

Analyse déterministe de la compétition non linéaire de modes dans un écoulement en cavité

F. Lusseyran¹, L. R. Pastur¹, Th. M. Faure¹, & C. Letellier²

¹ LIMSI-CNRS BP 133 Bât 508 - Université Paris Sud 91403 Orsay Cedex

² CORIA UMR 6614 — Université de Rouen, BP 12, F-76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex

lussey@limsi.fr

L'écoulement en cavité est un paradigme abondamment utilisé pour l'étude des écoulements autour de discontinuités structurelles d'engins. La couche de cisaillement qui se forme à l'affleurement amont de la cavité développe une instabilité de type Kelvin-Helmholtz qui, combinée à divers mécanismes de couplage, se traduit dans certaines gammes du nombre de Reynolds par une compétition entre deux modes d'oscillation. Par exemple, pour un nombre de Reynolds $Re = 13900$, ces deux modes sont caractérisés par les fréquences $f_1 = 23,2$ Hz et $f_2 = 31,0$ Hz.

Nous étudions cette compétition de modes dans un écoulement produit en soufflerie. Une étude par démodulation complexe des séries temporelles obtenues par vélocimétrie laser Doppler (LDV) en aval de la cavité a permis de montrer que les deux modes d'oscillations tendent à s'exclure mutuellement. Des mesures par PIV sous-échantillonnées en temps, mais synchronisées avec les mesures par LDV, nous ont également permis d'identifier les structures spatiales associées à ces modes [1]. Néanmoins, le critère défini pour décider de la présence ou non d'un mode d'oscillation de la couche de mélange, basé sur une comparaison de l'amplitude instantanée du mode relativement à son amplitude moyenne, reste arbitraire et entaché des limitations intrinsèques aux méthodes spectrales.

En assimilant l'écoulement à un systèmes dynamiques [2], les oscillations de la couche de cisaillement apparaissent sous la forme de trajectoires dans l'espace des phases du système. Malgré une réduction importante de la dynamique (dimension de plongement au plus égale à 10), la caractérisation topologique fine du portrait de phases est hors de portée. Nous montrons qu'il est cependant possible d'extraire des informations, concernant la dynamique de l'intermittence entre modes fréquents, en réduisant l'étude à une projection du portrait de phases définies sur les deux premières composantes principales du signal. Une section de Poincaré appropriée permet de suivre l'évolution du système, d'une part en mesurant les intervalles de temps τ_i entre deux intersections successives de la trajectoire avec la section — définissant ainsi de façon précise la 'fréquence instantanée' $f = 1/\tau_i$ de l'oscillation — et, d'autre part, en définissant chaque intersection par ses coordonnées polaires (r_n, θ_n) sur l'application de premier retour. En construisant une application de premier retour angulaire $\theta_{n+1} = f(\theta_n)$ et l'histogramme des positions angulaires θ_n , il apparaît une distribution à deux bosses, chacune étant associée à des durées de cycle moyen τ_1 et τ_2 , tels que $1/\tau_1 = 23,6$ Hz $\simeq f_1$ et $1/\tau_2 = 29,9$ Hz $\simeq f_2$. Il est dès lors possible, grâce à cette représentation, de déterminer précisément l'état d'oscillation de la couche de cisaillement. Deux dynamiques symboliques sont alors construites : l'une est basée sur la fréquence d'oscillations (0 si f_1 , 1 si f_2), et l'autre sur la transition (1) ou non (0) d'un mode vers l'autre. Nous en déduisons la distribution des temps de vie de chacun des modes ainsi que la distribution des transitions entre modes. Nous montrons ainsi que l'échelle de temps des transitions est si petite que les méthodes spectrales échouent parfois à les détecter. Enfin nous montrons que la dynamique sous-jacente à cette compétition de modes résulte de la superposition d'une composante déterministe et d'un processus stochastique.

Références

1. R. PETHIEU, L. PASTUR, F. LUSSEYRAN & TH. FAURE, Caractérisation expérimentale de la compétition non-linéaire de modes de Kelvin-Helmoltz dans un écoulement en cavité, *Comptes-rendus de la 10^{ème} Rencontre du Non Linéaire*, 143-148, 2007.
2. F. LUSSEYRAN, L. PASTUR & C. LETELLIER, Dynamical analysis of an intermittency in an open cavity flow, *Physics of Fluids*, soumis.