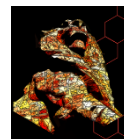


Optimisation d'un micro-échangeur à partir d'un bilan entropique

Emna DELLALI¹, François LANZETTA¹, Sylvie BEGOT¹, Jean-Yves RAUCH²

¹ Institut FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comté, département Energie, Belfort

² Institut FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comté, département AS2M, Besançon



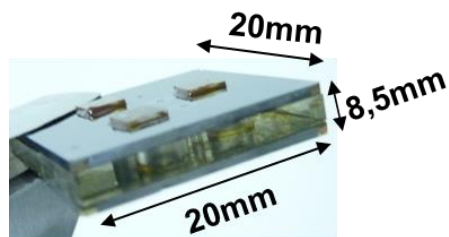
1 - Introduction

Contexte

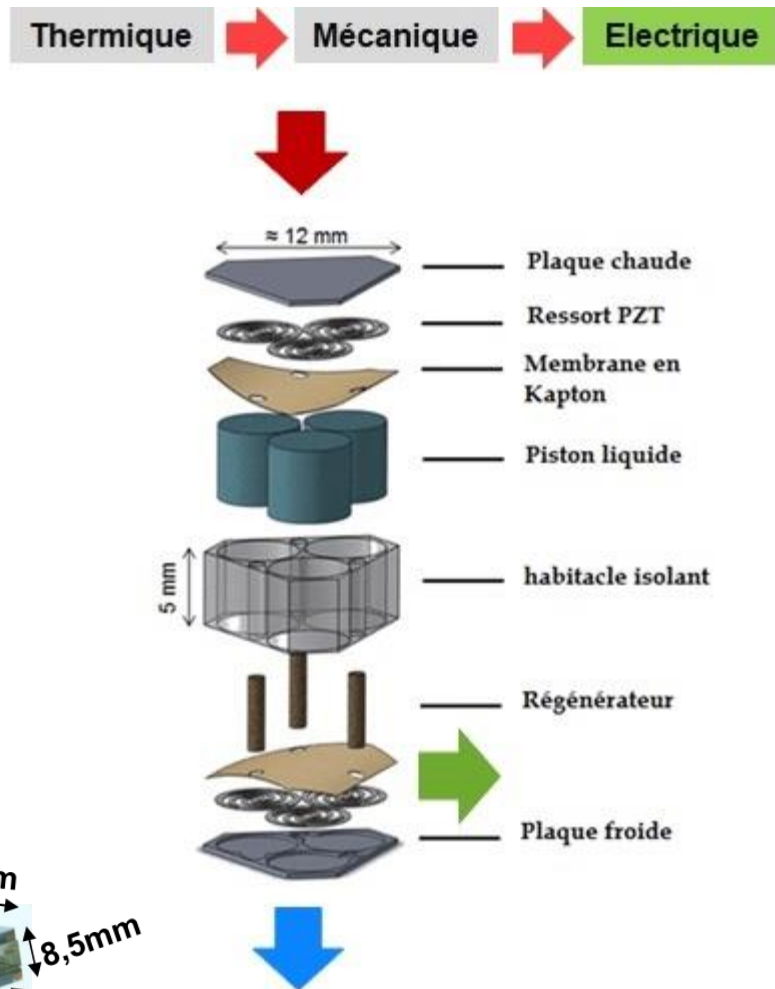
Réalisation de micromachines thermiques pour la conversion d'énergie.

Réalisation des échangeurs, régénérateur, membranes, canaux de transfert de gaz.

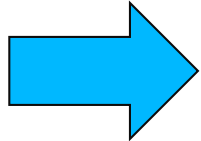
Nécessité d'évaluer théoriquement et expérimentalement les performances thermo-fluidiques des différents composants.



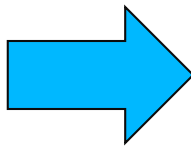
Conversion d'énergie



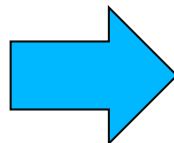
Objectifs



Déterminer les performances optimales d'un micro-échangeur verre/silicium/verre réalisé en technologie MEMS pour lequel des corrélations de coefficient de frottement ont été établies en écoulement de gaz monodirectionnel continu.



Nous avons défini un facteur adimensionnel de production d'entropie N_S qui présente un minimum en fonction du nombre de Reynolds de l'écoulement.



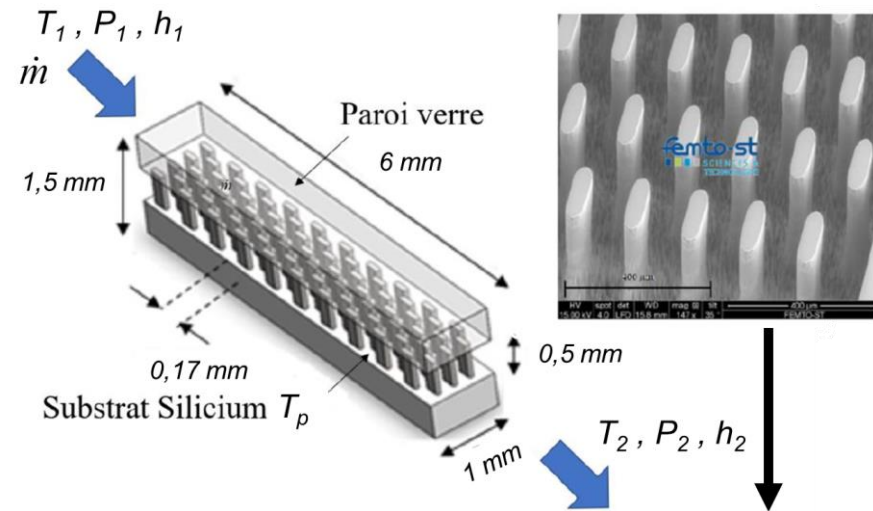
Nous montrerons que les irréversibilités fluidiques causées par les pertes de charge sont supérieures à celles générées par les irréversibilités thermiques sous faible gradient de température.

2 - Moyens et méthodes

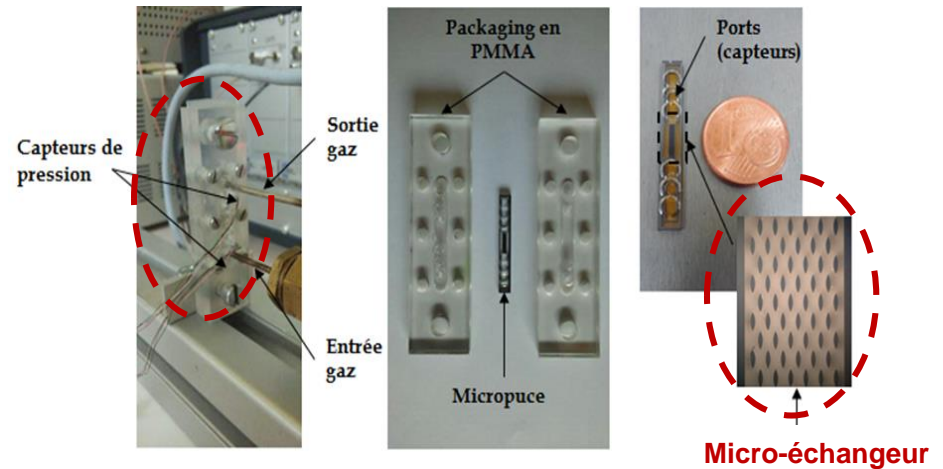
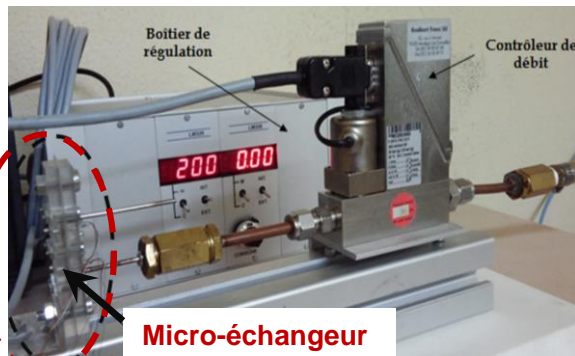
Micro-échangeur

Caractéristiques

- Matériaux : verre/silicium/verre
- Longueur $L = 6 \text{ mm}$
- Largeur : $l = 1 \text{ mm}$
- Hauteur : $h = 0,5 \text{ mm}$
- Différentes géométries d'ailettes
- Ailettes oblongues en silicium :
de dimensions : $60 \mu\text{m} \times 170 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$
- Diam. hydraulique : $268 < D_h < 775 \mu\text{m}$
- Porosité ε : 0,80 ; 0,85 ; 0,90
- Fluide : gaz (N_2)



Banc d'essai en écoulement continu

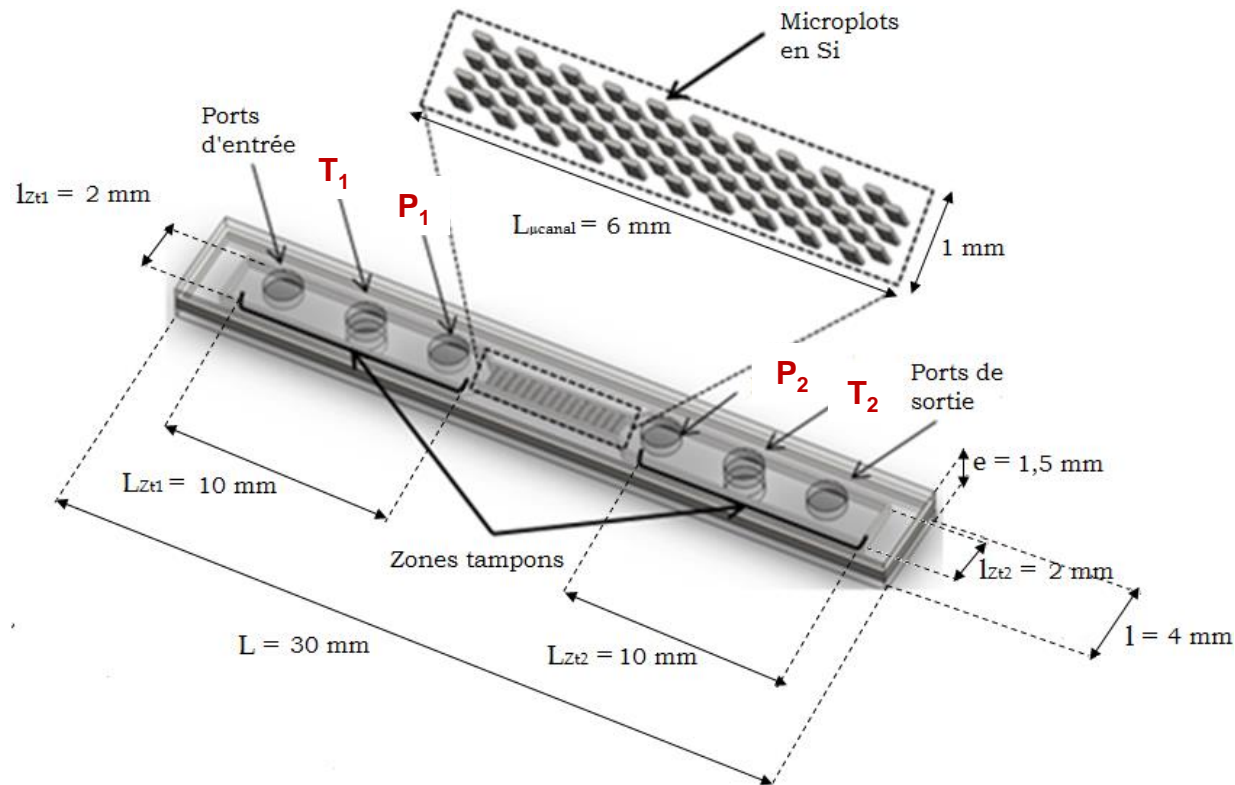


2 - Moyens et méthodes

Micro-échangeur

▪ Packaging

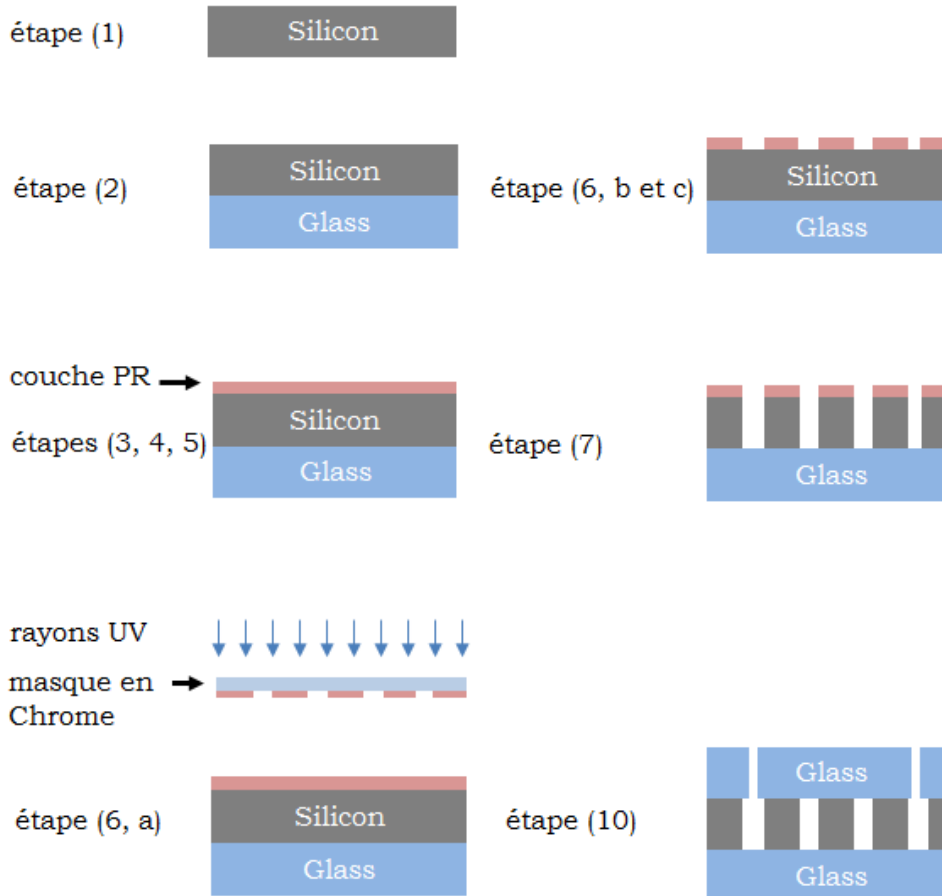
Micropuce → empilement verre/silicium/verre



2 - Moyens et méthodes

Micro-échangeur

▪ Microfabrication (DRIE) (Gravure sèche profonde)



Étape (1): préparation du substrat

Étape (2): soudure anodique verre/Si

Étape (3): wafer priming

Étape (4): spin coating

Étape (5): pré-recuit

Étape (6, a): insolation PR

Étape (6, b et c): développement PR et post-recuit

Étape (7): gravure sèche DRIE

Étape (8): décapage PR

Étape (9): perçage ouvertures

Étape (10): soudure anodique (verre/Si/verre)

Modèle entropique

Flux de chaleur transporté par le fluide

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_1 - T_2)$$

Production de flux d'entropie

$$\dot{S}_{gen} = \frac{\dot{Q}}{T_1^2} \Delta T_g + \frac{8 f (Re) \dot{m}^3 L}{\rho^2 \pi^2 D_h^5 T_1}$$

Irréversibilités
thermiques

Irréversibilités
fluidiques

Résistance thermique R_{th} entre le fluide en écoulement (azote) et la paroi de l'échangeur

$$R_{th} = \frac{L}{\dot{m} c_p} \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{2} \right)$$

Facteur adimensionnel de production d'entropie N_S rapporté à la température d'entrée du fluide dans le micro-échangeur

Efficacité thermique E de l'échangeur

$$E = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_p}$$

Coefficient de frottement

$$f(Re) = 103 Re_{Dh}^{-0,916}$$

$$2 < Re_{Dh} \leq 42 \quad \text{et} \quad \varepsilon = 0.8$$

Paramètre adimensionnel Θ

$$\Theta = \frac{R_{th} \dot{Q}}{T_1 L}$$

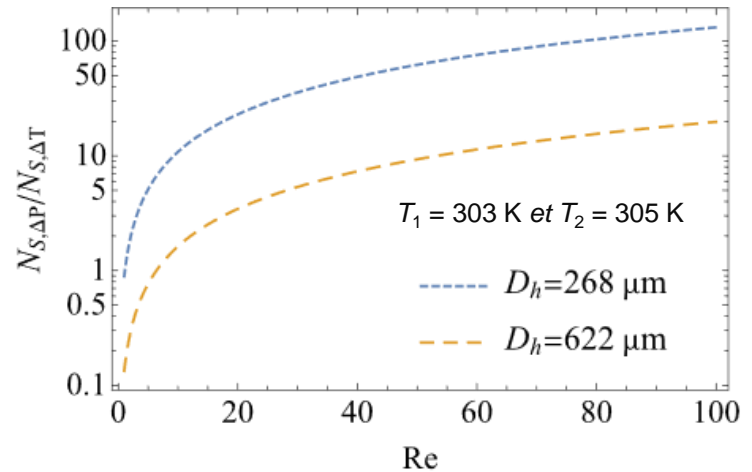
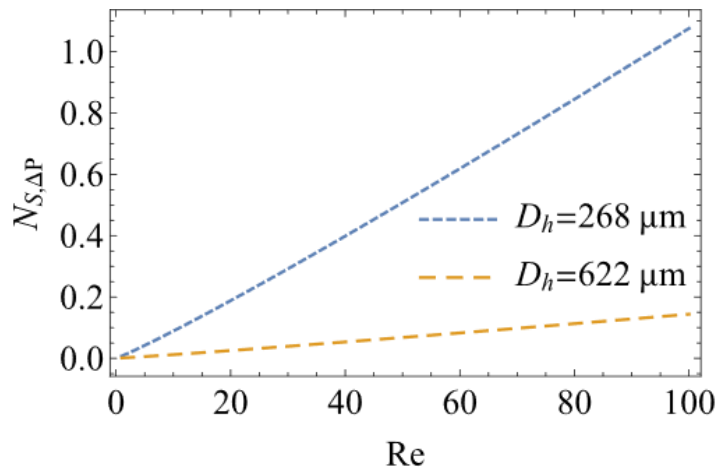
$$N_S = \underbrace{\Theta + \frac{T_1 - T_2}{2T_1}}_{N_{S,\Delta T}} + \underbrace{\frac{\pi \mu^3 R_{th}}{8 \rho^2 D_h^2} \frac{Re^3}{\Theta T_1} f(Re)}_{N_{S,\Delta P}}$$

Irréversibilités
thermiques

Irréversibilités
fluidiques

3 - Etude paramétrique du facteur adimensionnel de production d'entropie N_S

Influence du diamètre hydraulique D_h

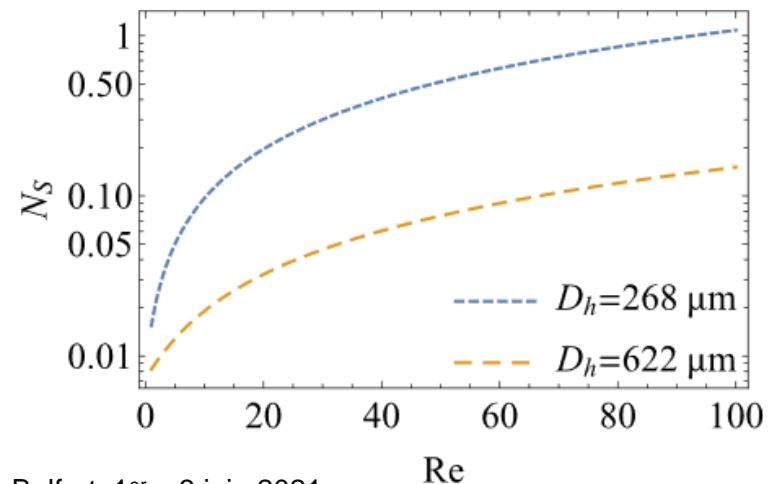


$N_{S,\Delta P} \uparrow$ avec les pertes de charge et lorsque $D_h \downarrow$

$N_{S,\Delta P} < N_{S,\Delta T}$ à faible Re ($Re < 10$ pour $D_h = 622 \mu\text{m}$)

Globalement, pour notre cas d'étude :

↳ $N_{S,\Delta P} > N_{S,\Delta T}$ pour $Re > 10$
Effets thermiques négligeables



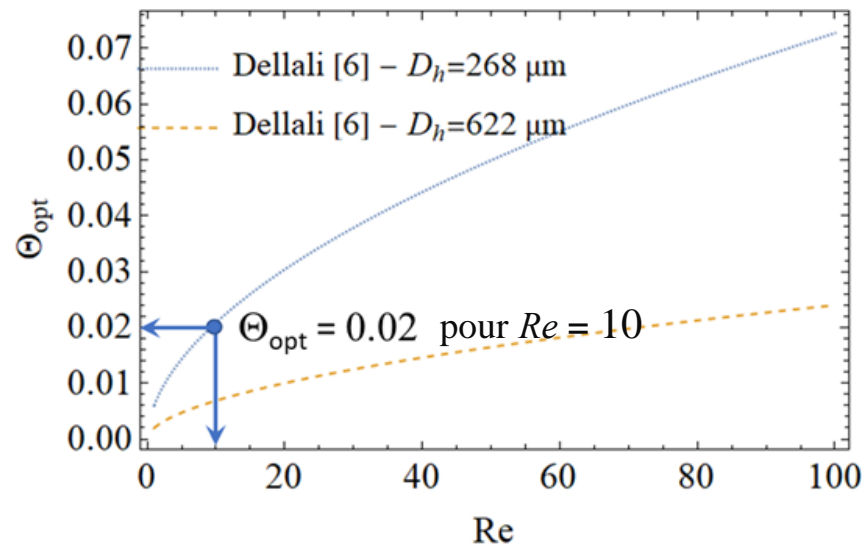
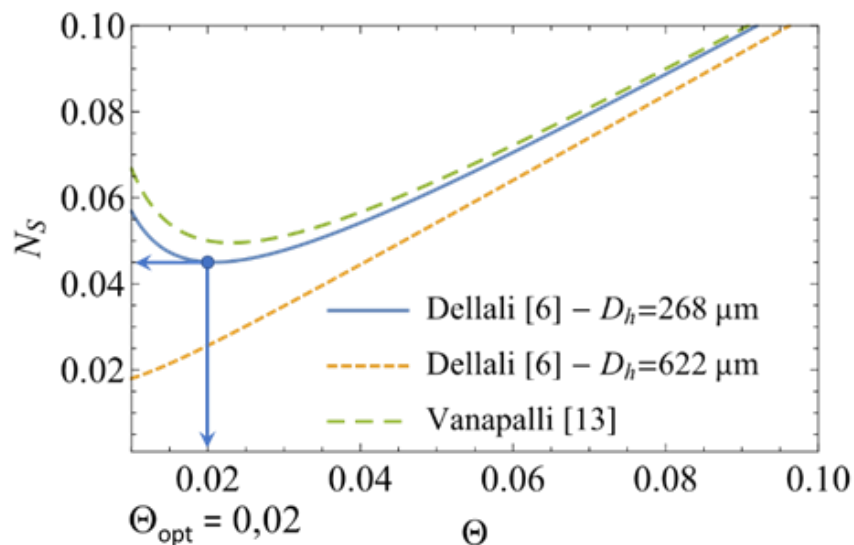
Minimisation de la production du flux d'entropie N_S

$$\frac{\partial N_S}{\partial Re} = 0$$

$$Re_{opt} = 0$$

$$\frac{\partial N_S}{\partial \Theta} = 0$$

$$\Theta_{opt} = \sqrt{\frac{\pi}{8} \frac{\mu^3 R_{th}}{\rho^2 D_h^2 T_1} Re^3 f(Re)}$$



Pour les faibles valeurs de D_h , N_S présente un optimum (minimum) en fonction de Θ
 Pour $\Theta > 0,02$, N_S augmente et $N_{S,\Delta P} < N_{S,\Delta T}$
 Les irréversibilités fluidiques sont logiquement nulles pour $Re = 0$ et $\Theta_{opt} \uparrow$ avec Re

4 - Conclusion et perspectives

Nous avons défini un facteur adimensionnel de production d'entropie N_S permettant de quantifier les irréversibilités fluidiques $N_{S,\Delta P}$ et thermiques $N_{S,\Delta T}$

$$N_S = \underbrace{\Theta + \frac{T_1 - T_2}{2T_1}}_{N_{S,\Delta T}} + \underbrace{\frac{\pi \mu^3 R_{th} Re^3}{8 \rho^2 D_h^2 \Theta T_1} f(Re)}_{N_{S,\Delta P}}$$

Nous avons montré que la production du flux d'entropie N_S présente un minimum pour différentes conditions d'écoulements.

Dans la faible gamme de température de notre application, nous montrons que $N_{S,\Delta P} > N_{S,\Delta T}$

La prochaine étape sera la caractérisation expérimentale en écoulement permanent continu avec gradient de température, pour différents types de fluides gazeux (N_2 , H_2 , He), avant d'aborder les écoulements alternés.



Merci de votre attention

