

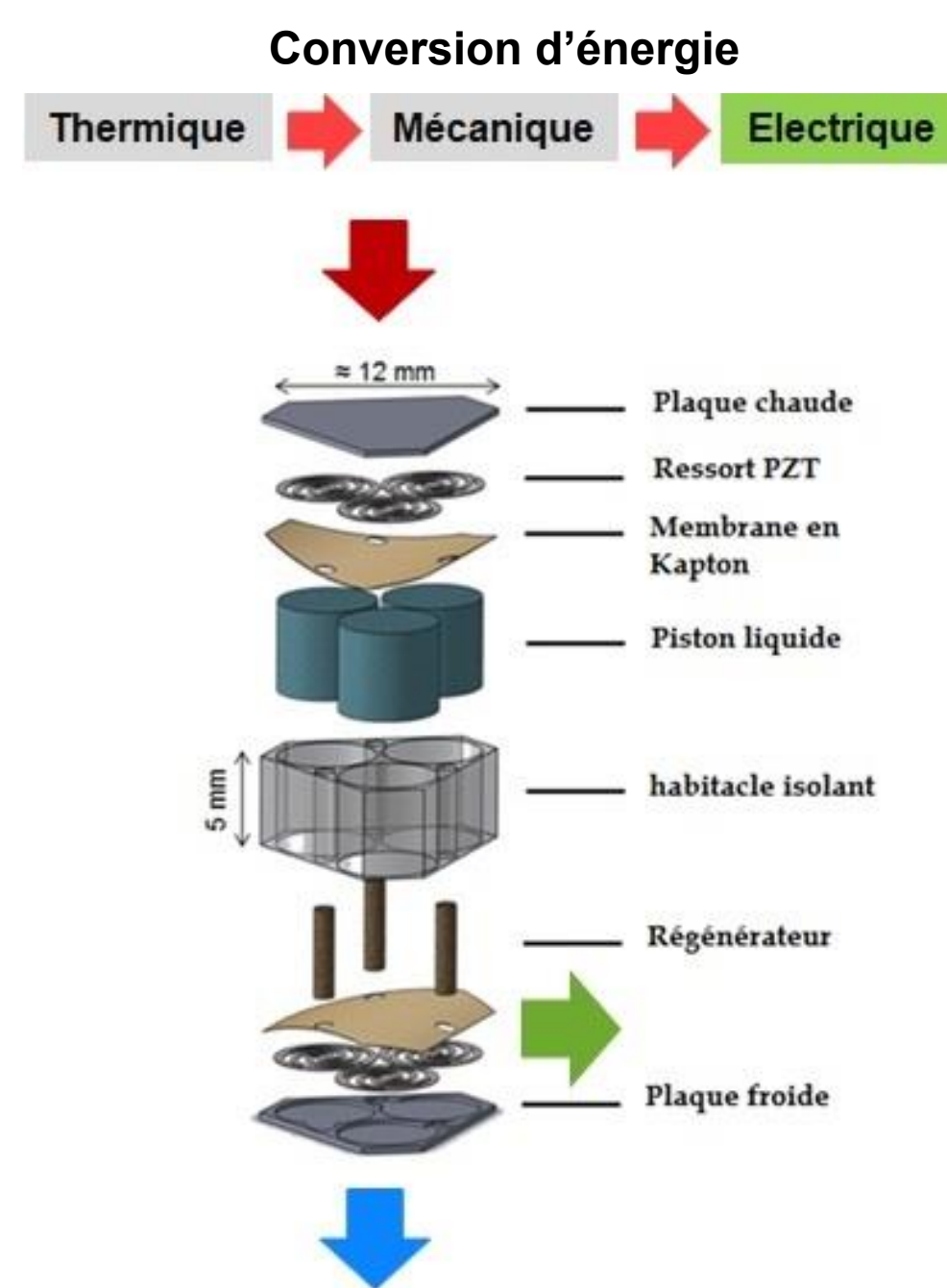
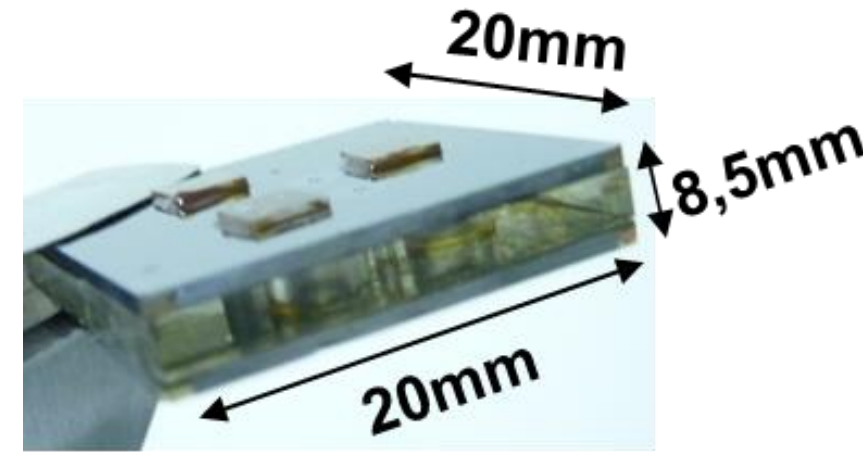
Optimisation d'un micro-échangeur à partir d'un bilan entropique

Emna DELLALI¹, François LANZETTA^{1*}, Sylvie BEGOT¹, Jean-Yves RAUCH²

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.



Objectifs

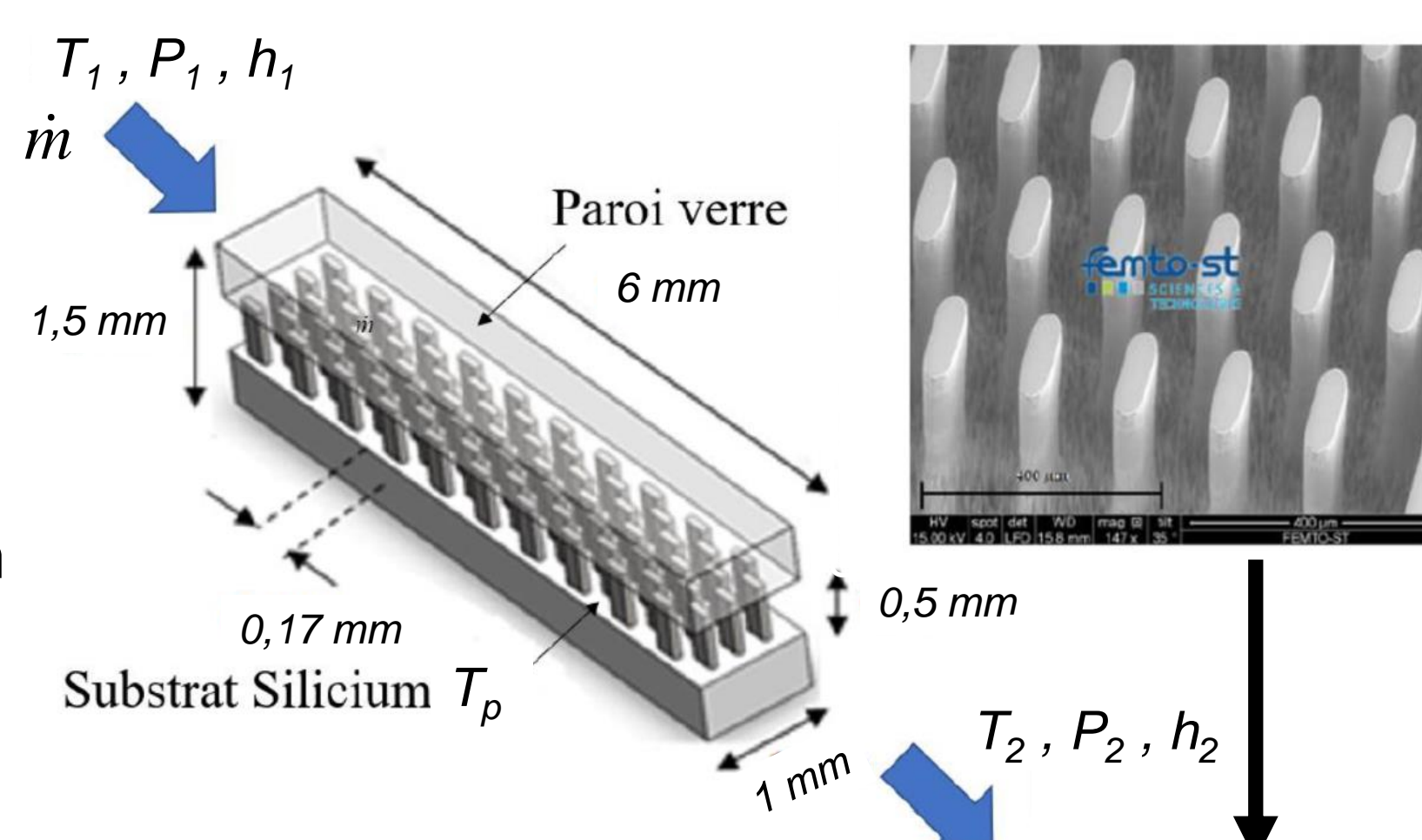
Déterminer les performances optimales d'un micro-échangeur verre/silicium réalisé en technologie MEMS pour lequel des corrélations de coefficient de frottement ont été établies en écoulement de gaz monodirectionnel continu.
Nous avons défini un facteur adimensionnel de production d'entropie qui présente un minimum en fonction du nombre de Reynolds de l'écoulement.
Nous montrons que les irréversibilités fluidiques causées par les pertes de charge sont supérieures à celles générées par les irréversibilités thermiques sous faible gradient de température,

Moyens et méthodes

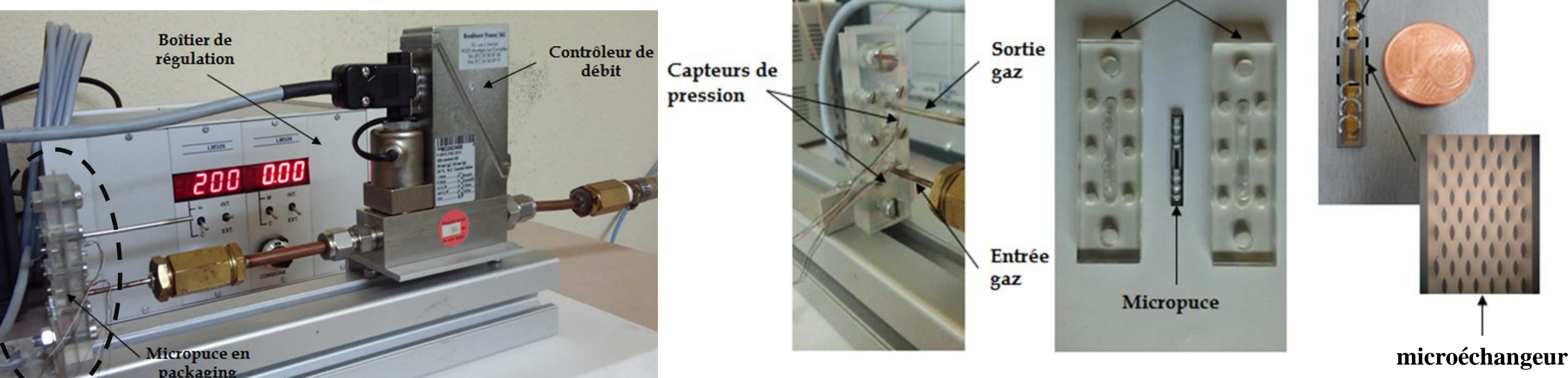
Micro-échangeur

Caractéristiques

- Matériaux : verre/silicium/verre
- Longueur $L = 6$ mm
- Largeur $l = 1$ mm
- Hauteur $h = 0,5$ 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



Modèle entropique

Flux de chaleur transporté par le fluide

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

Production de flux d'entropie

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

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

$$f(Re) = 103 Re_{Dh}^{-0.916} \quad 2 < Re_{Dh} \leq 42 \quad \text{et} \quad \varepsilon = 0.8$$

Paramètre adimensionnel Θ

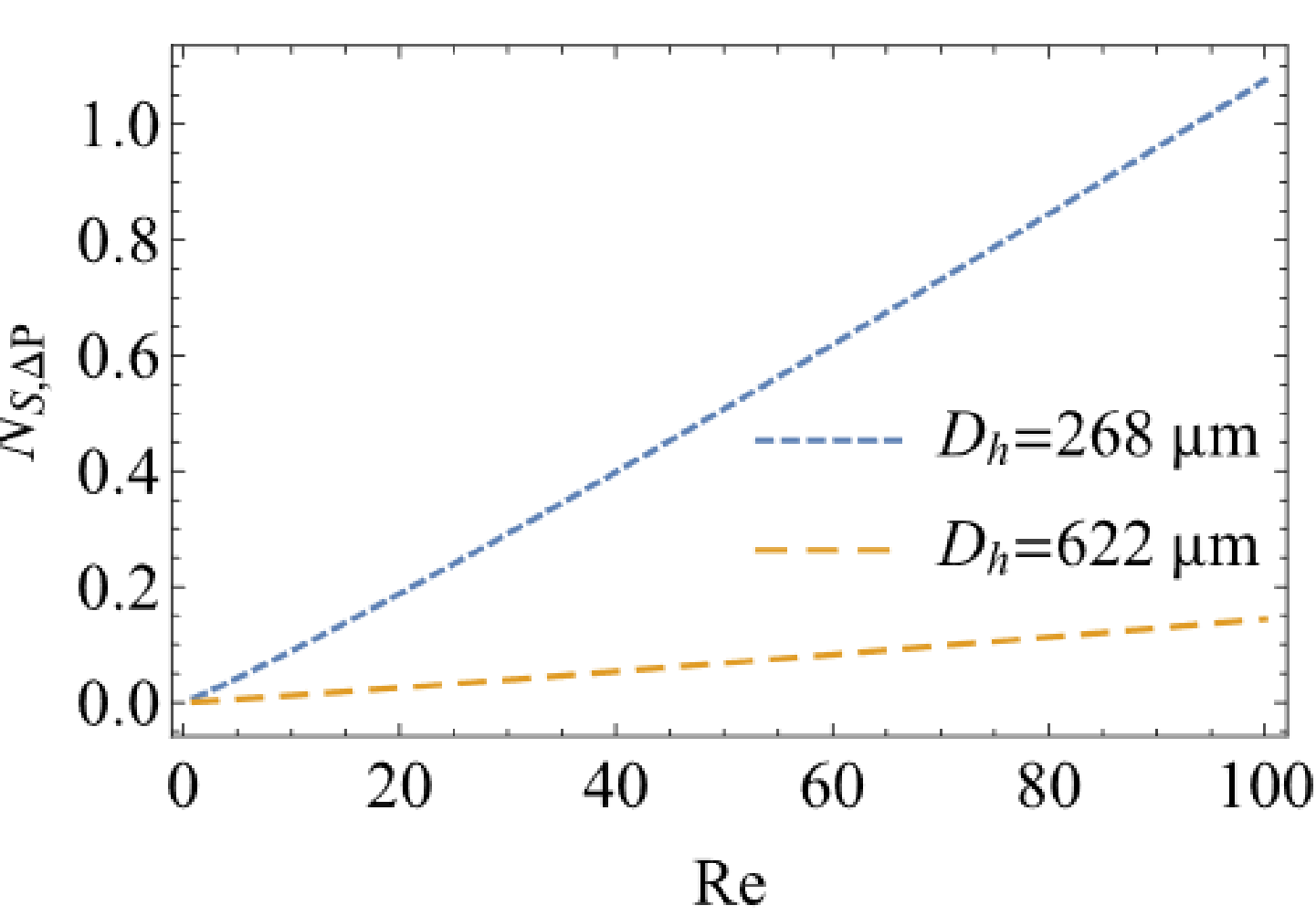
$$\Theta = \frac{R_{th} \dot{Q}}{T_1 L}$$

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

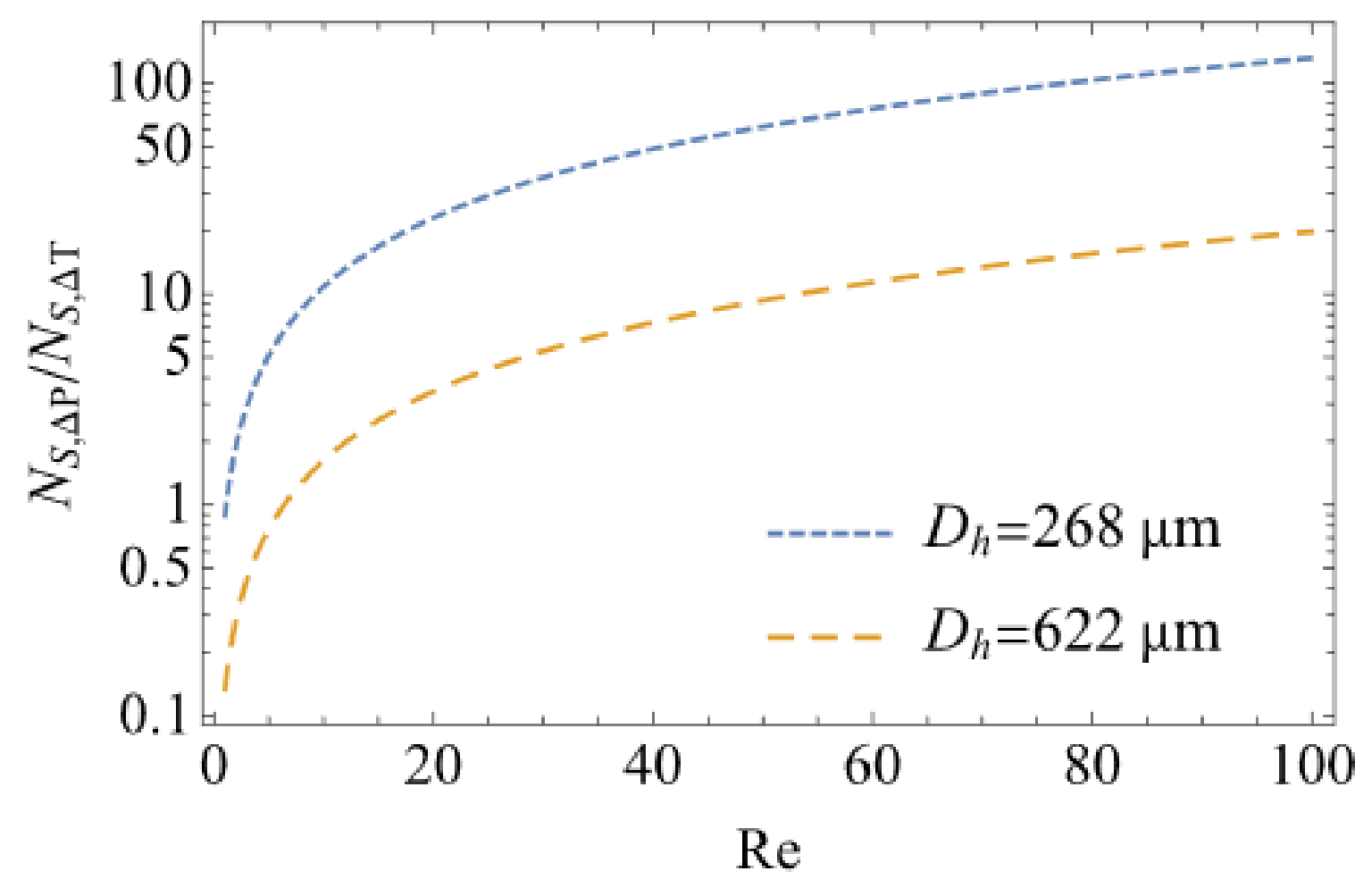
Irréversibilités thermiques Irréversibilités fluidiques

Etude paramétrique du facteur adimensionnel de production d'entropie N_S

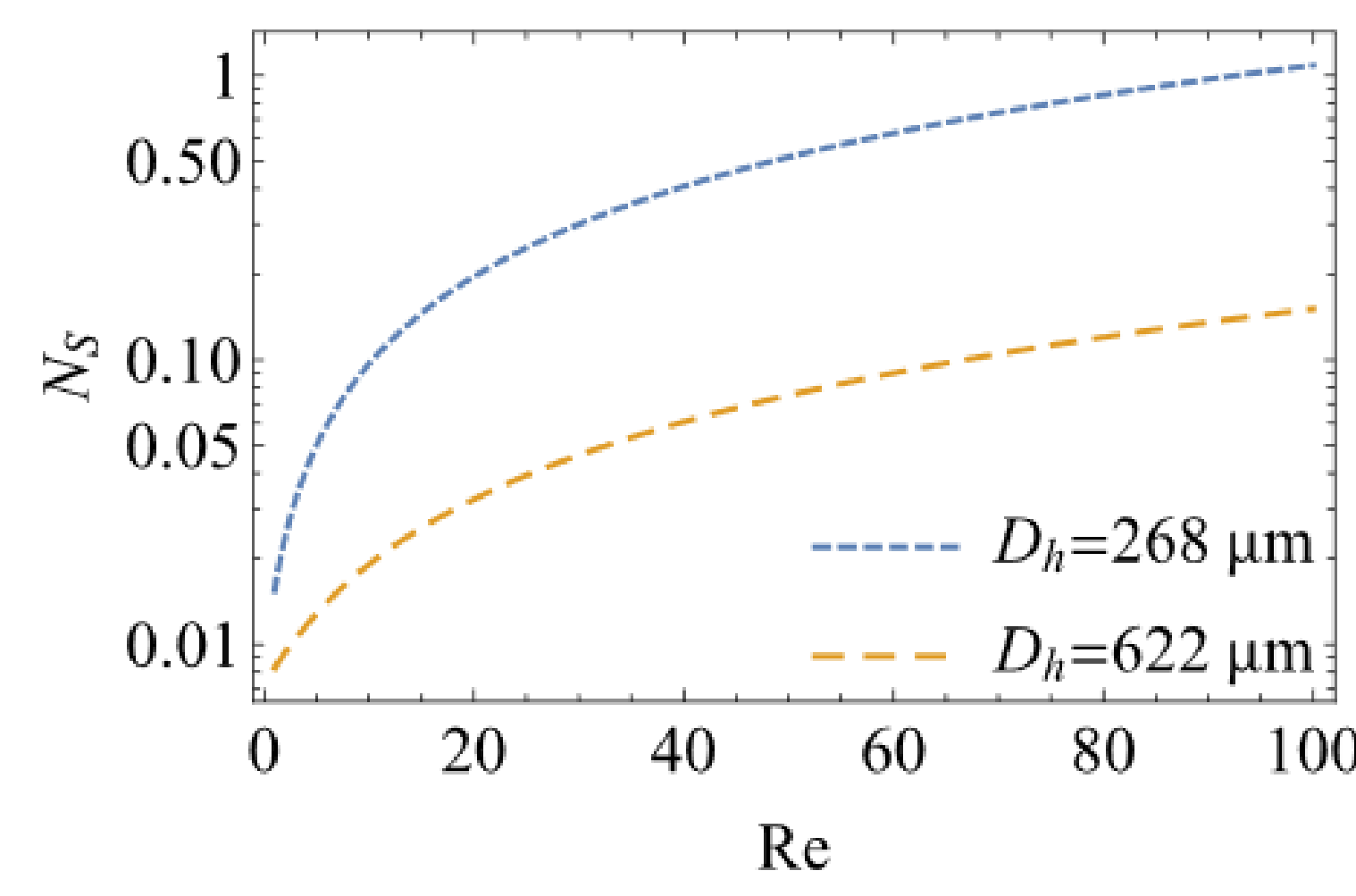
Influence du diamètre hydraulique D_h



Production d'entropie fluidique adimensionnelle $N_{S,\Delta P}$

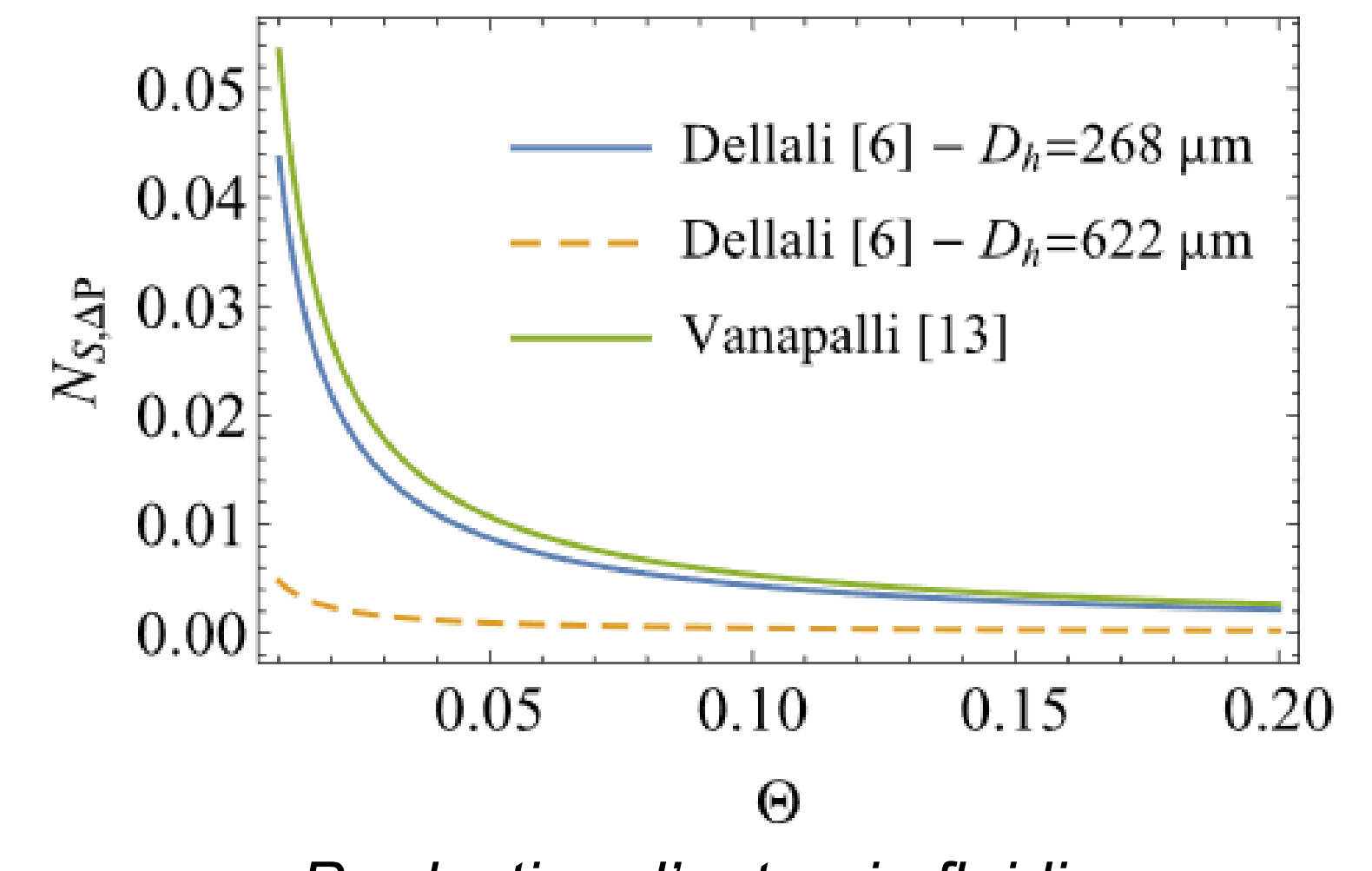


Rapport des productions d'entropies adimensionnelles fluidique et thermique en fonction de Re ($T_1 = 303$ K et $T_2 = 305$ K)



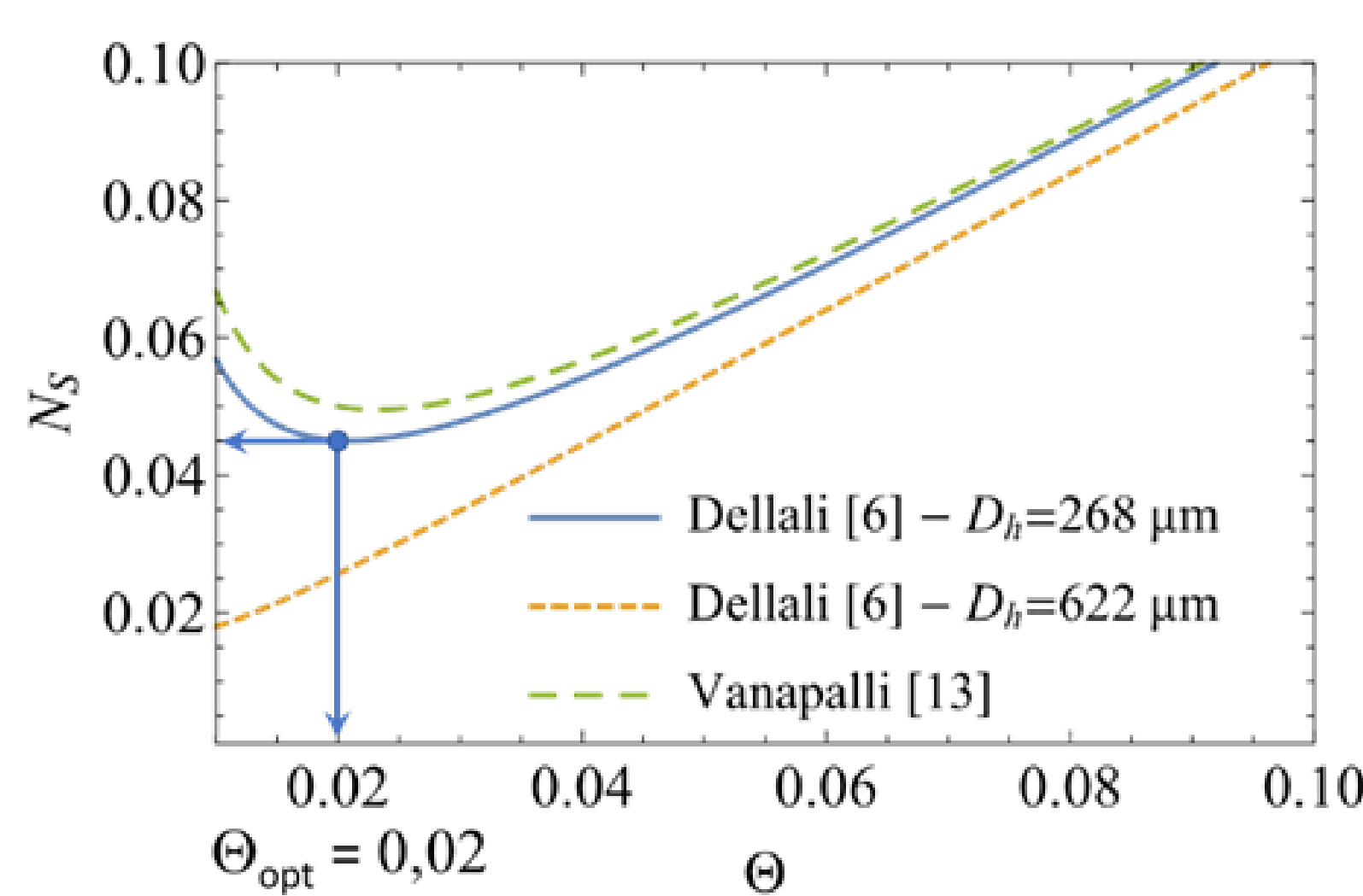
Production d'entropie adimensionnelle totale N_S en fonction de Re

Influence de Θ

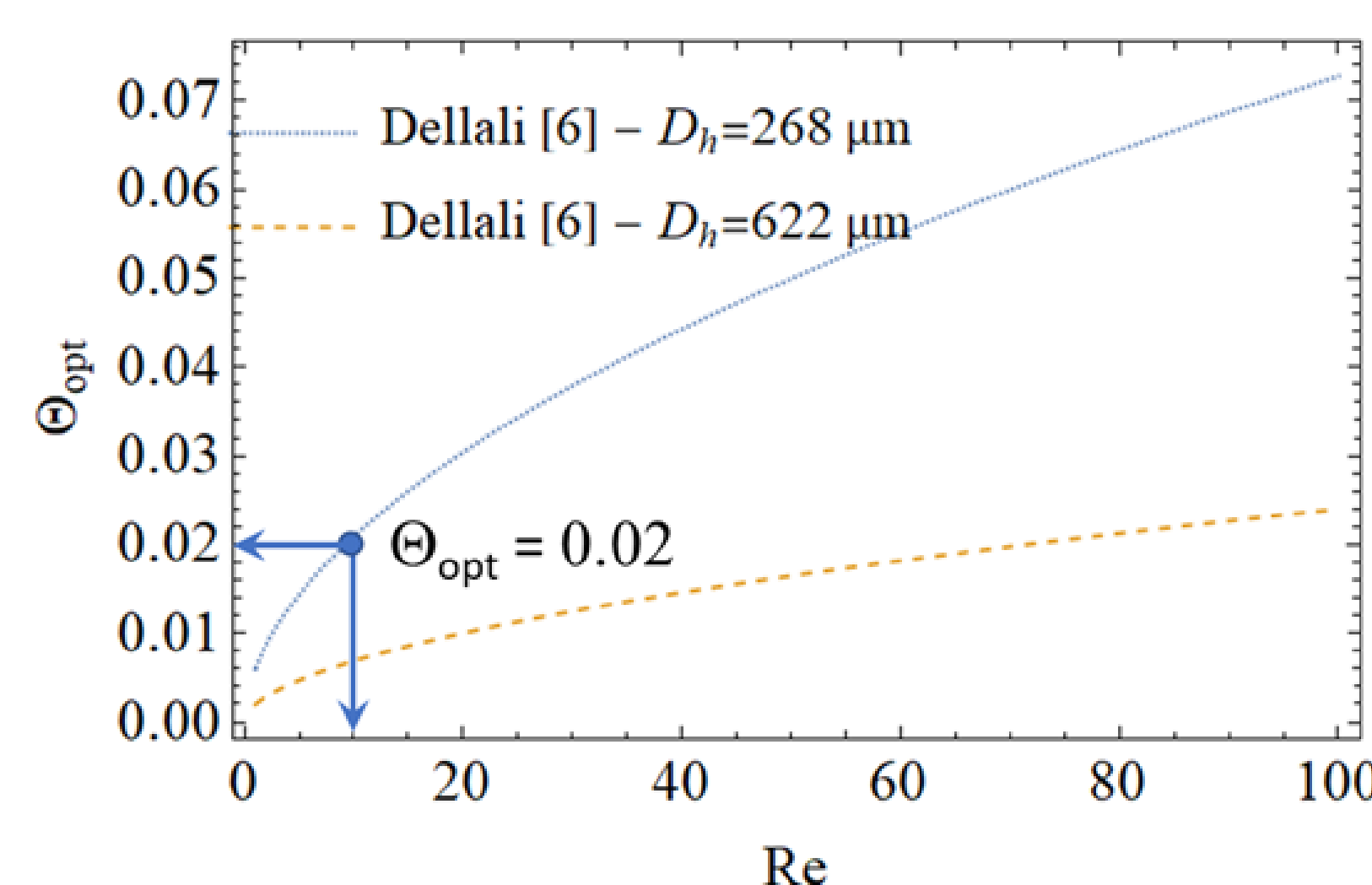


Production d'entropie fluidique adimensionnelle $N_{S,\Delta P}$ en fonction de Θ ($Re = 10$)

Minimisation de la production du flux d'entropie



Minimum de production d'entropie adimensionnelle totale N_S en fonction de Θ



Paramètre adimensionnel Θ en fonction du nombre de Reynolds Re ($\Theta_{opt} = 0.02$ pour $Re = 10$)

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

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 $N_{S,\Delta T}$

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 avec gradient de température, pour différents types de fluides gazeux (N_2 , H_2 , He).

[6] E. Dellali, Thèse de l'Université Bourgogne Franche-Comté, 2018
[13] S. Vanapalli et al., Journal of Micromechanics and Microengineering, 2007