



HAL
open science

Contribution à l'étude de l'instabilité d'excursion de débit dans un canal vertical chauffé uniformément

Nouara Ibrahim-Rassoul, El-Khider Si-Ahmed, Toufik Hamidouche

► **To cite this version:**

Nouara Ibrahim-Rassoul, El-Khider Si-Ahmed, Toufik Hamidouche. Contribution à l'étude de l'instabilité d'excursion de débit dans un canal vertical chauffé uniformément. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00167242

HAL Id: hal-00167242

<https://hal.science/hal-00167242>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONTRIBUTION À L'ETUDE DE L'INSTABILITE D'EXCURSION DE DEBIT DANS UN CANAL VERTICAL CHAUFFE UNIFORMEMENT.

Nouara IBRAHIM -RASSOUL ^a, El-Khider SI-AHMED ^a, Toufik HAMIDOUCHE ^b,

^a Université des Sciences et de La Technologie Houari Boumediene (USTHB),
Faculté de physique, Laboratoire de Mécanique des Fluides Théorique et Appliquée
BP 32 El-Alia ALGER. Algérie.

^b Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, 02 Bd Frantz Fanon
BP 399 Alger gare 16000, Algérie.

^a *nibrahimdz@yahoo.fr*

Résumé: L'objectif de ce travail consiste à apporter une contribution à l'étude dudit phénomène instable de Ledinegg, par le développement d'un modèle théorique, permettant de situer le seuil d'apparition de l'instabilité de Ledinegg lors d'un écoulement forcé d'un fluide caloporteur dans un canal vertical soumis à un flux de chaleur constant et uniforme. Dans le but de le qualifier et de le valider, deux études comparatives ont été réalisées. La première a consisté en la confrontation des résultats du modèle à des données issues d'expériences autour d'une boucle thermo hydraulique nommée THTL. La seconde étude comparative consiste en une vérification du modèle par comparaison avec les résultats obtenus par simulation de la même boucle par un code système nommé RELAP5/Mod 3.2.

Mots clés : écoulement diphasique, Transfert de chaleur, instabilité statique, modèle de Diffusion, différences finies, schéma itératif.

1. INTRODUCTION

L'importance des écoulements diphasiques n'est plus à démontrer. De part leur grande diversité, ces écoulements sont souvent le siège de phénomènes complexes appelés "instabilités". Ces dernières ont un impact certain dans la conception et la Sécurité des installations concernées ; en effet, elles influent sur le rendement et la sécurité de certains dispositifs [2]. La première étude autour de ces instabilités a été entreprise par "M. Ledinegg" en 1938 [3]. Il observa le changement de pente de la courbe représentant la caractéristique du système étudié en fonction du débit massique; il conclut que l'existence d'une pente négative $(\partial \Delta P / \partial G)_{canal} \leq 0$ est source d'instabilité. Depuis cette étude [3], un intérêt considérable a été porté à l'étude de ces instabilités; particulièrement l'intérêt a concerné la détermination de leur seuil d'apparition dans différents systèmes à écoulement diphasique. Dans ce cadre, l'objectif de notre travail consistera à apporter une contribution à l'étude de ce phénomène par le développement d'un modèle de simulation permettant de situer le seuil d'apparition de l'instabilité de Ledinegg lors d'un écoulement forcé d'un caloporteur dans un canal vertical soumis à un flux de chaleur constant et uniforme. Les résultats expérimentaux obtenus à partir d'une boucle thermo hydraulique THTL [4] ont servi de base de validation du modèle établi.

2. MODELISATION

2.1. Position du problème

On supposera ainsi:

-le flux de chaleur est constant et uniforme le long du canal, q ;

- La température d'entrée du fluide caloporteur est en dessous de la température de saturation T_{sat} ;
- Une Région monophasique qui consiste en l'écoulement de la phase liquide et/ou ébullition nucléée partielle (formation d'une couche mince de nucléons de vapeur à la paroi). Cette région s'étend de la côte $Z=0$ (entrée du canal) jusqu'à la côte Z_d (coordonnée axiale dans le canal ou survient le seuil de détachement des bulles de la paroi) ;
- Une Région diphasique qui s'étend au-delà du point de seuil de détachement des bulles de la paroi (côte Z_d) jusqu'à la sortie du canal $Z=L_T$. Une représentation schématique du canal et des différents régimes d'écoulements susceptibles d'apparaître le long de celui-ci est donnée en Figure.1.

2.2. Système d'équations

Les équations du mélange sont obtenues à partir des six équations de conservation phasiques. A ce système est rajoutée l'équation de diffusion avec les conditions aux limites. Pour tenir compte du déséquilibre mécanique entre les deux phases, une relation constitutive est introduite à travers l'utilisation de la vitesse de glissement.

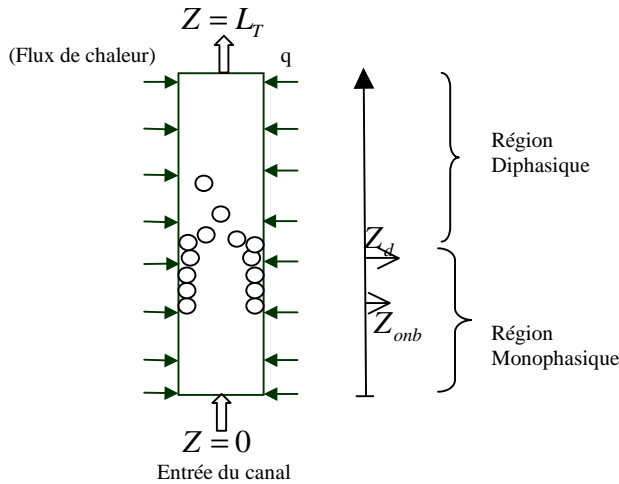


Figure.1: Représentation schématique de la subdivision du canal en deux régions

2.2.1. Région Diphasique $Z_d \leq Z \leq L_T$

Dans cette région, le fluide caloporteur (mélange : liquide - vapeur) est un fluide compressible à propriétés physiques variables.

L'équation de continuité diphasique

$$\frac{d(\rho_m V_m)}{dz} = 0 \Rightarrow \rho_m V_m = G = Cst \quad (1)$$

Où la masse volumique est donnée par : $\rho_m = \alpha \rho_v + (1 - \alpha) \rho_l$

L'écoulement du caloporteur dans le conduit entraîne une évolution de la pression le long de celui-ci. Ce gradient de pression est dû aux frottements, la gravité et à l'inertie. En négligeant la tension superficielle, l'équation de mouvement du mélange est obtenue comme suit:

$$\frac{dP_m}{dz} = -\rho_m V_m \frac{dV_m}{dz} - \frac{f_m G^2}{2D_n \rho_m} - \rho_m g - \frac{d}{dz} \left[V_{gj}^2 \frac{\rho_l \rho_v}{\rho_m} \frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_m - \rho_v} \right] \quad (2)$$

Si l'on néglige l'énergie cinétique et on introduit la vitesse de glissement, on obtient l'équation de l'énergie suivante :

$$\rho_m V_m \frac{dh_m}{dz} = \frac{qp}{A} - \frac{d}{dz} \left[V'_{gl} \left(\frac{\rho_l \rho_v}{\rho_m} \right) \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_v} (h_l - h_v) \right] \quad (3)$$

L'équation de diffusion s'exprime par

$$\frac{d(\alpha \rho_v V_v)}{dz} = \Gamma_v \quad (4)$$

Où Γ_v est le taux de génération de la vapeur par unité de volume.

Région monophasique $0 \leq Z \leq Z_d$

Le système d'équations qui régit l'écoulement du fluide caloporteur dans la région monophasique est obtenu : soit en posant $\alpha=0$ dans le système sus indiqué, ou à partir des hypothèses du modèle Homogène. Ce qui se traduit par les équations suivantes:

$$\frac{d(\rho_l V_l)}{dz} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{dP_l}{dz} = -\frac{f}{2D} \rho_l V_l^2 + \rho_l g - \frac{d}{dz} \left(\frac{G^2}{\rho_l} \right) \quad (6)$$

$$V_l \frac{dh_l}{dz} = \frac{qp}{A \rho_l} \quad (7)$$

2.3. Méthode numérique

Le système d'équations non linéaires ainsi obtenu est du premier ordre en Z à quatre inconnues (P, α, V_m, h_m) ; ce nombre d'inconnues est réduit à trois dans la région monophasique. Ce système est transformé en équations algébriques à l'aide d'un schéma explicite aux différences finies. La résolution permet d'avoir, pas à pas, les profils de pression, les Températures du fluide caloporteur et de la paroi. Le système algébrique non linéaire résultant accompagné des conditions aux limites est résolu par un processus itératif. Le calcul est jugé convergent lorsque la pression calculée à la sortie du canal avoisine la valeur expérimentale connue, c'est-à-dire : $|P_N - P_{ext}| \leq \varepsilon$ Avec ; P_N : est la valeur de la pression obtenue par la présente étude au nœud i_N (dernier nœud) qui correspond à la sortie du canal. P_{ext} : est la valeur de la pression telle fixée par l'expérience, à la sortie du canal. ε : est l'erreur (fixée) sur la précision de la pression.

3. PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats sont présentés en termes de perte de charge totale en fonction du débit massique et de distribution axiale de la température.

3.1 Flux surfacique nul

La Figure.2, présente $\Delta P = f(G)$ pour un flux de chaleur nul. Plusieurs corrélations estimant le facteur de frottement (option 1-7) ont été utilisées pour mettre en évidence la sensibilité des résultats à ce paramètre. Nous constatons que le modèle établi reflète parfaitement le comportement du fluide dans le canal sous les conditions de flux surfacique nul.

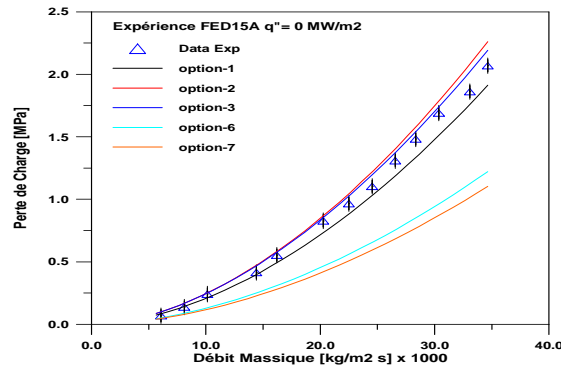
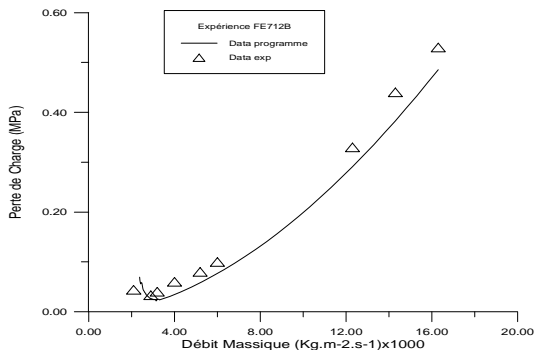
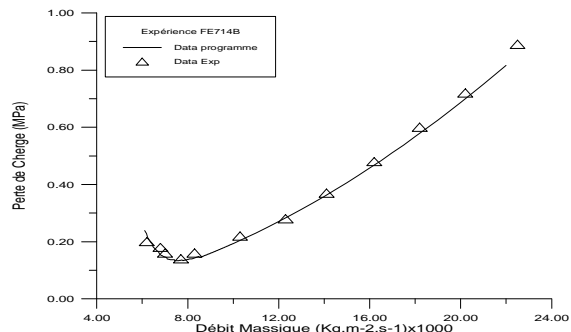


Figure .2: Perte de Charges à flux nul.

3.2 Flux de chaleur constant

La seconde étape consiste à appliquer un flux de chaleur constant et uniforme et à déterminer le débit minimal qui occasionne l'apparition de l'instabilité de Ledinegg ainsi que la perte de charge associée.

Figure3:Perte de Charge pour $q = 2,0 \text{ MW/m}^2$ Figure4:Perte de Charge pour $q = 4,3 \text{ MW/m}^2$

3.3 Evolution de la perte de charge totale

Les Figures (3, 4) montrent l'évolution de la perte de charge totale en fonction du débit massique le long du canal (numériquement et selon [4]) pour les deux flux de chaleur: (2 et $4,3 \text{ MW/m}^2$) respectivement. Cette comparaison fait apparaître une grande conformité entre les résultats expérimentaux [4] et ceux obtenus par la présente étude. D'une manière générale les écarts enregistrés entre nos résultats et ceux de l'expérience [4] sont de l'ordre de (1,7% à 10,2%) pour la perte de charge totale $\Delta P(G_1)$, et de (6,38% à 27,1%) pour la perte de charge associée à l'instabilité de Ledinegg (lorsque l'écoulement devient instable). Le débit pour lequel est observé l'OFI (l'apparition de l'instabilité de Ledinegg est notée dans le présent travail par OFI : onset of flow instability) est estimé avec un erreur relative de (0,51% à 15,8%).

3.4 Distribution de la température

Les Figures (5, 6), montrent l'évolution de la température de la paroi et celle du fluide caloporteur tout le long du canal pour les cas (2 et $4,3 \text{ MW/m}^2$). L'allure de la distribution axiale des deux températures (paroi- caloporteur) est conforme à celle prévue par [5].lors de la discussion des profils correspondant à l'évolution de la température de la paroi. L'évolution de celle-ci se fait linéairement en fonction de la variable Z , jusqu'à ce que la nucléation

apparaît à la paroi à la côte notée par Z_{onb} dans le présent travail, au-delà de cette côte, la température de la paroi se stabilise à quelques degrés au dessus de la température de saturation (profil quasi-rectiligne).

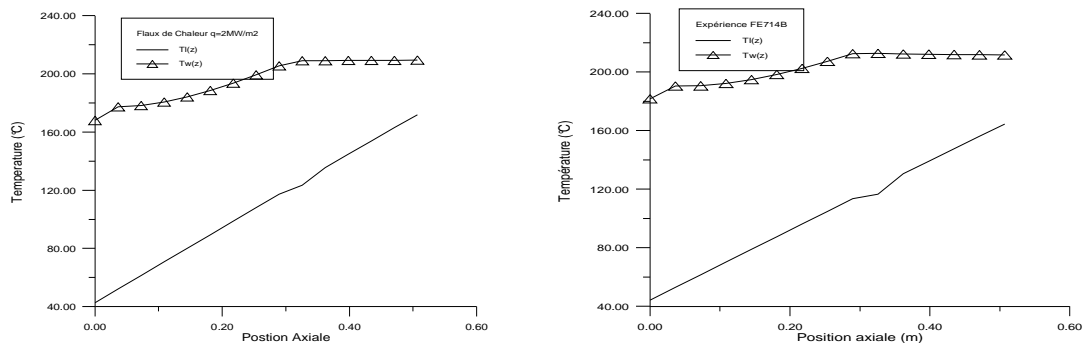


Figure .5-6.: Distribution des Températures de la Paroi et du Fluide caloporteur.

CONCLUSION

Un modèle physique pour la détermination de ce seuil d'instabilité a été développé en se basant sur le modèle de diffusion appuyé de relations constitutives en guise de fermeture du problème. Ce modèle permet le calcul de l'évolution axiale des paramètres thermo hydrauliques du fluide caloporteur. Les résultats obtenus par la présente contribution sont satisfaisants pour les différents régimes d'écoulement; Les hypothèses simplificatrices introduites dans le modèle sont de ce fait jugées acceptables.

Nomenclature

Symbole

C_0	Paramètre de Distribution	l	Phase liquide
f	Facteur de Frottement	m	Mélange (liquide – vapeur)
G	Débit Massique, $Kg/m^2 s$	sat	Saturation
P	Pression, $M Pa$	v	Phase vapeur
V_{gi}	Vitesse de glissement, m/s		

Indices

References

- [1] J Bouré, A.E Bergles, and Tong, Review of Two-Phase Flow Instability; Nuclear Engineering and Design, 25.165-192, 1973.
- [2] A.E Bergles. et al. Two Phase Flow and Heat Transfer in the Power and Process Industries. Hemisphere Publishing Corporation, 1981.
- [3] M Ledinegg, Instability in Flow during Natural and Forced Circulation, Die-Warme, Vol 61, N°48, 891-898, 1938.
- [4] M Simon-Tov et al. FY. Progress Report on The ANS Thermal –Hydraulic Test Loop Operation and Results .ORNL/TM-12972, 1995.
- [5] J G Collier, Convective Boiling and Condensation. 2nd Ed. Atomic Energy Research, Establishment, Harwell, McGraw-Hill International Book Company, 1980.
- [6] S. Kakaç, et al. Hand Book of Single Heat Transfer. A Willy-Inter Science, Publication, 1987.