

# Dynamique des écoulements pulsés dans des canaux déformables

## Résumé :

Cette étude est consacrée aux instabilités linéaires des écoulements permanents et pulsés dans des canaux à parois déformables. Le modèle de paroi consiste en une plaque mince supportée par des ressorts et des amortisseurs. Le couplage fluide-structure prend en compte toutes les contraintes visqueuses et forces de pression. L'étude des écoulements permanents est réalisée via des problèmes aux valeurs propres classiques, tandis qu'une analyse complète de Floquet est implémentée pour les configurations pulsées, avec une approche efficace pour supprimer les modes parasites. Les résultats obtenus incluent la dynamique des modes de Tollmien-Schlichting (TS) ainsi que les modes d'instabilité de surface induite par l'écoulement (FSI), sous la forme de modes *traveling wave flutter* (TWF) et de divergence (DIV). Ces différents modes sont interprétés à l'aide des quatre principaux paramètres de contrôle adimensionnels : le nombre de Reynolds ( $Re$ ), le nombre de Womersley ( $Wo$ ), l'amplitude de la modulation de l'écoulement de base et la vitesse réduite ( $VR$ ) qui représente la réponse de la paroi flexible aux forces hydrodynamiques. La dynamique des instabilités est étudiée systématiquement pour de vastes régions de l'espace multi-dimensionnel des paramètres de contrôle. Ce travail révèle que les modes TWF sont principalement régis par  $VR$  et largement indépendants de  $Re$ , alors que les modes DIV et TS dépendent à la fois de  $Re$  et de  $VR$ . L'instabilité est généralement dominée par le mode TWF de symétrie variqueuse, pour les écoulements permanents comme pulsés. Un nouveau type de mode transition a été découvert, provenant de la coalescence de deux modes de Floquet. Une analyse fine des processus de transfert d'énergie permet d'expliquer les mécanismes moteurs des instabilités pour chaque classe de modes.

**Mots-clés :** Stabilité linéaire, écoulement pulsé, parois déformables, interaction fluide-structure.

## Dynamics of pulsatile flows in deformable channels

### Abstract:

In this study, the linear instability of steady and pulsatile flows in deformable channels is investigated. The compliant wall model consists of a spring-backed plate including a damping mechanism. At the interface between the fluid and the walls, all viscous stresses and pressure forces are taken into account. The analysis of steady configurations proceeds via classical eigenvalue methods, while a complete Floquet analysis is implemented for pulsatile configurations, including an efficient approach for removing the spurious modes. The results obtained include the dynamics of Tollmien-Schlichting (TS) modes as well as flow-induced surface instability (FSI) modes, in the form of both traveling wave flutter (TWF) and divergence (DIV) modes. The different instability modes are then reinterpreted in the light of four main dimensionless control parameters: Reynolds number ( $Re$ ), Womersley number ( $Wo$ ), amplitude of the base flow modulation and the reduced velocity ( $VR$ ) which represents the response of the flexible wall to hydrodynamic loading. The complete instability characteristics are systematically investigated over large regions of the multi-dimensional control parameter space. It is observed that TWF modes are primarily governed by  $VR$  and largely independent of  $Re$ , while DIV and TS modes are both affected by  $VR$  and  $Re$ . It is found that the instability is generally dominated by the TWF mode of varicose symmetry, for steady as well as pulsatile conditions. A new transition mode has been discovered, resulting from the coalescence of two Floquet modes. Close monitoring of energy transfer processes provides physical insight into the different mechanisms driving each class of modes.

**Keywords:** Linear instability, pulsatile flow, compliant channels, fluid-structure interaction.