



Proposition de thèse de doctorat :
**Simulation numérique de l'ébullition nucléée : analyse de l'influence
du contact liquide-vapeur-solide.**

Laboratoire : LEGI (Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et industriels), Grenoble, France

Encadrants : Guillaume Balarac, Giovanni Ghigliotti

Période : octobre 2018 – septembre 2021

Profil : Il/la candidat(e) devra avoir des connaissances en mécanique des fluides et une expérience en programmation. Des compétences en physique des interfaces, écoulements multiphasiques, calcul numérique seront un plus. Le/la candidat(e) devra être capable de travailler dans une équipe et interagir efficacement avec les collaborateurs. La maîtrise de la langue écrite est nécessaire (français et/ou anglais).

Contact : giovanni.ghigliotti@univ-grenoble-alpes.fr

Date limite de candidature : lundi 28 mai 2018

Description de la problématique de recherche : Le changement de phase permet des échanges de chaleur importants grâce à l'exploitation de la chaleur latente. Il est communément utilisé dans un grand nombre d'applications, des machines frigorifiques individuelles jusqu'aux centrales nucléaires à eau bouillante. Cependant le transfert de chaleur dépend fortement de la dynamique microscopique de chaque bulle, pilotée par le comportement de la ligne triple (lieu de contact des trois phases : solide, liquide et vapeur), à son tour influencé par l'angle de contact. Des expériences récentes menées au Laboratoire LEGI ont montré qu'il est possible d'accroître le taux de transfert de chaleur à travers une opportune répartition spatiale de surfaces hydrophiles et hydrophobes. Mais les détails du comportement de la ligne triple sont difficilement accessibles expérimentalement (à cause de la dynamique rapide, de la petite échelle et de l'opacité d'un fluide en ébullition). Un consensus n'existe pas d'ailleurs sur certains mécanismes clés de l'ébullition nucléée, comme la dépendance de la taille de la bulle (au moment du détachement de la paroi) à la valeur de l'angle de contact, même dans le cas de propriétés de mouillage uniformes.

La simulation numérique est un outil adapté pour permettre l'étude du comportement microscopique des bulles de vapeur grossissant sur – et se détachant de – la paroi chauffée, qui permet d'avoir accès aux petites échelles spatiales et temporelles. Un effort de modélisation est néanmoins nécessaire pour la description de la dynamique à l'échelle nanométrique aux environs de la ligne triple, échelle trop faible pour être capturée par une simulation à la taille de la bulle.

En conclusion, il s'agit d'un problème multi-échelle de couplage multi-physique (mécanique des fluides couplée aux transferts de chaleur à travers la dynamique des interfaces) aujourd'hui mal compris. Toute avancée dans la compréhension de ce phénomène est susceptible d'avoir des retombées technologiques positives dans les nombreux procédés d'échange de chaleur par changement de phase, et donc dans la diminution de la demande énergétique humaine.

Objectif : (i) Développement et implémentation dans l'outil de simulation numérique YALES2 (voir Méthode) d'une modélisation de la ligne triple valable en présence de changement de phase. (ii) Étude numérique de l'effet de l'angle de contact sur la dynamique des bulles de vapeur se détachant d'une surface chauffée. (iii) Exploration de configurations de surfaces possédant des zones hydrophiles et des zones hydrophobes, et de leurs conséquences sur le transfert thermique entre solide et fluide à travers la dynamique d'ébullition.

Contexte : Une thèse est actuellement en cours au LEGI, centrée sur le développement d'un module d'ébullition au sein du code de calcul de mécanique des fluides YALES2. Le projet proposé en constitue l'extension naturelle vers l'obtention d'un outil performant pour la simulation des transferts de chaleur par changement de phase. Des pistes ont déjà été explorées dans la thèse en cours.

Méthode : développement dans l'outil de simulation numérique pour la mécanique des fluides YALES2, code de calcul haute performance co-développé par l'équipe MoST dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique SUCCESS (<https://success.coria-cfd.fr>), qui en garantit la pérennité. YALES2 est basé sur la méthode des volumes finis résolue à l'aide d'un maillage non structuré, ce qui permet à la fois de résoudre des écoulements en géométrie réaliste et d'utiliser des stratégies de remaillage dynamique. Pour le problème d'ébullition, cela permet de garder la nécessaire haute résolution spatiale autour des interfaces liquide-vapeur évoluant dans le temps, tout en optimisant le nombre total de mailles, et donc le temps et le coût du calcul.

Résultats attendus : Exploration de la dépendance du coefficient d'échange thermique de l'angle de contact (angle entre l'interface liquide-vapeur et la paroi solide), y compris dans le cas de propriétés de mouillage hétérogènes.

Collaborations envisagées : Deux collaborations sont envisagées. Une l'est avec Thierry Biben (Institut Lumière Matière, Lyon, expert de la physique des interfaces) au sujet de la modélisation de la ligne triple. Une autre l'est avec Sébastien Tanguy (IMFT Toulouse, dont l'approche numérique pour l'ébullition est à l'état de l'art), afin d'étendre son approche de la solution numérique du changement de phase au contexte d'un maillage non structuré.