

Écoulements diphasiques aux petites échelles – Application au refroidissement d'une pile à combustible (PEMFC)

Travail réalisé sous la direction et l'encadrement de : Yann BULTEL, Stéphane LE PERSON et Michel FAVRE-MARINET

Les écoulements diphasiques sont très étudiés depuis de nombreuses années dans le monde de la recherche (*et en particulier au sein du **Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels**¹*) ainsi que dans le monde industriel. Leurs applications visent de nombreux secteurs d'activité qui sont en forte corrélation avec : la production d'énergie, le domaine spatial et celui des transports mais aussi le secteur de la gestion thermique des procédés industriels ou le refroidissement des systèmes.

Depuis maintenant une trentaine d'années, la grande variabilité des coûts des matières premières fossiles et la prise de conscience environnementale ont motivé le recours à l'utilisation de méthodologies innovantes, qui devraient conduire à la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles. Une des techniques envisagées qui est étudiée au sein du **Laboratoire d'Électrochimie et de Physicochimie des Matériaux et des Interfaces**² est l'utilisation des piles à combustible. L'utilisation de ces piles constitue l'une des attentes majeures à l'échelle mondiale en termes de production d'énergie. Pourtant, de nombreux verrous technologiques, qui nécessitent l'apport de la recherche fondamentale, devront être levés pour parvenir à la production de ces piles à grande échelle et surtout de manière plus généralisée.

L'un des verrous technologiques du fonctionnement des piles PEMFC réside dans leur gestion thermique qui est rendue complexe par :

- la faible différence de température entre le cœur de pile (entre 60°C et 90°C) et l'environnement,
- le confinement important du cœur des piles,
- les niveaux d'énergie quelquefois importants devant être extraits du cœur de pile.

Une solution envisagée pour une gestion thermique plus efficace est l'utilisation d'un écoulement de fluide dans des conduites de refroidissement de faibles dimensions. La réduction de ces dimensions lors de la conception des canaux, mais aussi la modification de leur section de passage sont ici étudiées car leur influence sur les comportements hydrauliques et thermiques en ébullition convective est largement sous-étudiée. À l'heure actuelle, il ne semble pas exister de modélisations capables de prédire correctement les phénomènes physiques intervenant dans ces conditions. Dans ce cadre la collecte de données expérimentales devient un enjeu important pour arriver à une compréhension des phénomènes physiques intervenant à ces échelles.

Lors de ce travail, nous avons porté une attention particulière au dimensionnement du système de

¹ <http://www.legi.grenoble-inp.fr/web/>

² <http://lepmi.grenoble-inp.fr/>

refroidissement pour un écoulement en ébullition dans des mini-canaux et le fluide d'essais qui a été choisi est le forane 365 HX. Pour simplifier l'étude, l'évolution des pertes de pression ainsi que des coefficients d'échange thermique est, pour chaque cas, analysé dans un mini-canal unique. Les paramètres géométriques qui ont été choisis permettent de mettre en lumière l'influence spécifique du diamètre hydraulique de la conduite mais aussi du rapport de forme (rapport entre la hauteur du mini-canal et de sa largeur) sur les pertes de pression et aussi sur les coefficients d'échange thermique.

Dans cet exposé, nous montrerons à l'aide des données expérimentales, que la quantité d'énergie transférée lors d'un écoulement en ébullition convective est supérieure à celle d'un écoulement monophasique, à puissance de pompage équivalente (puissance nécessaire à la circulation de cet écoulement dans la mini-conduite).

Nous détaillerons ensuite des résultats qui montrent que l'influence des paramètres géométriques sur le flux minimal permettant l'apparition de l'ébullition devrait être considérée avec soin, *Figure 1*

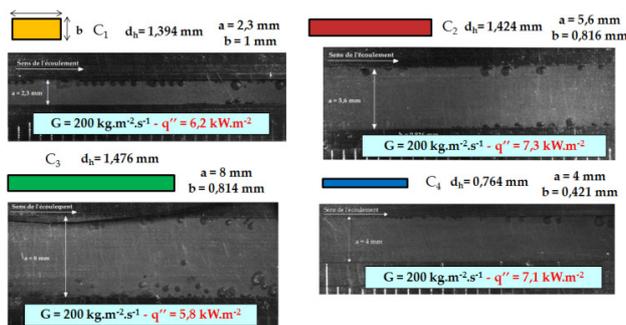


Figure 1 : Apparition de l'ébullition dans les mini-canaux

Ces mêmes paramètres ont aussi un impact sur les phénomènes d'assèchement du liquide en paroi, lorsque des flux thermiques trop importants sont appliqués à l'écoulement, *Figure 2*

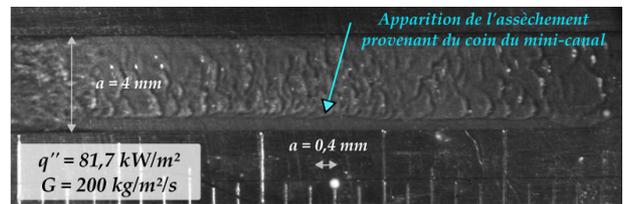


Figure 2 : Assèchement dans le coin du mini-canal

Ces phénomènes d'assèchement qui peuvent conduire à des chutes importantes des coefficients d'échange thermiques sont très importants pour la caractérisation d'un échangeur thermique en condition d'ébullition. L'ensemble des résultats obtenus nous ont permis de formuler des outils de prédiction des pertes de pression ainsi que des coefficients d'échange thermique propres à notre étude qui seront aussi détaillés. À la suite de cette partie relative au travail expérimental effectué, nous présenterons une approche de dimensionnement simplifié d'un échangeur thermique en intégration sur une pile à combustible PEMFC, qui permet de prendre en compte l'influence de la géométrie du mini-canal sur les performances énergétiques de l'échangeur de chaleur.