

PROPOSITION DE STAGE – MASTER 2

Titre : Micro-écoulement gazeux raréfié dans une bifurcation

Responsable(s) :

BARROT Christine, Maître de Conférences, Institut Clément Ader, christine.barrot@insa-toulouse.fr 05 61 77 10 99

ROJAS-CARDENAS Marcos-Rojas Cardenas, Maître de Conférences, rojascar@insa-toulouse.fr

Lieu du stage : Institut Clément Ader – 3 rue Caroline Aigle – 31400 Toulouse

Durée / période : 5 mois, de début février à fin juin 2022

Candidature [CV, lettre de motivation, références] à envoyer à : christine.barrot@insa-toulouse.fr et rojascar@insa-toulouse.fr

Contexte et motivations

Le rapide développement des matériaux semi-conducteurs a permis de faire d'énormes progrès dans les différents procédés de micro-fabrication amenant au développement d'un grand nombre de Micro Systèmes Electro Mécaniques (ou MEMS pour Micro Electro Mechanical Systems). Certains de ces systèmes, comme par exemple les laboratoires sur puces [1], les systèmes d'analyses ou de séparation de gaz [2] ou encore les systèmes portables dédiés à la délivrance de médicaments [3], nécessitent l'utilisation d'un système de pompe, actuellement externe, permettant d'acheminer le gaz à travers leurs différents éléments.

De nombreuses études, analytiques, numériques ou expérimentales ont été menées, au cours des vingt dernières années, sur les écoulements permanents de gaz dans les microsystèmes [4]. Le confinement poussé de ce type d'écoulement se traduit par leur raréfaction : le libre parcours moyen des molécules devient non négligeable devant le diamètre hydraulique avec des conséquences comparables à celles résultant d'une baisse de pression. Le niveau de raréfaction se traduit par l'apparition de déséquilibres thermodynamiques locaux d'abord au niveau des parois (apparition d'une vitesse de glissement et d'un saut de température) pour des écoulements dits modérément raréfiés puis dans l'ensemble de l'écoulement à des niveaux de raréfaction plus poussés. Ces déséquilibres peuvent modifier de façon considérable la dynamique des écoulements ainsi que les transferts thermiques associés.

Les travaux menés à l'Institut Clément Ader visent d'une part à comprendre et caractériser ces phénomènes et d'autre part à explorer comment ils pourraient être mis à profit pour le développement de microsystèmes novateurs.

Il existe de nombreuses études expérimentales, analytiques ou numériques [5] sur les micro-écoulements gazeux dans des canalisations simples (i.e. canal unique, comportant, une entrée et une sortie), qu'ils soient générés de manière classique par différence de pression entre l'amont et l'aval de la conduite mais aussi en imposant un gradient de température le long des parois de la conduite. On exploite alors le phénomène de transpiration thermique, à la base des pompes Knudsen particulièrement intéressantes pour les microsystèmes car sans parties mobiles.

En revanche, le comportement d'écoulements raréfiés dans des structures plus complexe comportant une ou plusieurs bifurcations (on se retrouve alors avec des configurations avec des entrées/sorties multiples) n'a fait l'objet que de très peu de travaux [6] malgré l'intérêt potentiel de ce type de géométrie pour optimiser les flux ou séparer des espèces gazeuses par transpiration thermique.



Figure 1 : Schéma d'une brique élémentaire de réseau ramifié
(a) réseau hiérarchique, (b) réseau collecteur

Dans ce contexte, l'objectif du stage sera de caractériser les écoulements générés par gradients de pression et gradients de température dans une conduite comportant une bifurcation telle que présentée schématiquement sur la Figure 1. La géométrie étudiée dans ce projet représente ce que l'on appelle une brique élémentaire de réseaux plus complexes comportant plusieurs ramifications tels que schématisés en Figure 2. Les perspectives à long terme de cette étude sont de construire des architectures bio-inspirés, qui, une fois optimisées, trouveront des applications visant à effectuer du pompage par effet Knudsen ou de la séparation d'espèces dans un mélange de gaz.

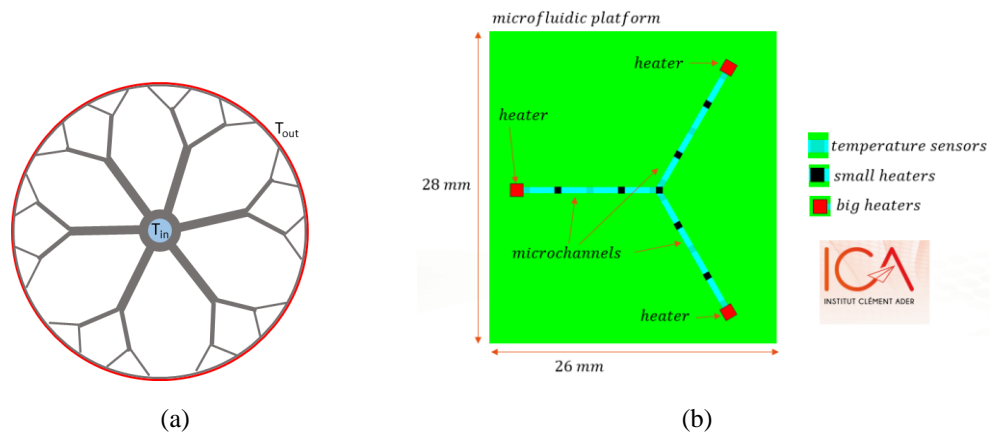


Figure 2 (a) Exemples d'architectures de pompe Knudsen basées sur une organisation de réseaux bio-inspirés : disposition circulaire avec points chauds et froid à l'extérieur et à l'intérieur respectivement (configuration inverse possible)
 (b) Prototype de séparateur d'espèces de gaz par transpiration thermique en cours de fabrication au LAAS

Objectifs du stage

Dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS), une bifurcation élémentaire comportant des micro-éléments chauffants et micro-capteurs de température implantés le long du canal est actuellement en cours de fabrication (Fig. 3). Les gradients de température générés par les éléments chauffant le long du canal donneront lieu à des écoulements par transpiration thermique que nous chercherons à caractériser expérimentalement en fonction des conditions opératoires.

Il s'agira ainsi de mesurer, à l'aide d'un banc d'essais spécifiquement développé dans notre équipe de recherche, les micro-débits générés dans ce microsystème par gradients de pression ou par gradients thermiques dans plusieurs configurations opératoires. Pour cela les étapes envisagées dans ce projet consisteront à :

- Concevoir un système de connexion du microsystème au banc d'essais,
- Mesurer les débits générés par un gradient de pression,
- Mesurer les débits générés par transpiration thermique.

En parallèle, des simulations numériques sur le code de calcul ANSYS-FLUENT, intégrant des UDF (Used Defined Function) développées par l'équipe de l'ICA pour modéliser le glissement et le saut de température à la paroi, seront réalisées en vue d'une confrontation des données et d'une analyse plus fine des écoulements générés.

Programme de recherche

- Etat de l'art sur l'analyse des écoulements gazeux dans des conduites ramifiées (bio-inspirées)
- Formation au banc d'essais de mesure de micro-débits
- Etude de l'implantation du microsystème sur le banc d'essais
- Campagne d'essais : mesure des débits dans le microsystème dans des conditions opératoires variées
- Modélisation et simulation numérique
- Traitement des données expérimentales et comparaisons avec les modèles numériques
- Synthèse (rédaction bilan)

Références

- [1] Abgrall, et al. (2007). Lab-on-chip technologies: making a microfluidic network and coupling it into a complete microsystem—a review. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 17(5), R15. <http://dx.doi.org/10.1088/0960-1317/17/5/r01>
- [2] Măriuța, et al. (2020). Miniaturization of fluorescence sensing in optofluidic devices. *Microfluidics and Nanofluidics*, 24(9), 65. <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-020-02371-1>
- [3] Barua, et al. (2021). Chapter 14 - Advances in MEMS micropumps and their emerging drug delivery and biomedical applications. Dans Nayak, et al. (édit.), *Advances and Challenges in Pharmaceutical Technology* (p. 411). Academic Press.
- [4] Colin. (2004). Rarefaction and compressibility effects on steady and transient gas flows in microchannels. *Microfluidics and Nanofluidics*, 1(3), 268. <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-004-0002-y>
- [5] Pitakarnnop, et al. (2010). A novel experimental setup for gas microflows. *Microfluidics and Nanofluidics*, 8(1), 57. <http://dx.doi.org/10.1007/s10404-009-0447-0>
- [6] Chen, et al. (2015). Gas flow in micro tree-shaped hierarchical network. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 80(0), 163. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.016>