

Trafic de gouttes à une jonction

D. A. Sessoms¹, L. Courbin¹, P. Panizza¹, & A. Amon¹

Institut de Physique de Rennes, UMR CNRS 6251, Campus de Beaulieu, Université de Rennes 1, 35042 Rennes, France

axelle.amon@univ-rennes1.fr

De nombreux domaines mettent en jeu la circulation d'éléments discrets dans des réseaux : la circulation sanguine, les écoulements de dispersions de gouttes (industrie du pétrole et microfluidique), et la modélisation de la circulation routière. Comprendre ces écoulements sur l'ensemble d'un réseau nécessite tout d'abord une description du mode de répartition des éléments à une jonction. Dans le cas d'écoulements dilués de gouttes en microfluidique, la règle de répartition est particulièrement simple : entre plusieurs canaux accessibles, une goutte choisira celui qui possède la plus faible résistance hydrodynamique. En tant que système modèle, l'étude de la répartition de gouttes arrivant à l'entrée d'une boucle asymétrique a suscité de nombreux travaux, essentiellement expérimentaux et numériques. Parmi les enjeux de ces études, il y a notamment la compréhension de la répartition des cellules du sang dans la circulation sanguine [1], mais aussi la maîtrise du flux de gouttes dans des réseaux microfluidiques en vue d'applications technologiques.

La dynamique de répartition des gouttes arrivant successivement à l'entrée d'une boucle asymétrique est complexe : une succession de régimes périodiques et aperiodiques ont été observés avec des motifs de répartition des gouttes difficilement prédictibles [2]. A notre connaissance, une description théorique complète de la sélection de ces régimes et de leur caractérisation n'a jamais été publiée. L'origine de la complexité dans ce système vient du fait que les variables dépendent de toutes les gouttes présentes à cet instant dans la boucle [3] : le problème rentre donc dans la classe des systèmes à retard. D'autre part, en tant que système discret dont la dynamique est gouvernée par l'itération d'une règle simple, il se rattache aussi aux automates cellulaires.

Le travail que nous présentons est expérimental, numérique et théorique [4]. Nous nous basons sur un modèle conduisant à une dynamique discrète d'une variable binaire (choix du bras par la goutte à la jonction). L'étude numérique de ce modèle nous permet de caractériser par des quantités invariantes les régimes observables à paramètres fixés. Ce modèle nous permet de trouver les règles gouvernant la sélection de ces quantités invariantes et les valeurs de ces dernières. Les prédictions théoriques donnent une description complète des résultats numériques. Enfin, la pertinence de ce modèle est confirmée par une étude expérimentale. La limite dans laquelle nous nous plaçons dans le modèle est cohérente avec l'expérience et permet la description des caractéristiques des régimes observés. En particulier, l'observation expérimentale de régimes dynamiques constitués d'une succession de régimes périodiques est reproduite numériquement par la prise en compte de bruit (fluctuation de la distance entre gouttes ou de la perte de charge associée à chaque goutte). Cette dynamique correspond à la multistabilité de différents régimes possédant les mêmes invariants.

Références

1. R. T. CARR AND M. LACON, Nonlinear Dynamics of Microvascular Blood Flow, *Annals of Biomedical Engineering*, **28**, 641-652 (2000).
2. M. J. FUERSTMAN, P. GARSTECKI AND G. M. WHITESIDES, Coding/Decoding and Reversibility of Droplet Trains in Microfluidic Networks, *Science*, **315**, 828-832 (2007).
3. M. BELLOUL, W. ENGL, A. COLIN, P. PANIZZA AND A. AJDARI, Competition between Local Collisions and Collective Hydrodynamic Feedback Controls Traffic Flows in Microfluidic Networks, *Physical Review Letters*, **102**, 194502 (2009).
4. D. A. SESSOMS, A. AMON, L. COURBIN AND P. PANIZZA, Complex dynamics of droplet traffic in microfluidic networks : periodicity, multistability and selection rules, *soumis à Physical Review Letters*.