

Etude expérimentale de l'ébullition dans un milieu poreux modèle : évaluation du taux de vide.

A. Gourbil^a, P. Duru^a, F. Fichot^b, M. Quintard^a, M. Prat^a

^aInstitut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT) - Université de Toulouse, CNRS-INPT-UPS, Toulouse FRANCE

^bInstitut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), BP3 13115 St Paul lez Durance, France

Mots clés : taux de vide, flux critique, ébullition convective

1 Introduction

Dans les études de sûreté des centrales nucléaires, le “renoyage” occupe une place importante. En cas d'accident grave de perte de refroidissement primaire, les matériaux d'un cœur de réacteur nucléaire peuvent fondre, s'effriter, et constituer un lit de débris radioactifs qu'il convient de refroidir le plus efficacement possible. Cela est réalisé par un renvoi d'eau dans le cœur de réacteur endommagé, opération appelée renoyage. La compréhension des phénomènes en jeu nécessite de s'intéresser à l'ébullition convective intense dans un milieu poreux surchauffé [1]. Afin de caractériser les phénomènes d'ébullition à l'échelle du pore, un modèle de milieu poreux “bidimensionnel” chauffé en masse a été conçu et réalisé à l'IMFT [2]. Les expériences ont montré l'influence du chauffage du milieu sur le flux critique d'assèchement local, et ont permis d'obtenir des visualisations de l'ébullition au sein de l'espace poral. Les visualisations sont actuellement traitées pour déterminer des taux de vide. La complexité des images à analyser a conduit à la réalisation d'une expérience diphasique isotherme permettant de calibrer les algorithmes de traitement d'images.

2 Dispositif expérimental

La cellule d'essai est composée de 392 cylindres de 2 mm de diamètre disposés transversalement entre deux plaques parallèles de céramique espacées de 3mm, dont l'une transparente permet la visualisation des écoulements (Figure 1.a). Les cylindres sont des sondes à résistance de platine Pt100 présentant une double fonction : ils sont utilisés comme éléments chauffants contrôlables individuellement et comme capteurs de température. Le contrôle en puissance est effectué au moyen d'un asservissement électronique. La cellule d'essai est dans un plan vertical, le liquide (HFE-7000, $T_{sat}=34^{\circ}\text{C}$ à pression atmosphérique) y est injecté par le bas à débit, pression et température d'injection réglables. Le dispositif permet ainsi d'imposer une puissance thermique contrôlée aux éléments chauffants, de relever la température de ces éléments, et de visualiser les écoulements. La puissance applicable par élément va de 50 mW à 6,5 W. Le choix du HFE-7000 comme fluide permet d'étudier tous les régimes d'ébullition, de l'ébullition nucléée jusqu'à l'ébullition en film, sans imposer de contraintes thermiques trop élevées pour le dispositif.

3 Résultats

Des expériences en régime transitoire de type renoyage ont été effectuées, elles ne sont pas présentées ici (elles ont déjà été détaillées lors d'une présentation aux précédentes JEMP en 2014 à Toulouse). Par ailleurs des expériences en régime stationnaire ont permis d'établir des courbes d'ébullition de type Nukiyama pour un cylindre chauffant particulier. L'influence de la puissance thermique dégagée par le milieu poreux sur la courbe d'ébullition autour de cet élément chauffant a été mise en évidence : en particulier, lorsque la puissance globale dégagée par le milieu augmente, on constate une baisse du flux critique que cet élément peut transmettre au liquide par ébullition convective [2].

Le travail en cours consiste à essayer de mesurer l'évolution de ce flux critique en fonction du taux de vide local. Les visualisations des écoulements obtenues par caméra rapide sont exploitées pour déterminer

par traitement d'images la fraction volumique de vapeur en fonction de la puissance thermique dégagée par le milieu. Ce traitement d'images repose sur une détection des bulles de vapeur présentes dans le milieu poreux. Les conditions de l'écoulement diphasique, bulles fortement déformées et confinées dans l'espace poral, compliquent singulièrement l'analyse des images. Deux étapes sont déterminantes dans le processus de binarisation des images qui permet de détecter les bulles : il s'agit des opérations de seuillage des images en niveaux de gris pour les convertir en noir et blanc, et de dilation-érosion des images binarisées afin de lisser les contours des bulles. Les choix du seuil de binarisation et de la taille d'un élément structurant pour la dilatation-érosion impactent sensiblement les résultats obtenus en terme de tailles des bulles. Actuellement la détermination de ces paramètres s'effectue par un contrôle visuel, en superposant les contours de bulles obtenus aux images originales et en appréciant visuellement leur bonne correspondance. Cela ne permet cependant pas d'estimer précisément les incertitudes de mesures sur les résultats finaux.

C'est pourquoi une seconde cellule d'essai de géométrie identique à l'originale a été réalisée, mais où l'on injecte directement de l'air en amont de la section test, dans une configuration d'écoulement diphasique isotherme. On cherche ainsi à reproduire à froid les mêmes structures d'écoulements que celles obtenues à chaud, dans des conditions où le débit de gaz est parfaitement contrôlé et mesuré (Figure 1.b). Dans cette expérience, des visualisations par ombroscopie sont rendues possibles par la nature transparente des deux parois (frontale et arrière) de la cellule d'écoulement. Les algorithmes de traitement d'images sont alors calibrés de sorte que la détermination des tailles et des vitesses de bulles soit cohérente avec le débit d'injection de gaz mesuré. La comparaison du débit de gaz calculé par les algorithmes au débit réellement injecté et mesuré permet alors de quantifier les incertitudes sur les résultats obtenus par traitement d'images.

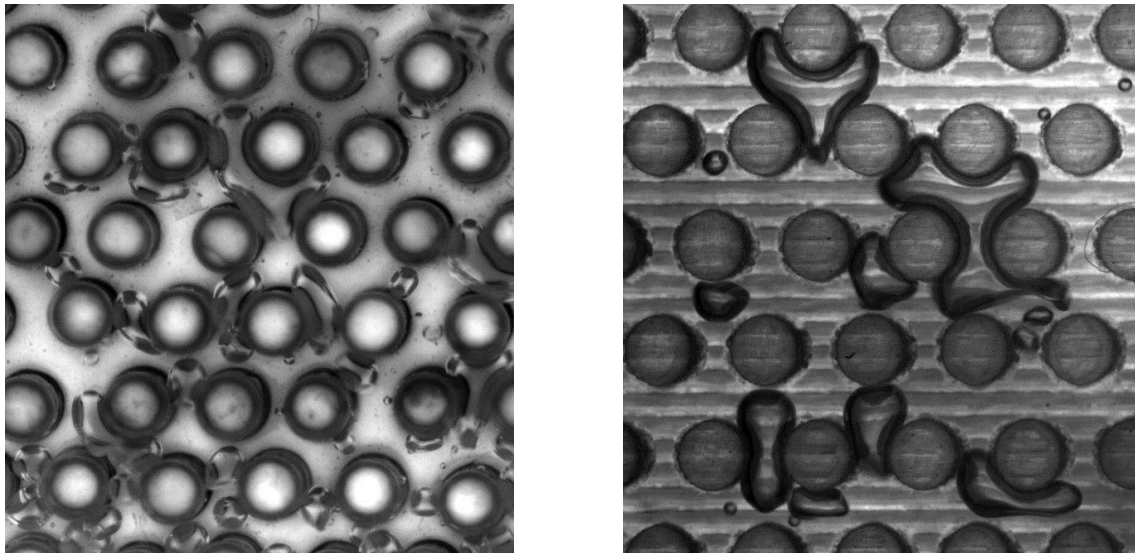


Figure 1 : a) Visualisation d'ébullition convective ; b) Visualisation d'écoulement diphasique isotherme.

A terme, on cherchera à quantifier expérimentalement l'influence du taux de vide sur le flux critique. Ces résultats devront être pris en compte dans les outils de simulation numérique du renoyage utilisés à l'IRSN, où les flux critiques sont actuellement déduits essentiellement de corrélations établies en ébullition convective de type « pool boiling ».

References

- [1] F. Fichot, F. Duval, N. Trégourès, C. Béchaud, M. Quintard, The impact of thermal non-equilibrium and large-scale 2D/3D effects on debris bed reflooding and coolability, *Nucl. Eng. Des.*, 236, 2144–2163 (2006).
- [2] P. Sapin, Etude expérimentale de l'ébullition en masse dans un milieu poreux modèle, *Thèse de doctorat*, INPT, Toulouse, France, (2014).