

Discipline : Mécanique des milieux fluides

Nom du candidat : **Stéphanie SIGNE MAMBA**

Président de Jury

Directeurs de Thèse

F. ZOUESHTIAGH
M BAUDOIN

Rapporteurs

I. CANTAT
A. JUEL

Membres

V. SENEZ
J. FAVIER

TITRE DE LA THESE



De la dynamique de bouchons liquides dans les réseaux synthétiques soumis à des forçages cycliques au diagnostic et traitement de maladies respiratoires.

The dynamics of liquid plugs in synthetic networks under cyclic forcings: towards understanding and treatment of respiratory diseases

RESUME

Le système respiratoire est très complexe de par sa structure fractale qui induit des physiques très différentes. Les bouchons liquides caractéristiques de certaines maladies comme la mucoviscidose, les bronchites chroniques ou l'asthme résultent de l'accumulation de mucus dans les voies pulmonaires. Comprendre les mécanismes à l'œuvre lors de l'écoulement de ces bouchons lors d'un cycle respiratoire est donc primordial pour améliorer notre compréhension et le traitement de ces pathologies. Nous présentons dans cette thèse une première étude théorique et expérimentale de la dynamique de ces bouchons liquides dans des tubes capillaires rigides soumis à des forçages unidirectionnels et cycliques. Nous avons développé au cours de ce travail un modèle simplifié permettant de reproduire quantitativement les dynamiques observées, de comprendre la physique sous-jacente et d'identifier les sources d'instabilités qui entraînent la rupture d'un pont liquide. Ce modèle nous a permis de déterminer les pressions critiques nécessaires à la réouverture des voies pulmonaires. Ensuite, nous nous sommes intéressés à la dynamique des ponts liquides dans des tubes rectangulaires. Nous avons identifié de nouveaux régimes qui n'apparaissent pas dans les géométries cylindriques, et en particulier un régime d'oscillation stable sous forçage en pression périodique. Enfin nous nous sommes intéressés à la dynamique cyclique de ponts liquides dans des réseaux synthétiques en arbres. Nos premiers résultats montrent que les ponts qui ne sont pas détruits lors du premier demi-cycle persistent très longtemps dans les voies et oscillent de manière cyclique dans une génération jusqu'à leur rupture.

Owing to the complexity of the respiratory system, the mechanism of breathing is not well understood, especially in pathological conditions when airways are obstructed by mucus. The presence of liquid plugs resulting from the accumulation of mucus in the bronchial tree is a characteristic of genetic diseases like cystic fibrosis or chronic diseases like asthma or chronic bronchitis. Thus, understanding the dynamics of these plugs during the breathing cycle is essential to improve our understanding of those diseases. In this thesis, we study experimentally and theoretically, the dynamics and rupture of liquid plugs under unidirectional and cyclic forcing in a rigid capillary tube. We develop a reduced dimension model, which quantitatively reproduces the observed dynamics, unveil the underlying physics and in particular the sources of the plug instability leading to its rupture. From this model, we are able to derive the critical pressure magnitude required to reopen obstructed pathways. Then we investigated the cyclic dynamics of liquid plugs in rectangular channels, a geometry of the utmost interest for microfluidic systems. In this case, we show that under cyclic pressure forcing, two regimes can be observed depending on the values of the capillary number: one leading to the rupture of the plug and one to stable cyclic oscillations. Finally, in the last part of this work, we study experimentally the cyclic forcing of liquid plugs in tree structures mimicking the geometry of intermediate generation of the lung. These preliminary results show that plugs not ruptured during the first half cycle persist in the airways for a long time and oscillate until their rupture.

Soutenance le 21 février à 10h dans l'amphithéâtre de l'Ecole Centrale de Lille