

Instabilités oscillatoires en milieu poreux d'un fluide en équilibre diphasique

A. Bres¹, F. Pétrélis¹ & S. Fauve¹

Laboratoire de Physique de l'École normale supérieure
alexis.bres@ens.fr

L'étude de l'instabilité d'un milieu poreux saturé d'une couche de fluide chauffée par le bas et refroidie par le haut remonte au milieu de siècle précédent[1].

Peu après, l'intérêt s'est porté sur ce système lorsque la température du bas dépasse le point d'ébullition. Pour des milieux de faible perméabilité, il se développe alors en-dessous de la zone liquide une zone mixte diphasique où le fluide est présent sous formes gazeuse et liquide.

La dynamique convective de ce système a été étudiée en détail par la suite. L'analyse numérique de [2] montre l'existence de quatre états : fluide présent sous une ou deux phases, avec un régime de transfert thermique conductif ou convectif. L'état du système est alors caractérisée par deux nombres sans dimension, le nombre de Rayleigh et le flux thermique adimensionné.

Une instabilité secondaire de ce système, observée initialement par [3], est ici étudiée expérimentalement. Lors de la présence d'une zone liquide surplombant une zone diphasique, le front séparant ces deux zones peut se mettre spontanément à osciller. Ce mouvement est accompagné d'une oscillation du champ de température en zone liquide, ainsi que d'une expulsion/admission périodique de fluide (la paroi supérieure étant perméable).

Les motivations d'étude d'un tel phénomène sont multiples. En premier lieu, il s'agit d'un système modèle en géophysique, permettant la description de certains complexes hydrothermaux [4] (lac en zone volcanique). Mais il s'agit également d'un problème d'une grande richesse physique, mêlant thermodynamique, mécanique des fluides et dynamique non-linéaire. Le couplage entre cette instabilité secondaire et l'amélioration du transfert thermique présente alors un intérêt majeur pour le physicien.

Deux dispositifs complémentaires sont utilisés dans cette étude : une cellule d'expérimentation en polymère opaque isolée sous vide où les mesures sont réalisées à l'aide de thermistances espacées le long du milieu poreux ; et une cellule d'expérimentation en verre permettant la visualisation à l'aide d'une caméra thermique du champ de température pariétal. Dans les deux cas, le niveau de liquide au niveau de la paroi supérieure est suivi à l'aide d'un capteur capacitif.

Sur le plan théorique comme expérimental, on s'intéresse à la dynamique linéaire et non-linéaire de cette instabilité : quel régime de paramètres amène à son déclenchement ? Quelles lois d'échelles suivent son amplitude et sa fréquence d'oscillation ? Ce système présente-t-il de l'hystérésis ? Comment évolue le nombre de Nusselt dans l'espace des paramètres ?

Références

1. E. R. Lapwood, *Convection of a fluid in a porous medium*. Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Cambridge University Press, 508–521, 1948.
2. P.S. Ramesh, K.E. Torrance, *Stability of boiling in porous media*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 33, Issue 9, 1990, Pages 1895-1908.
3. Bau, Haim & K.E. Torrance. *Boiling in Low-permeability Porous Materials*. International Journal of Heat and Mass Transfer 25. 45-55. 1982
4. Vandemeulebrouck, J., D. Stemmelen, T. Hurst, and J. Grangeon, *Analogue modeling of instabilities in crater lake hydrothermal systems*, J. Geophys. Res., 110, B02212, 2005