCM+)*



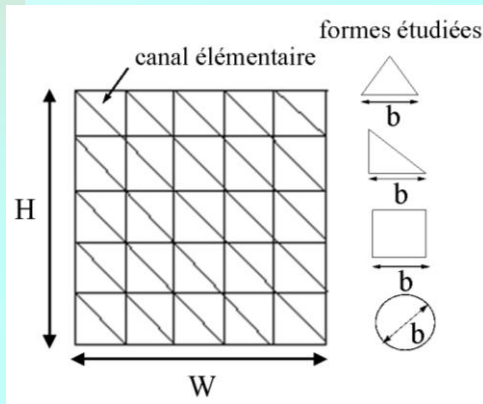
Optimisation de la géométrie d'un échangeur thermique composé de canaux élémentaires par simulation numérique



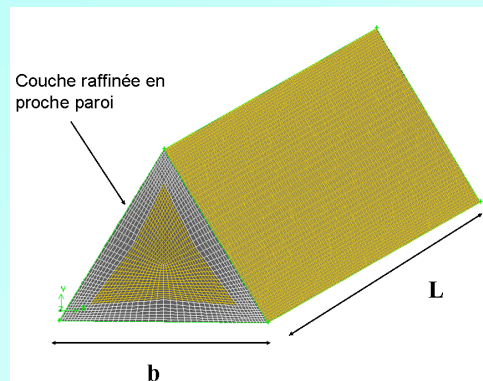
- **Détermination de la valeur optimale de la dimension des canaux permettant de maximiser la puissance thermique pour un *volume fixe* de l'échangeur et une *perte de pression entrée-sortie imposée*.**



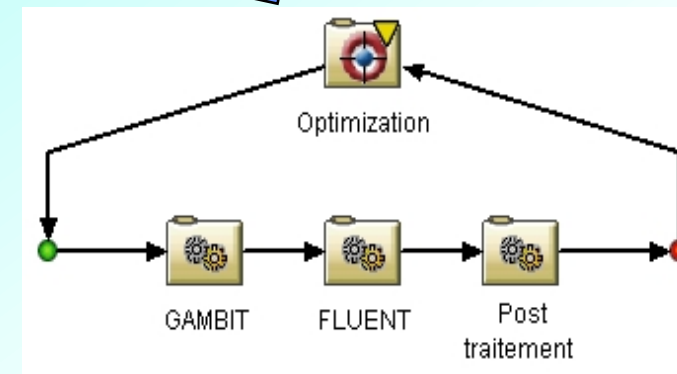
Construction par « empilage »



CFD
Maillages paramétriques



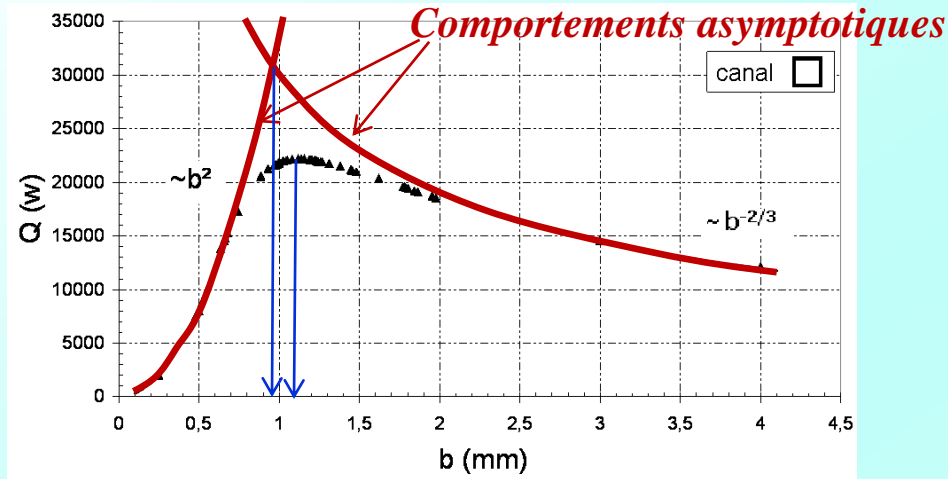
Boucle logicielle



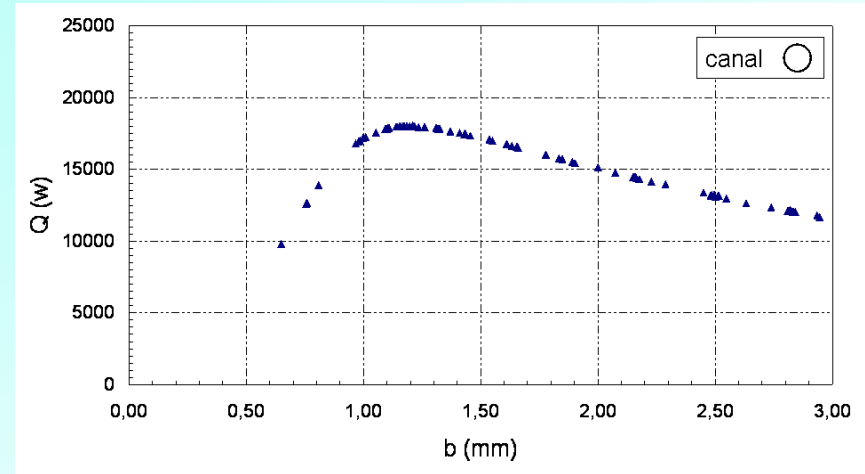
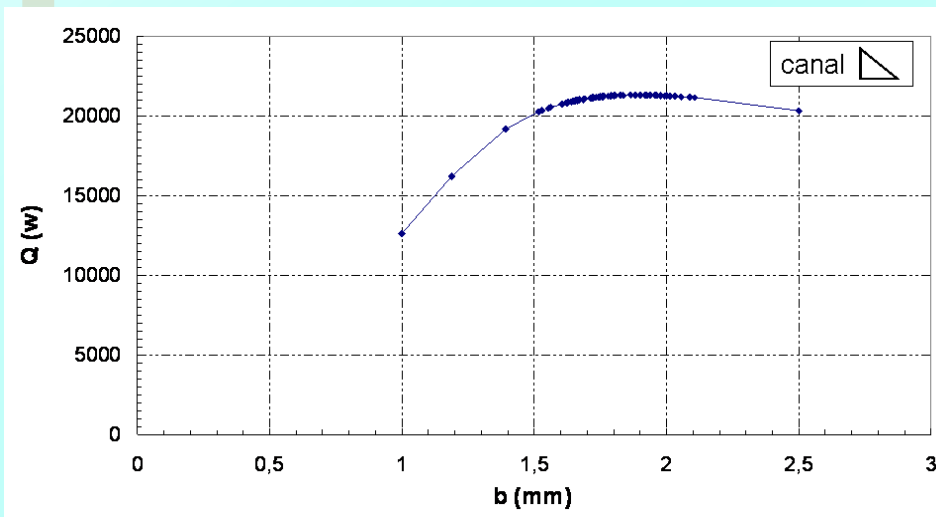
Optimisation de la géométrie d'un échangeur thermique composé de canaux élémentaires par simulation numérique



■ Puissances calculées en fonction de la dimension caractéristique du canal



	triangle équilatéral	triangle rectangle isocèle	carré
b optimal (mm)	1,91	1,86	1,12
b optimal (mm) [4]	1,81	1,78	1,07
Q* maximal	1827	1827	1907
Q* maximal [4]	3279	3279	3970

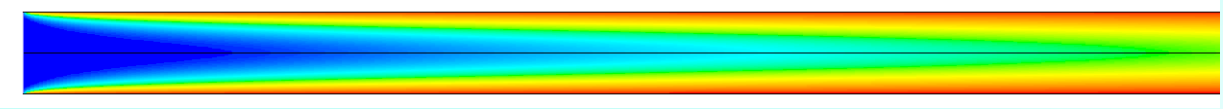
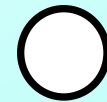
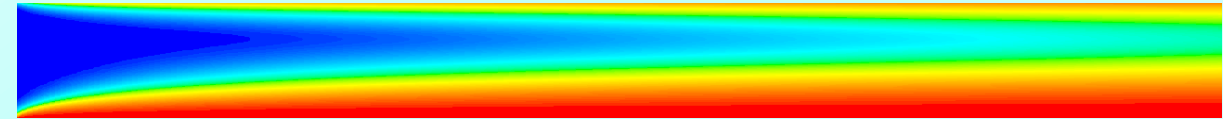
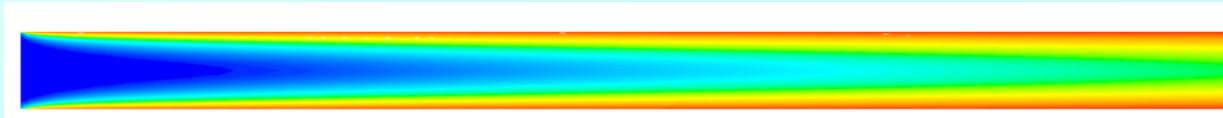


Optimisation de la géométrie d'un échangeur thermique composé de canaux élémentaires par simulation numérique

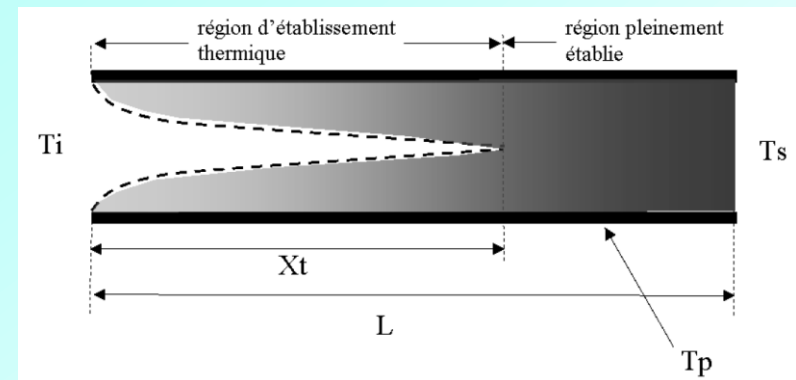


■ Efficacité thermique

$$eff = \frac{T_s - T_i}{T_p - T_i}$$

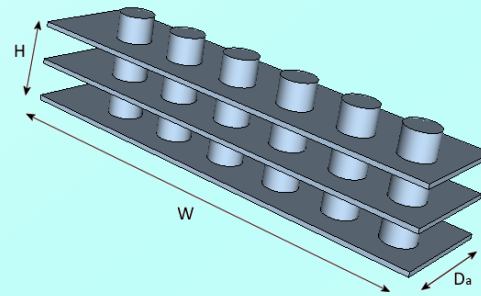


géométries	efficacité thermique	puiss. W	nombre d'élément	surface m ²
carré	0,72	22246	119082	9,6
triangle équilatéral	0,69	21322	94482	9,74
triangle isocèle	0,74	21319	86296	9,86
circulaire	0,74	18049	102532	8,93

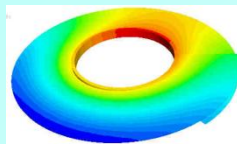
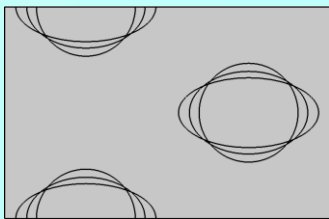
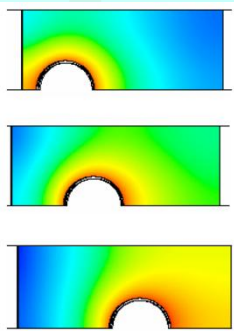
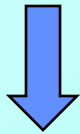




■ Radiateur automobile, aéroréfrigérant, aérocondenseur

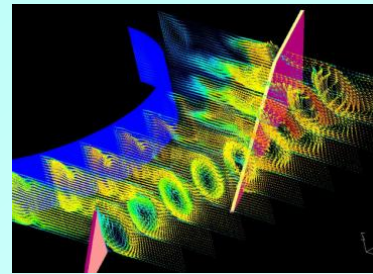
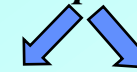


- *Variation des pas géométriques*
- *Variation de la forme des tubes*
- *Variation de la position des tubes*
- *Forme des ailettes*

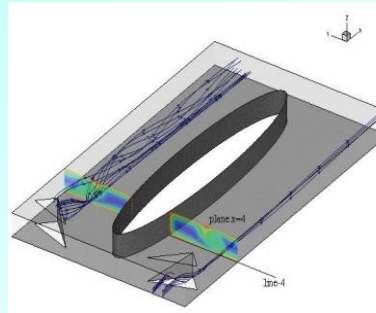
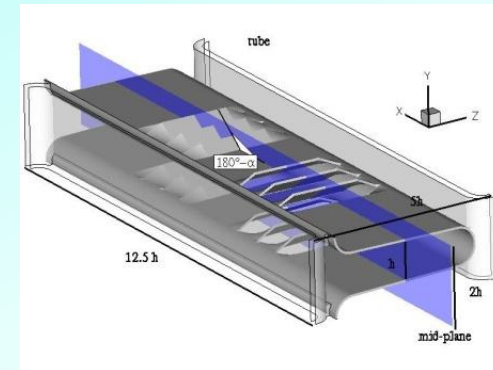


• Utilisation de technique d'intensification

Promoteurs de tourbillons



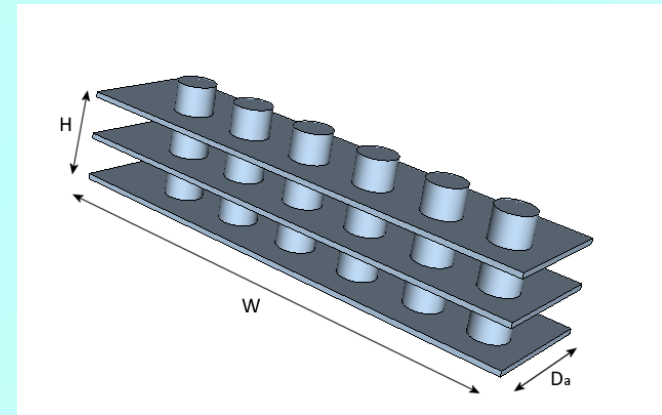
persiennes





■ Optimisation d'un échangeur à un rang de tubes ronds

- Configuration mono rang de tubes
- Encombrement constant $(W, H, Da) = (500, 300, 18) \text{ mm}^3$
- P_{th} constante
- $e_a = 0,1 \text{ mm}$, $e_t = 0,2 \text{ mm}$
- $Qv = 6,28 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. $U_d = 1 \text{ m/s}$
- $D_t > 2 \text{ mm}$

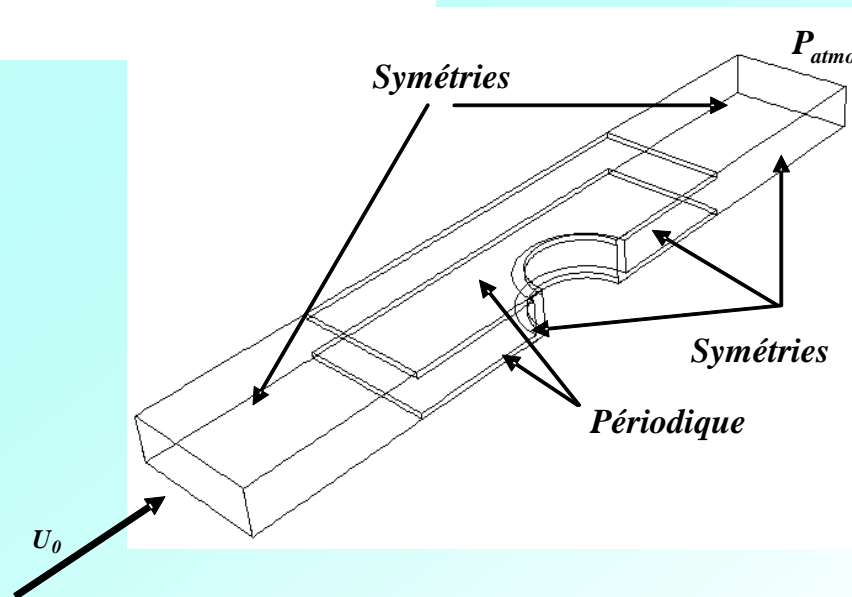
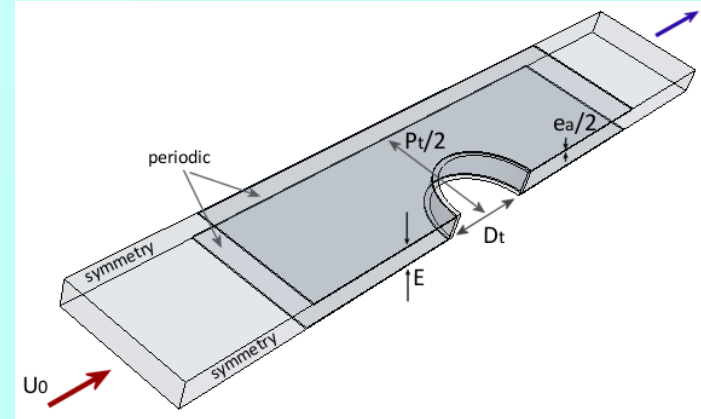
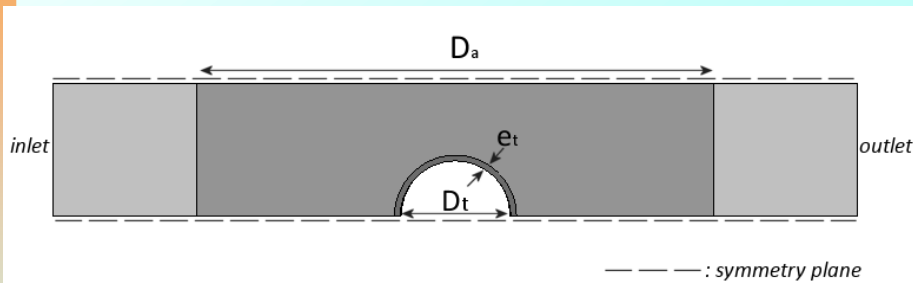


- Objectif : Minimisation de la puissance de ventilation
- Variables : nombres tubes et d'ailettes (pas intertube et pas interailette)



■ Simulation Numérique

- Code FLUENT
- Simulation RANS ($k \omega sst$)
- Motif élémentaire
- Couplage conducto-convectif

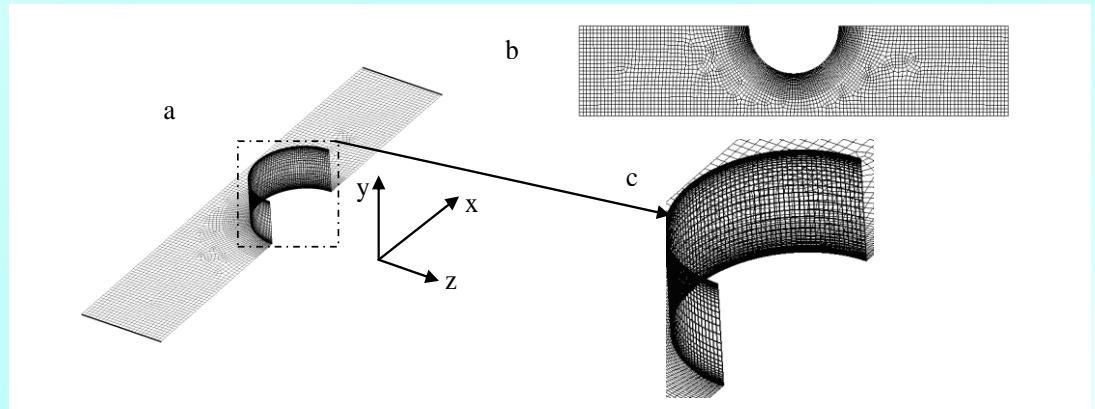
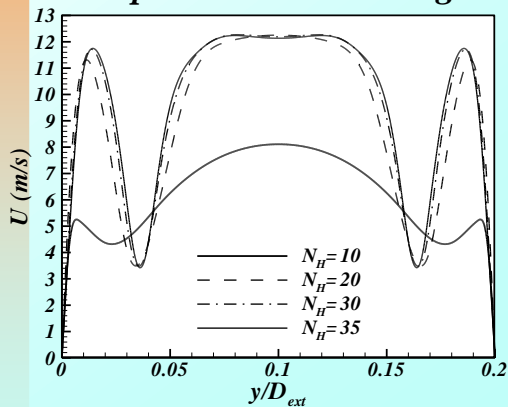




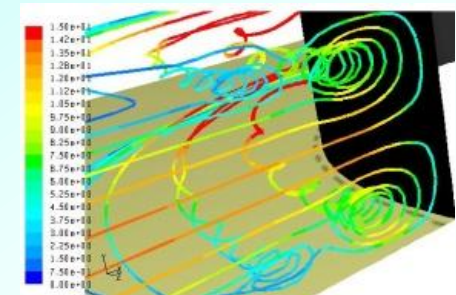
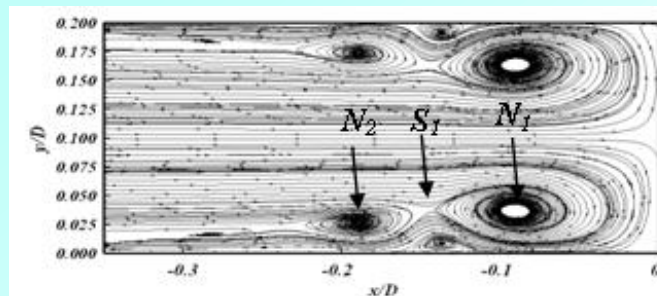
■ Simulation Numérique

- Géométrie et Maillage paramétriques
- Zones raffinées
- Détermination d'une densité de mailles optimales

Indépendance du maillage



Validation de la topologie du HSV





■ Boucle d'optimisation

étape 1:

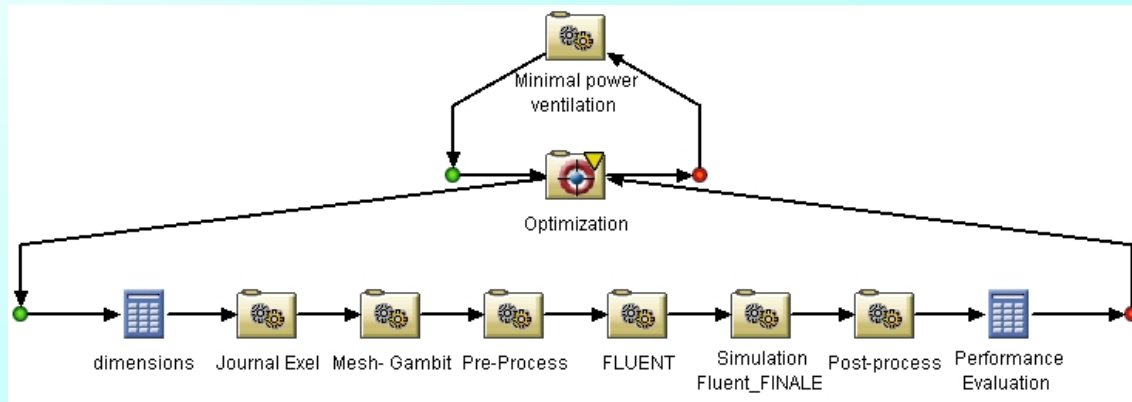
Pour des valeurs n_a , n_t , e_a , e_t , U_d et Q_v les paramètres géométriques sont calculés et un fichier de maillage est créé

Étape 2:

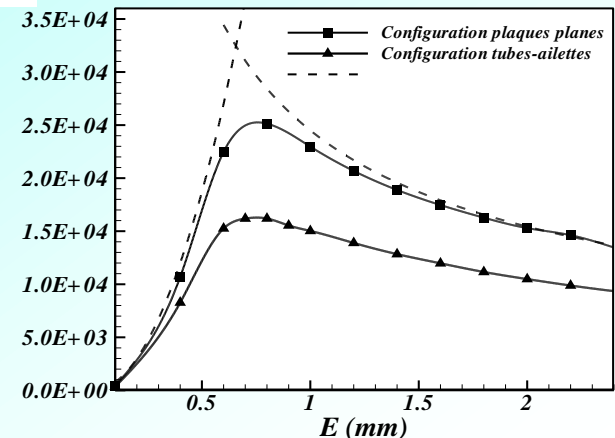
importation sous FLUENT du maillage et des paramètres de la simulation => calcul CFD

Étape 3:

La puissance de ventilation $U_0 \cdot \Delta p$ est évaluée. Le logiciel d'optimisation de iSIGHT-FD modifie les variables du système et relance une itération de la boucle jusqu'à obtention d'une puissance de ventilation minimale

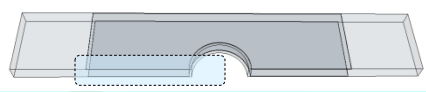
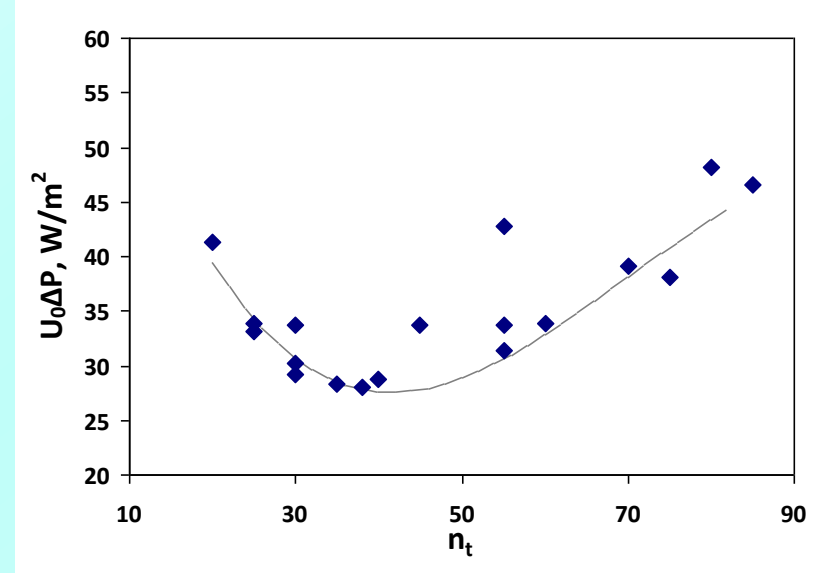
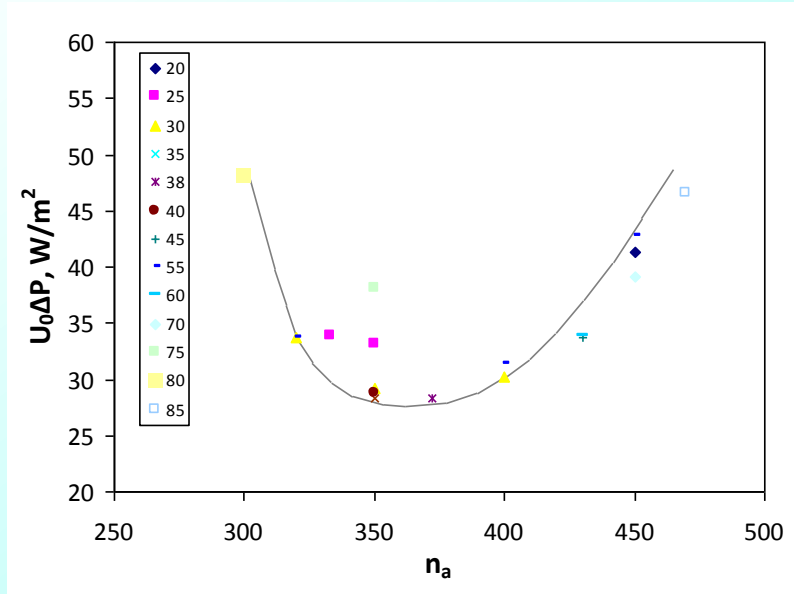


surfaces solides à températures constantes et comparaison à une configuration canal sans demi-tube
 $\Delta p = C^{te} = 35 \text{ Pa}$

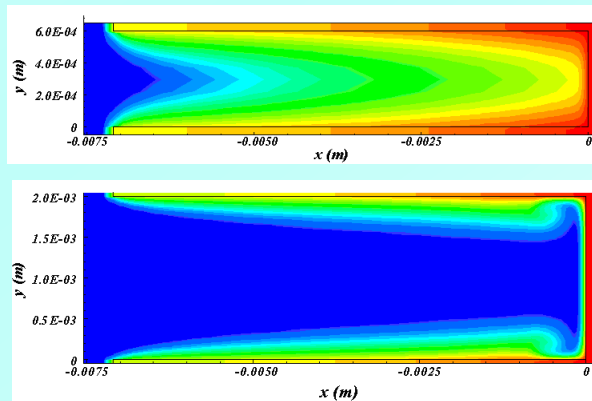




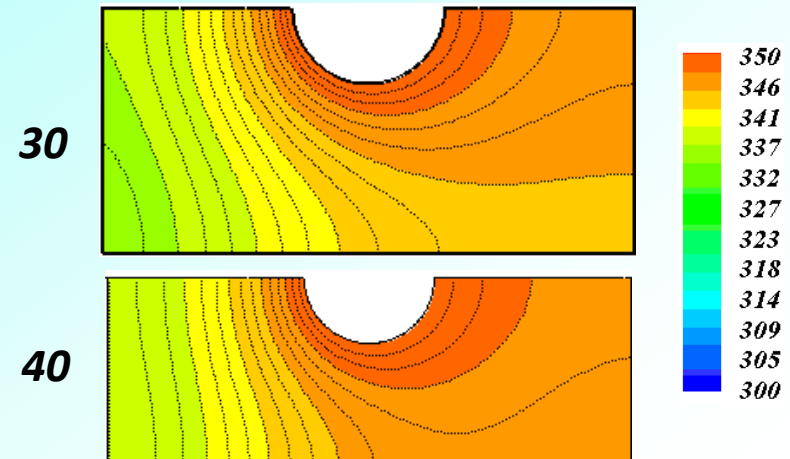
Résultats



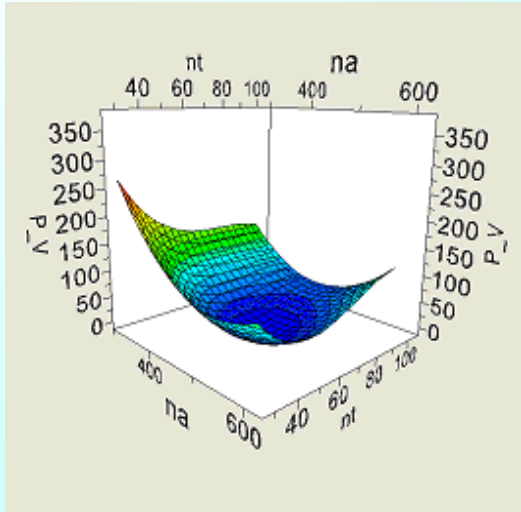
Influence pas interailette



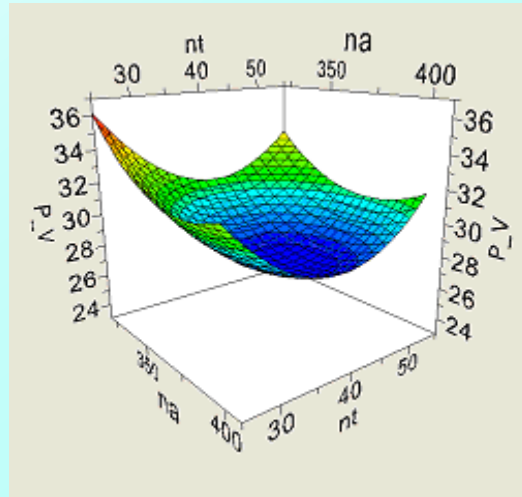
Influence pas intertube



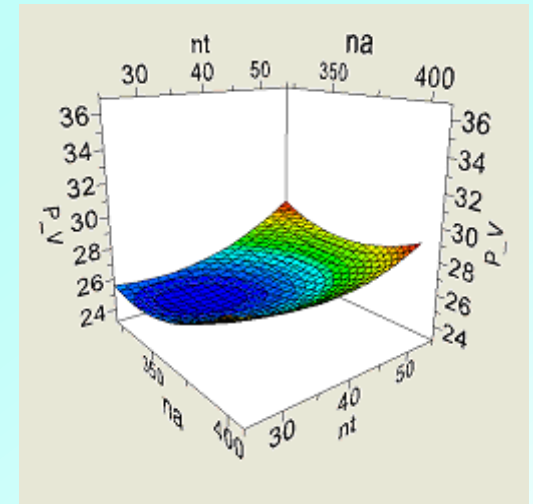
Optimisation de la géométrie des échangeurs à tubes ailettes



Acier, $\lambda=52 \text{ W/m.K}$

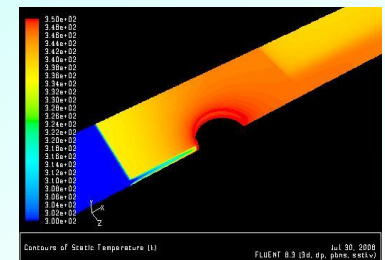
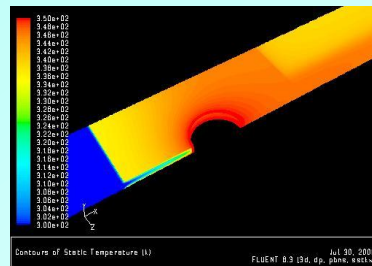
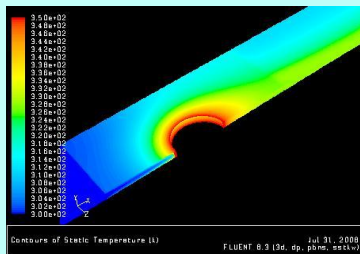


Aluminum, $\lambda=200 \text{ W/m.K}$



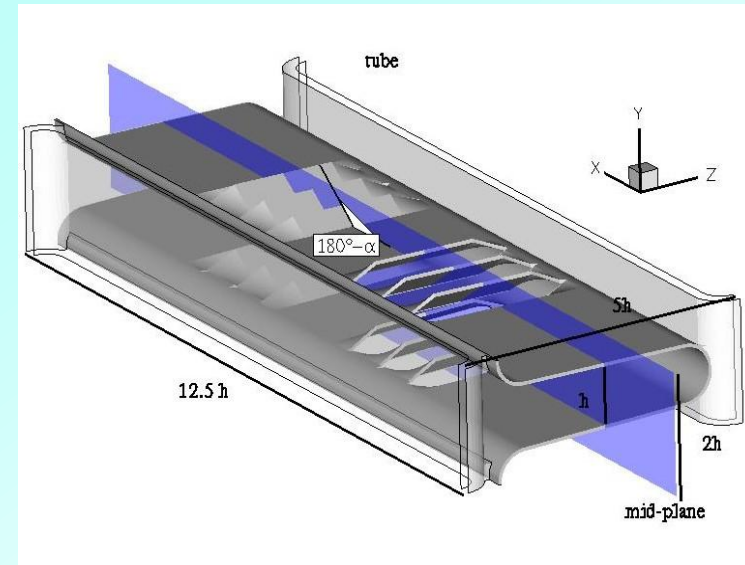
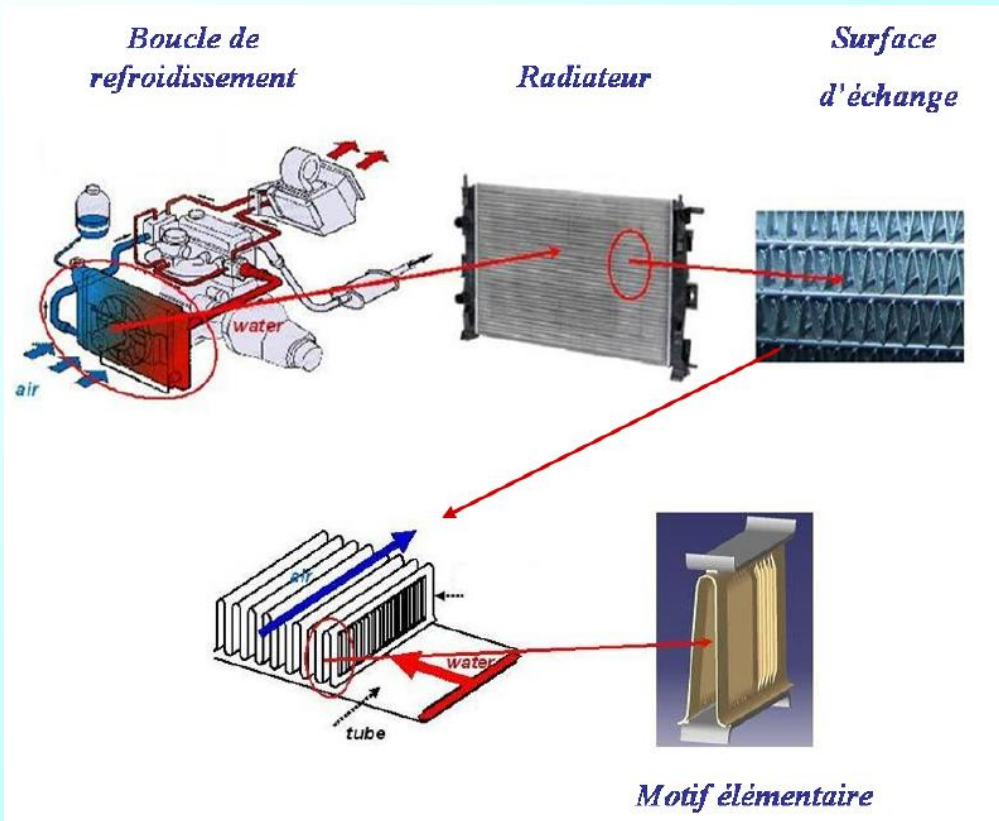
Cuivre, $\lambda=380 \text{ W/m.K}$

U , n_t et $n_a \rightarrow$ pour maintenir P_{th} imposée





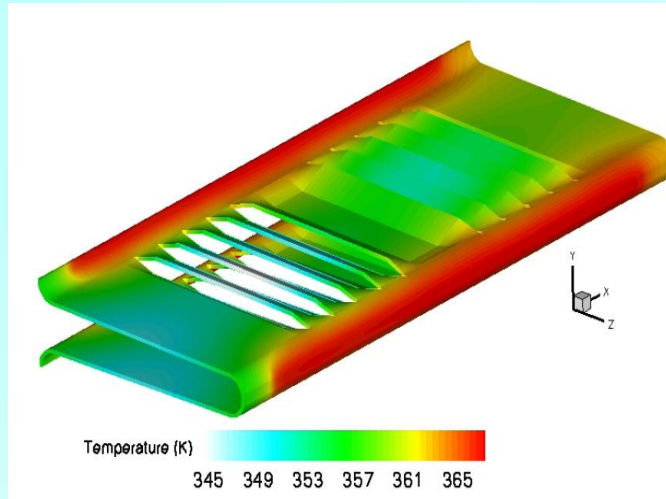
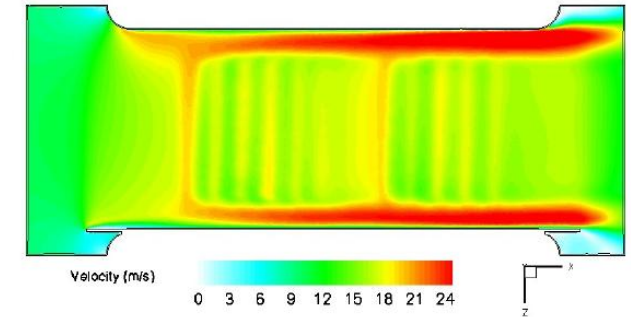
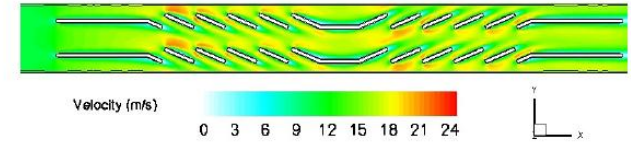
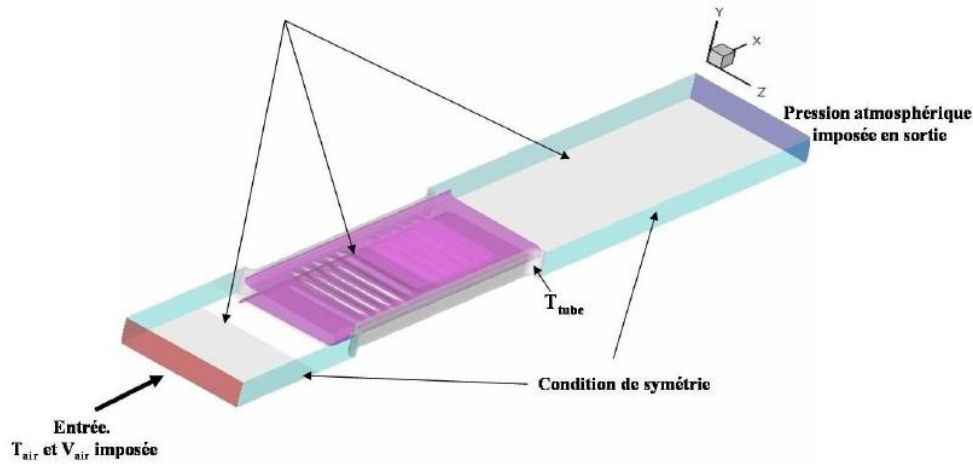
■ Échangeur automobile à persiennes (thèse Julien Herpe 2007)





■ Échangeur automobile à persiennes

Condition de périodicité

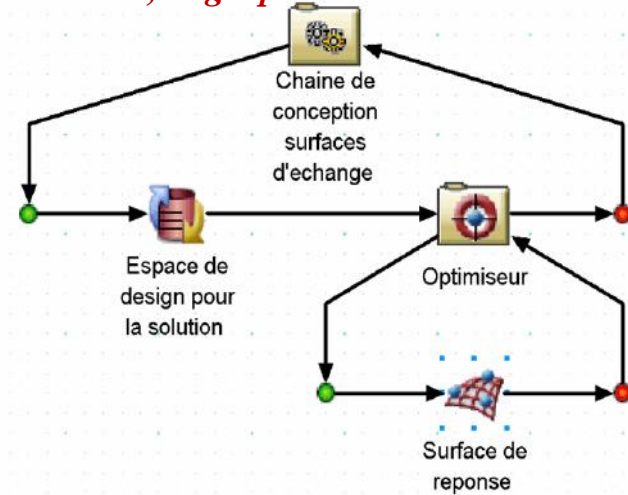


Optimisation de la géométrie des échangeurs à tubes ailettes

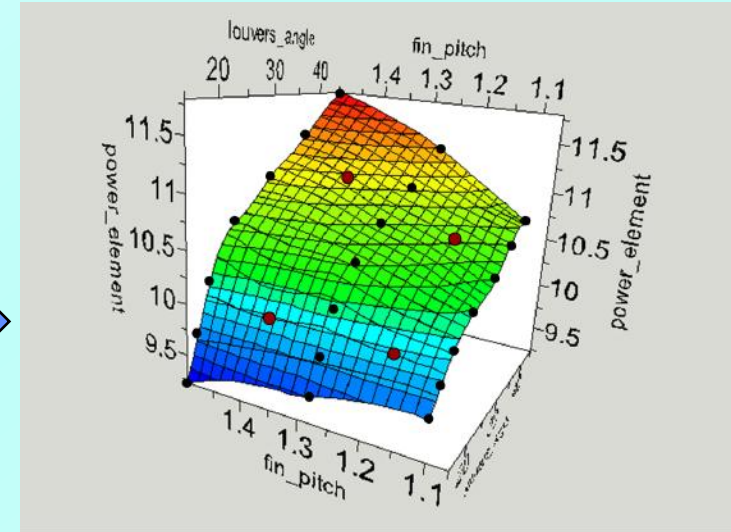


■ Optimisation multicritère

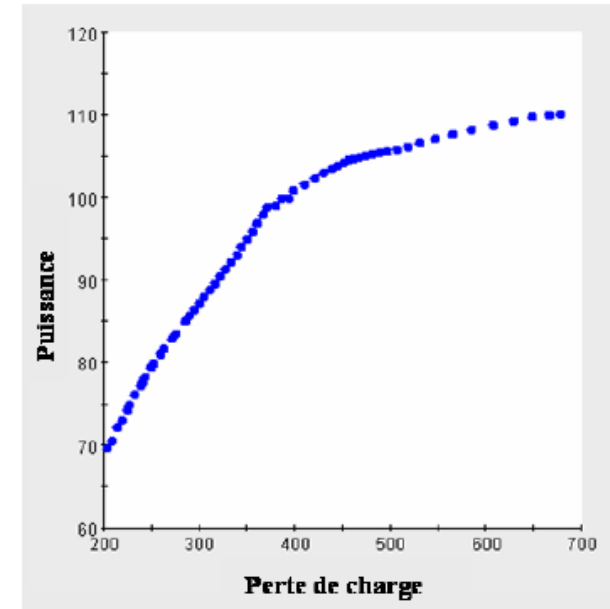
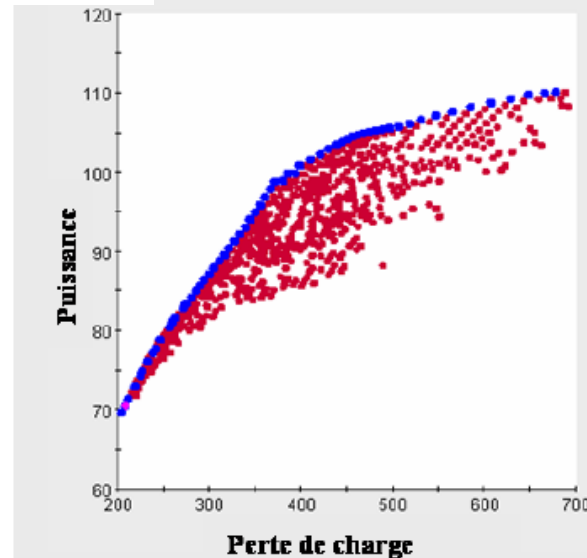
Variables : FP, angle persiennes



Construction de surface de réponse



Utilisation de l'optimiseur
Algorithme génétique : NSGA2



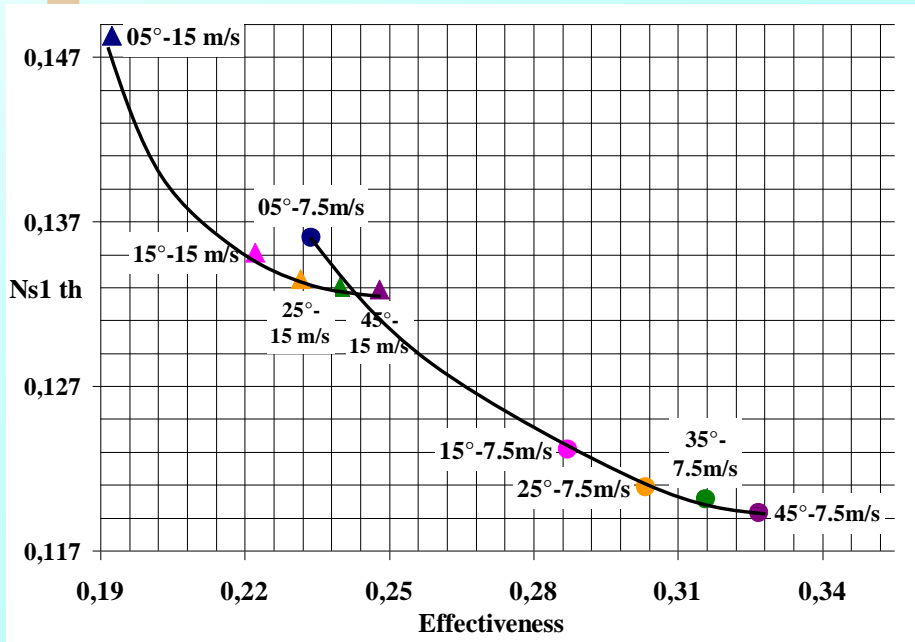


■ Second principe, production d'entropie

$$S'''_{gen} = S'''_{gen,v} + S'''_{gen,v,t} + S'''_{gen,th} + S'''_{gen,th,t}$$

$$N_{s1} = \frac{T \cdot S_{gen}}{\Phi} = \frac{T \cdot \int S'''_{gen} dV}{\Phi}$$

N_{s1th} vs effectiveness



$N_{s1th,v}$ vs effectiveness

