



*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*

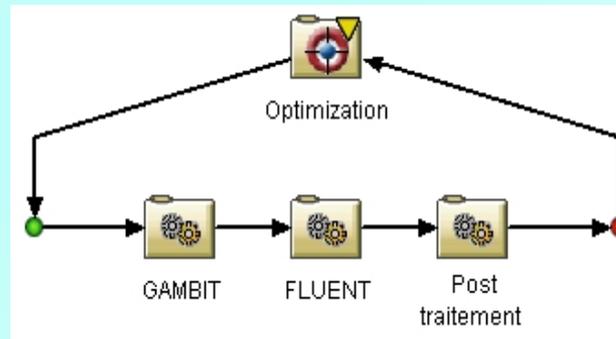
*daniel.bougeard@mines-douai.fr*



- ***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)*



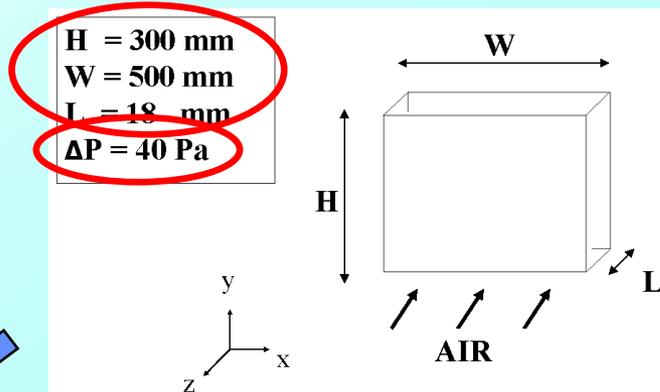
- **Optimisation multicritères :**
  - *Minimisation de la perte de charge*
  - *Minimisation de la masse*
  - *Amélioration de la compacité*
  
- **Boucle logicielle :**
  - *i-SIGHT*
  - *Logiciels CFD (Fluent, Star CCM+)*



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



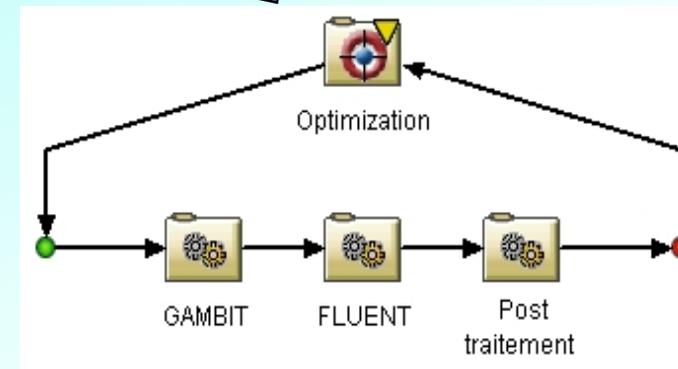
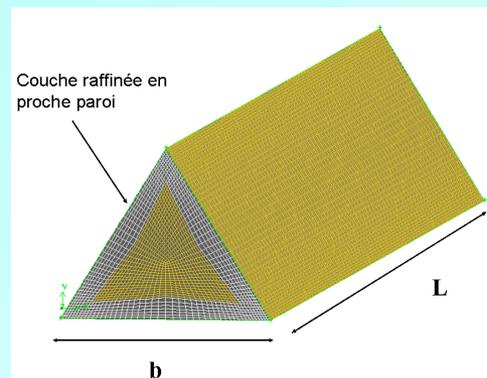
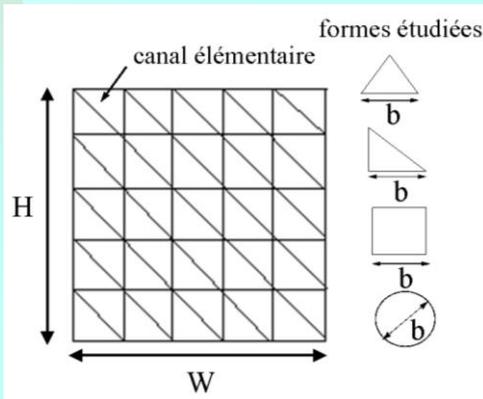
- **Détermination de la valeur optimale de la dimension des canaux permettant de maximiser la puissance thermique pour un *volume fixe* de l'échangeur et une *perte de pression entrée-sortie imposée*.**



Construction par « empilage »

CFD  
Maillages paramétriques

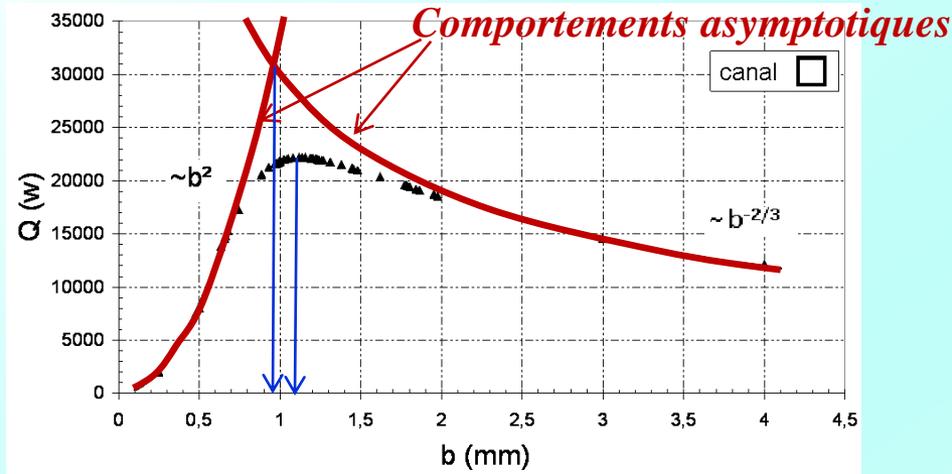
Boucle logicielle



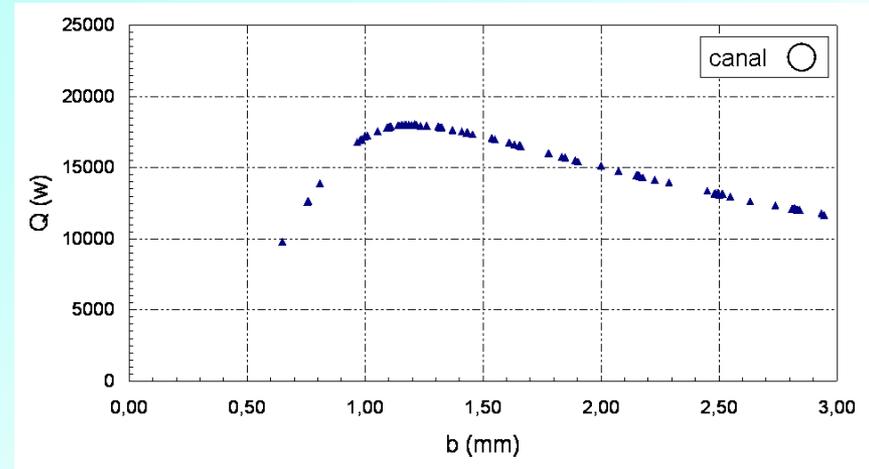
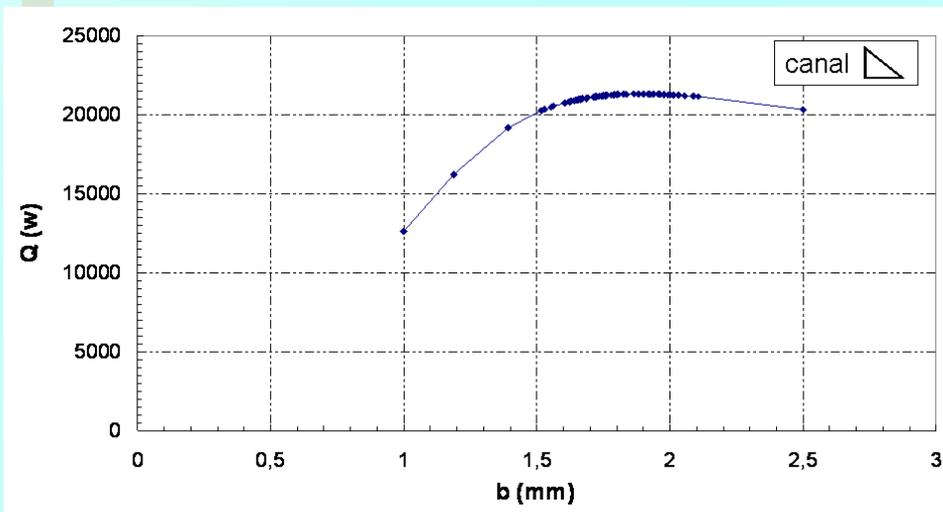
# Optimisation de la géométrie d'un échangeur thermique composé de canaux élémentaires par simulation numérique



## ■ 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

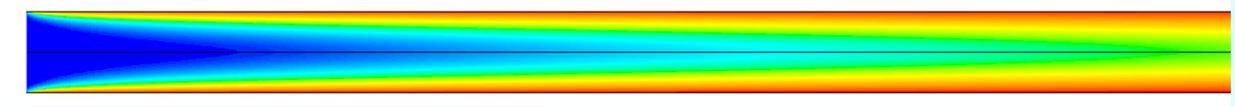
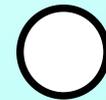
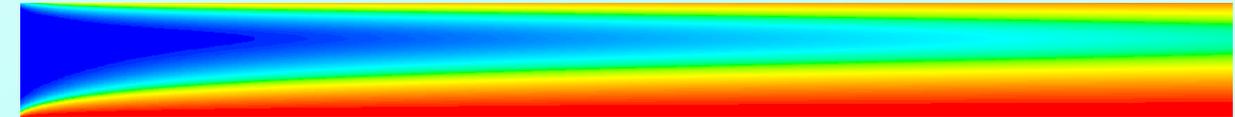
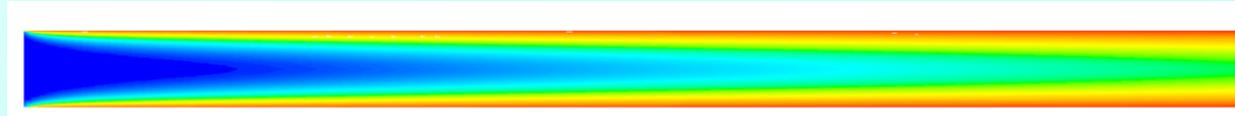


# Optimisation de la géométrie d'un échangeur thermique composé de canaux élémentaires par simulation numérique

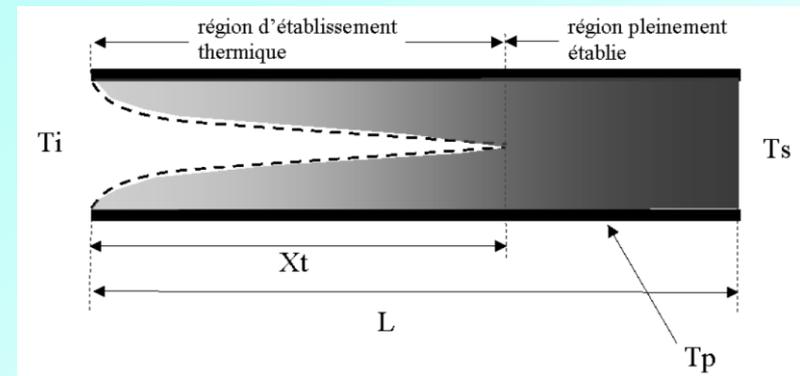


## ■ Efficacité thermique

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

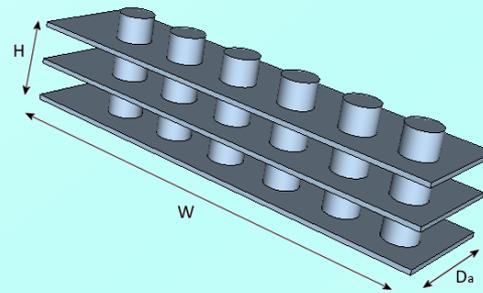


géométries	efficacité thermique	puiss. W	nombre d'élément	surface m <sup>2</sup>
carré	0,72	22246	119082	9,6
triangle équilatéral	0,69	21322	94482	9,74
triangle isocèle	0,74	21319	86296	9,86
circulaire	0,74	18049	102532	8,93

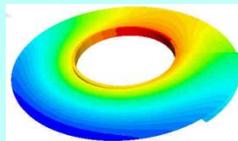
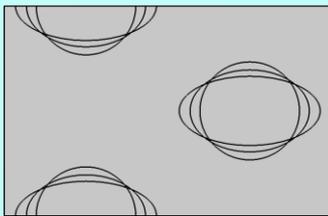
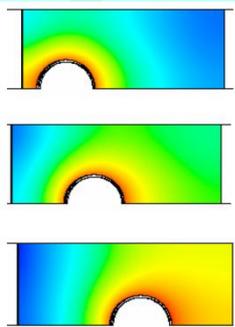
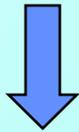




## ■ Radiateur automobile, aéroréfrigérant, aérocondenseur

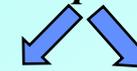


- *Variation des pas géométriques*
- *Variation de la forme des tubes*
- *Variation de la position des tubes*
- *Forme des ailettes*

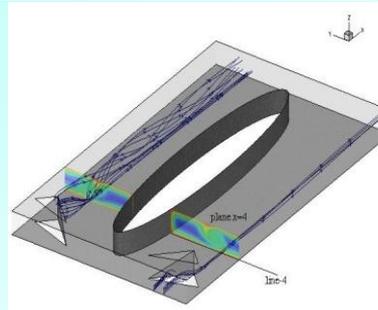
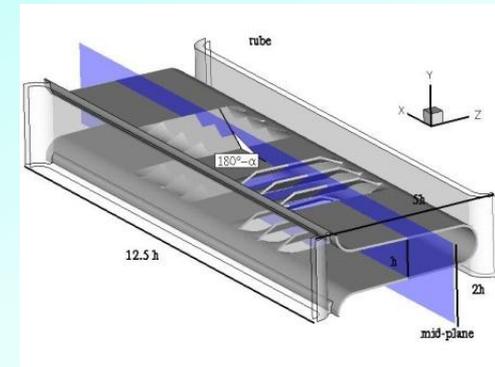
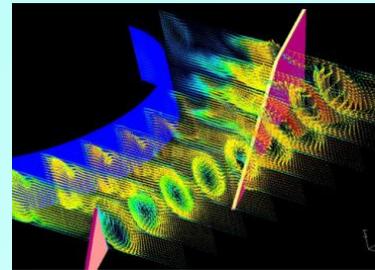


## • Utilisation de technique d'intensification

Promoteurs de tourbillons



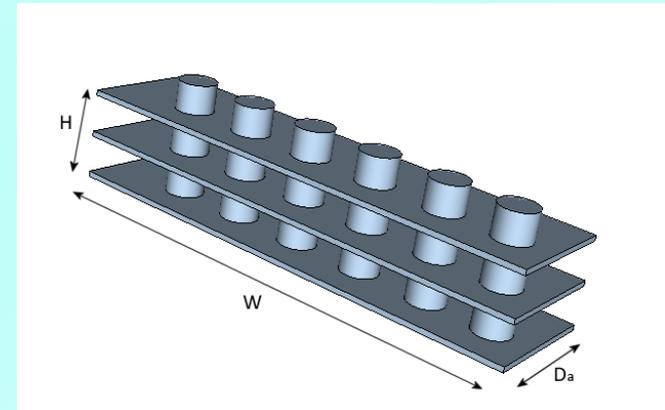
persiennes





## ■ 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
- $e_a = 0,1 \text{ mm}$ ,  $e_t = 0,2 \text{ mm}$
- $Qv = 6,28 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$  .  $U_d = 1 \text{ m/s}$
- $D_t > 2 \text{ mm}$

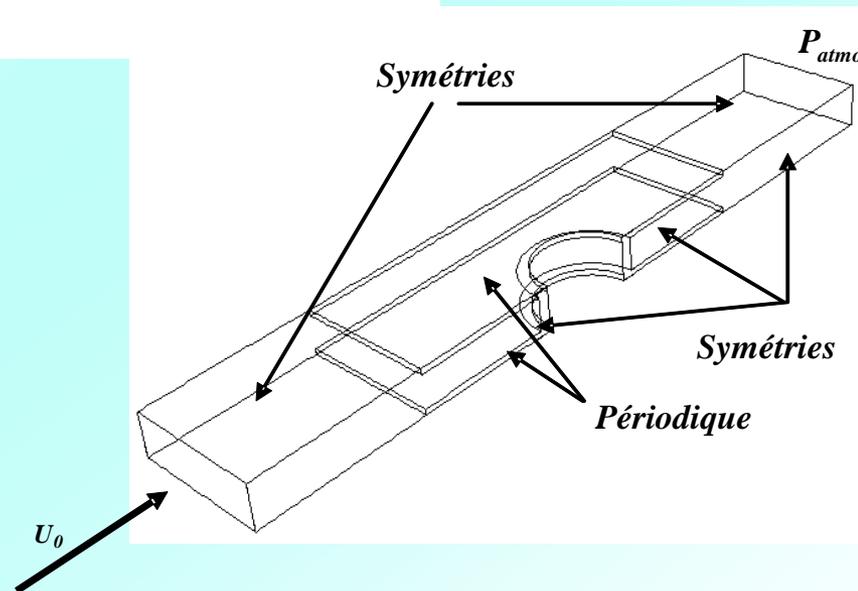
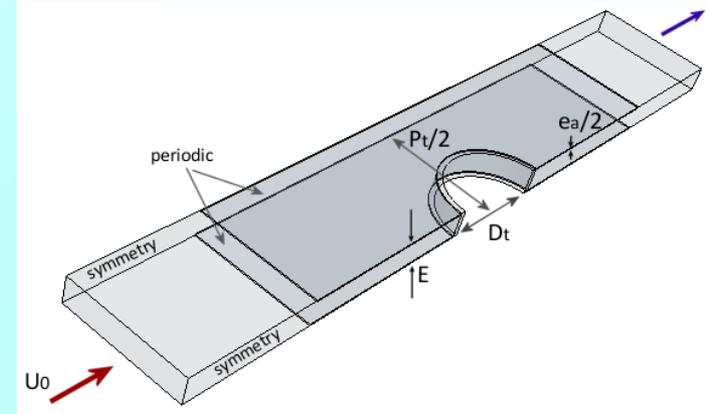
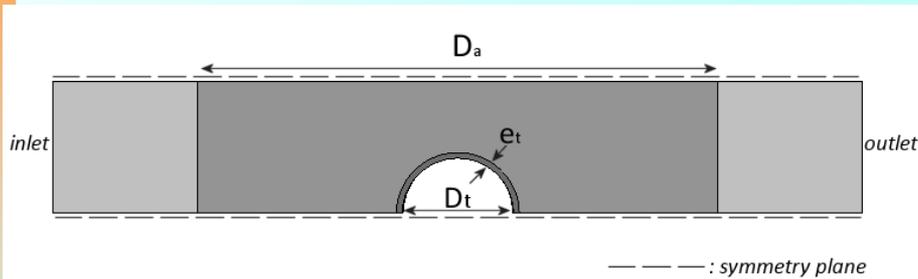


- Objectif : Minimisation de la puissance de ventilation
- Variables : nombres tubes et d'ailettes (pas intertube et pas interailette)



## ■ Simulation Numérique

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

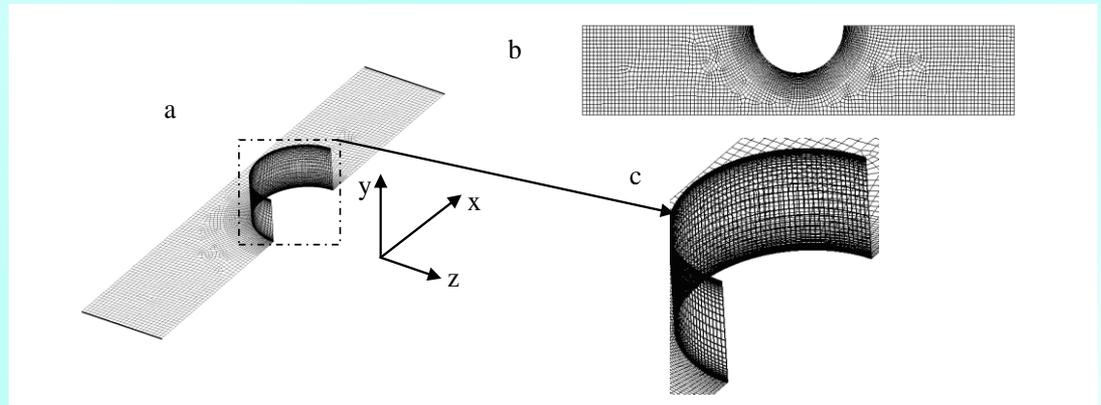
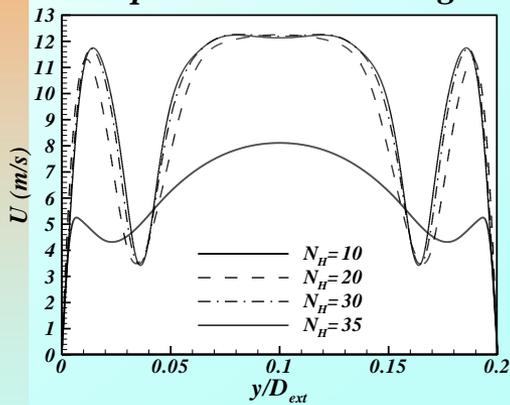




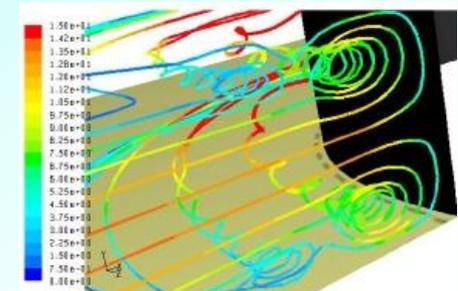
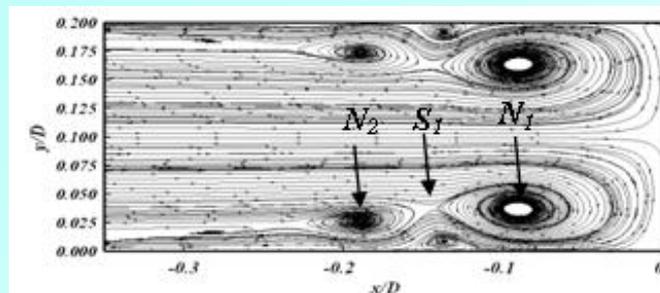
## ■ Simulation Numérique

- 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:

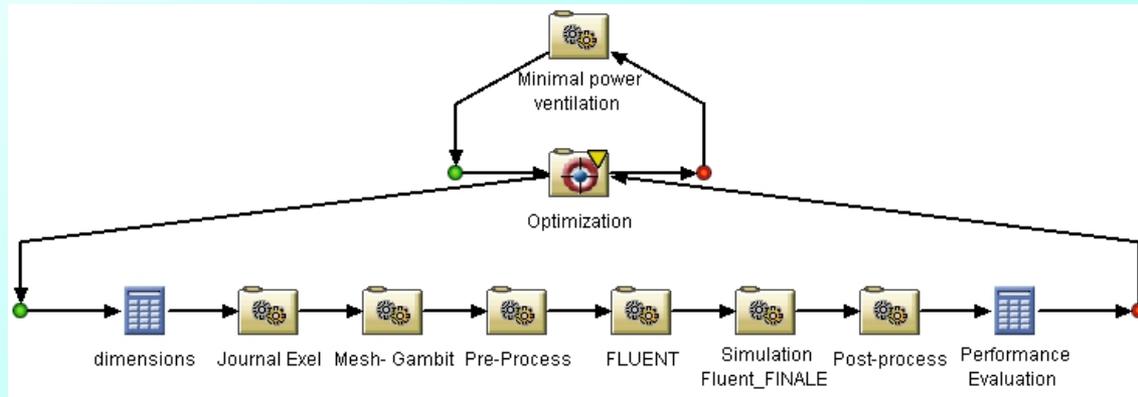
Pour des valeurs  $n_a$ ,  $n_t$ ,  $e_a$ ,  $e_t$ ,  $U_d$  et  $Q_v$  les paramètres géométriques sont calculés et un fichier de maillage est créé

### Étape 2:

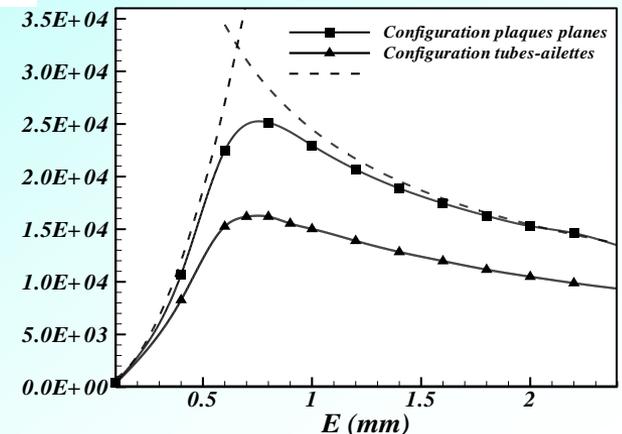
importation sous FLUENT du maillage et des paramètres de la simulation => calcul CFD

### 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

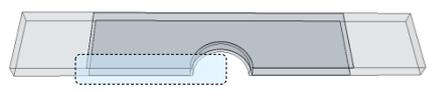
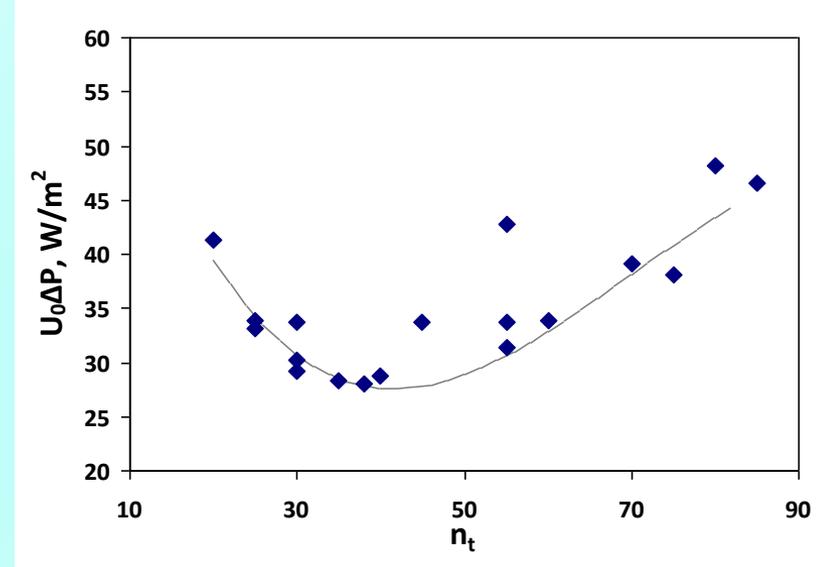
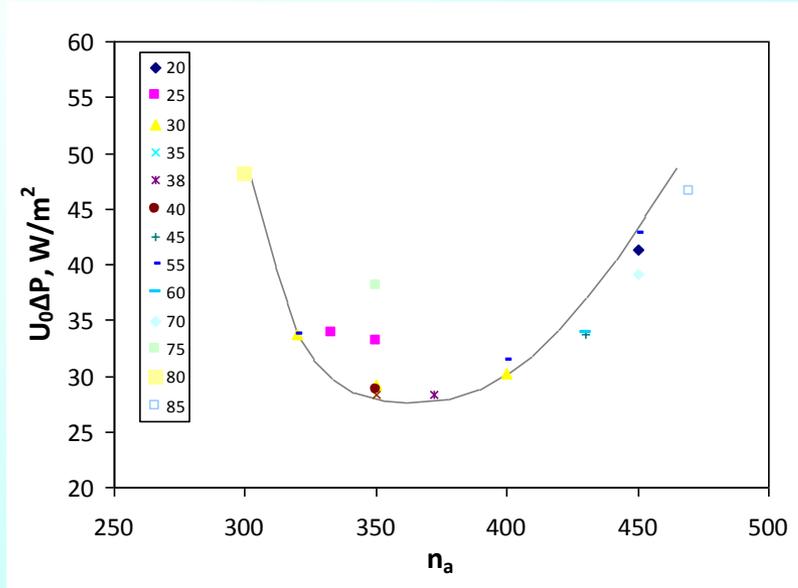


surfaces solides à températures constantes et comparaison à une configuration canal sans demi-tube  
 $\Delta p = C^{te} = 35 \text{ Pa}$

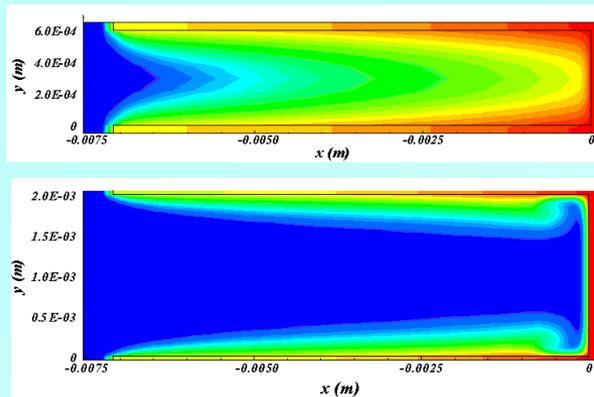




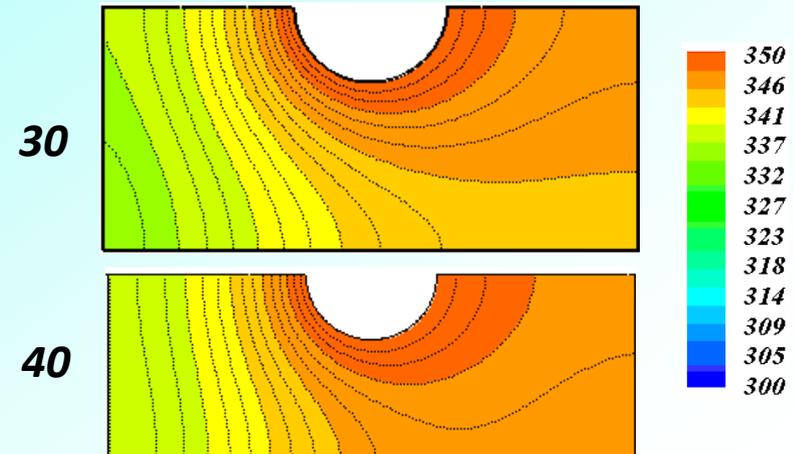
## Résultats



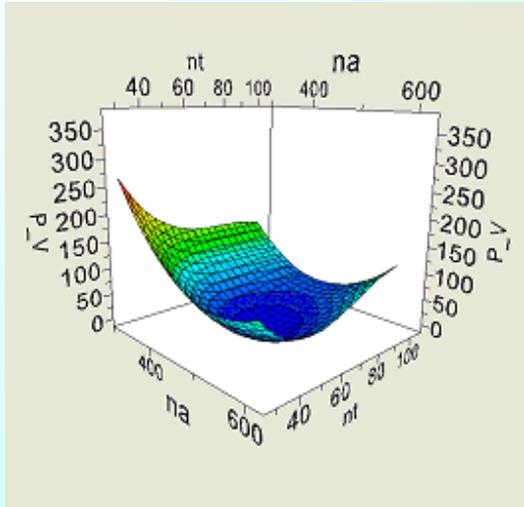
*Influence pas interailette*



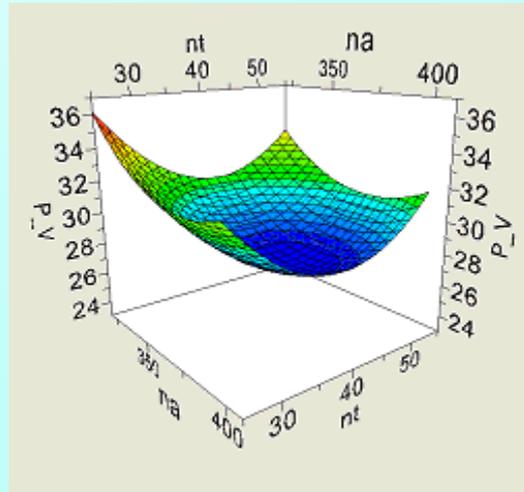
*Influence pas intertube*



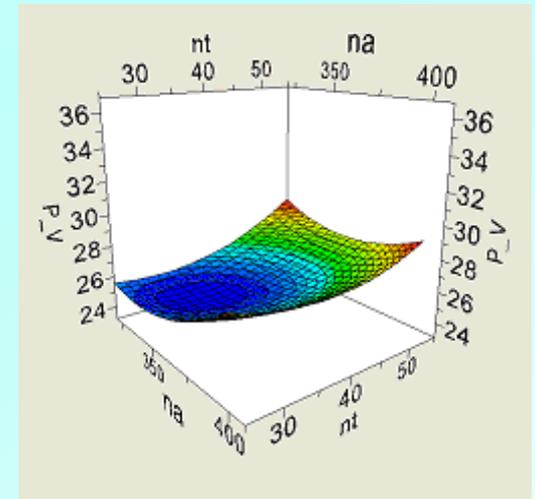
# Optimisation de la géométrie des échangeurs à tubes ailettes



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

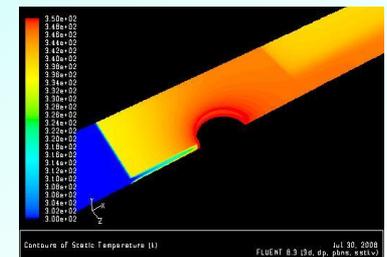
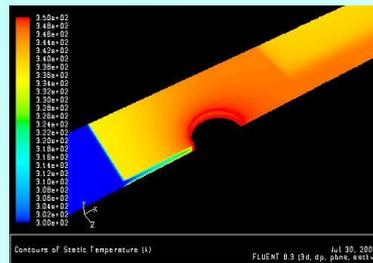
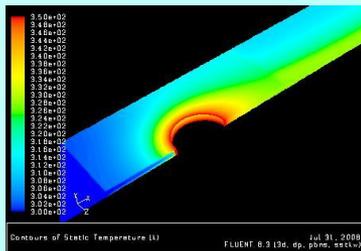


Aluminum,  $\lambda=200 \text{ W/m.K}$



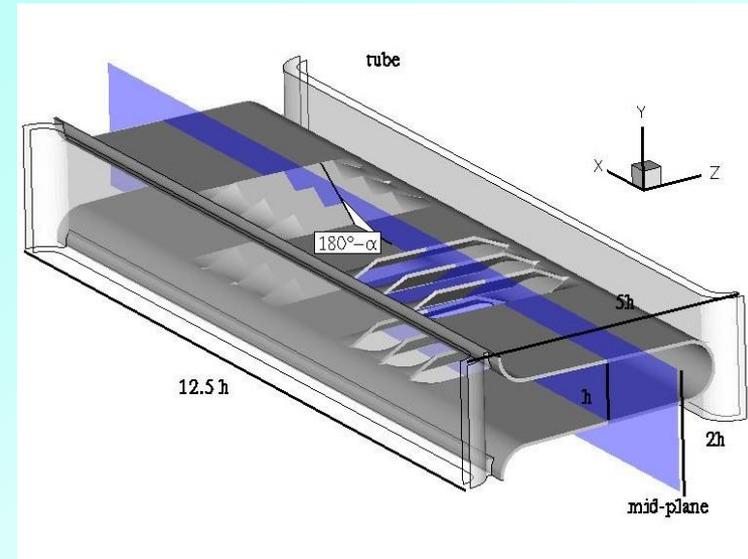
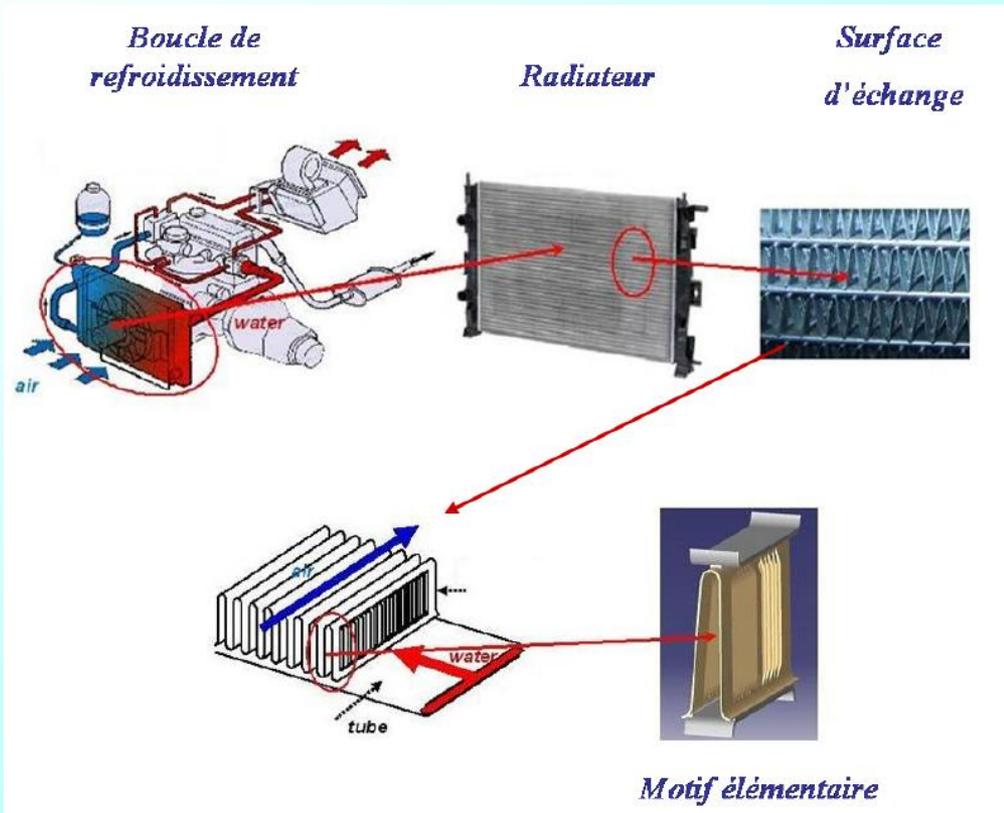
Cuivre,  $\lambda=380 \text{ W/m.K}$

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





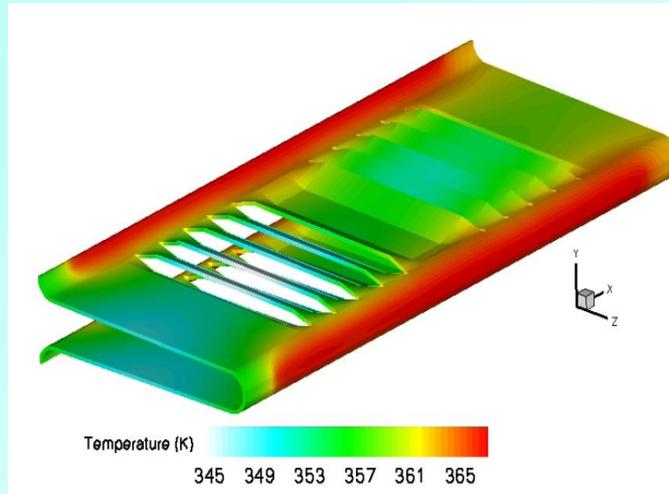
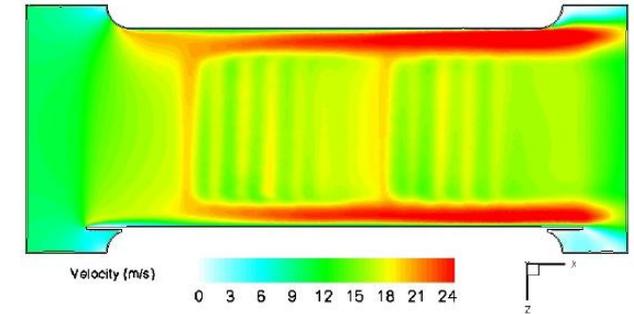
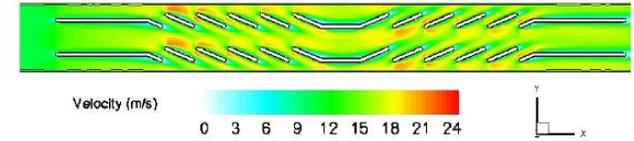
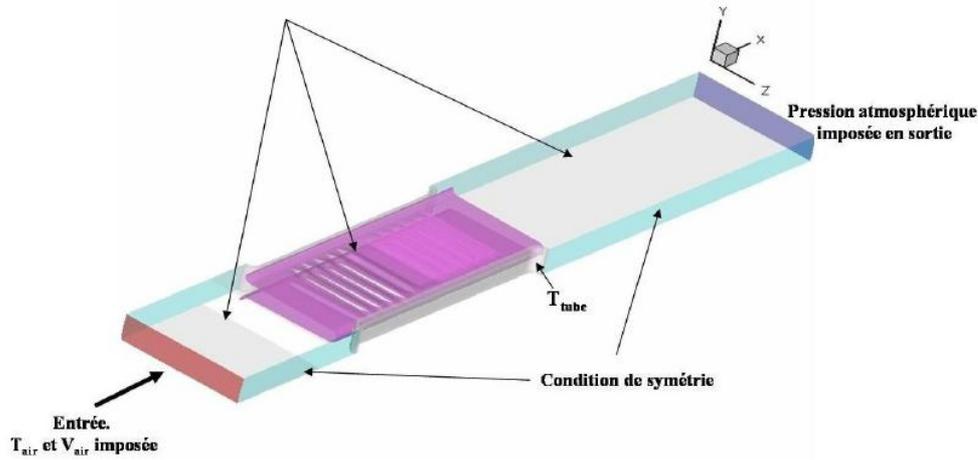
## ■ Échangeur automobile à persiennes (thèse Julien Herpe 2007)





## ■ Échangeur automobile à persiennes

Condition de périodicité

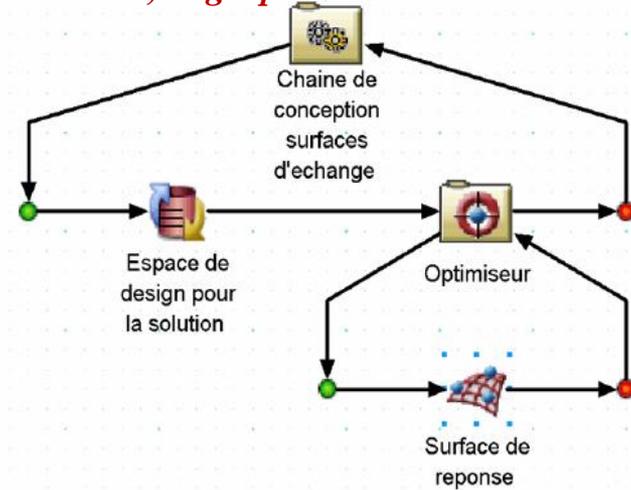


# Optimisation de la géométrie des échangeurs à tubes ailettes

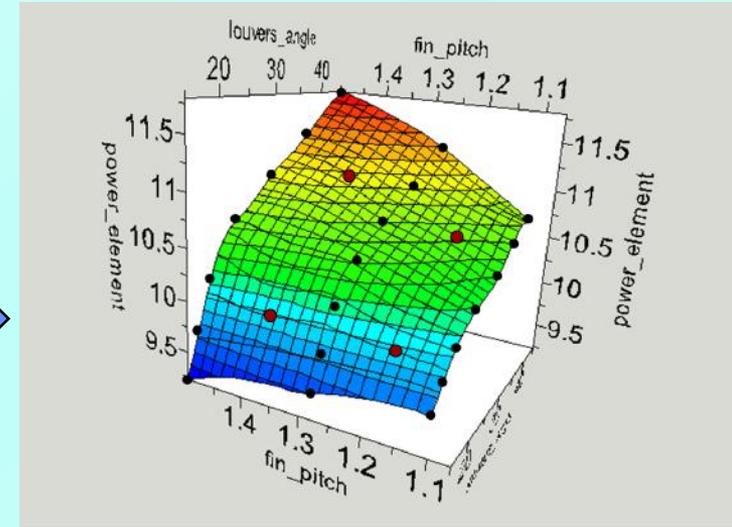
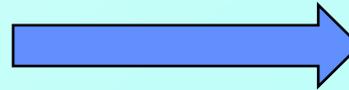


## ■ Optimisation multicritère

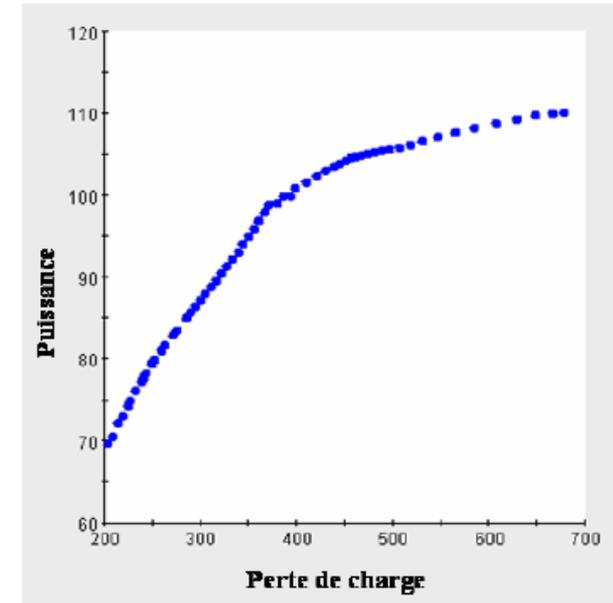
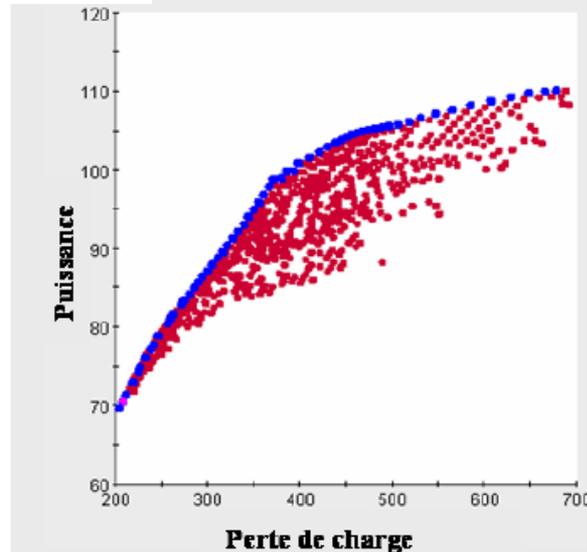
Variables : FP, angle persiennes



Construction de surface de réponse



Utilisation de l'optimiseur  
Algorithme génétique : NSGA2



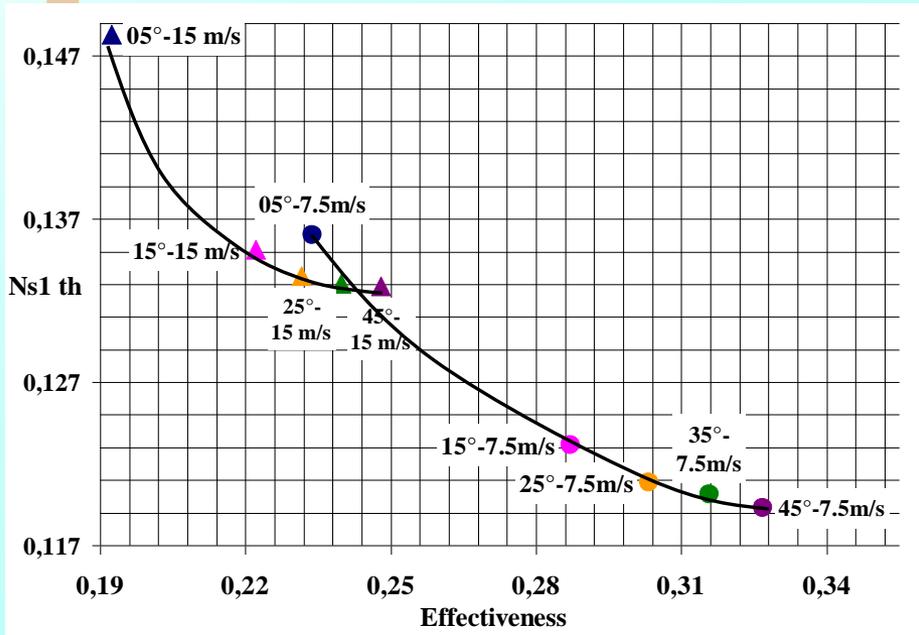


## ■ Second principe, production d'entropie

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

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

$N_{s1th}$  vs effectiveness



$N_{s1th,v}$  vs effectiveness

