



Auto-propulsion et interaction hydrodynamique d'ailes battantes dans des écoulements visqueux

Soutenance de thèse – Luis Henrique BENETTI RAMOS

Mercredi 16 décembre 2020 à 14 H 30

en Visioconférence à l'ONERA/Meudon

<https://u-bordeaux-fr.zoom.us/j/81766833215?pwd=OEpJYUI5emdLMEVSaW8yUEpkQVpudz09>

(Configuration recommandée : navigateur Chrome)

Devant le jury composé de :

- Rapporteurs :
 - * Uwe EHRENSTEIN (Professeur), Université d'Aix-Marseille, Marseille, France
 - * François GALLAIRE (Professeur associé), École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse
- **Directeurs de Thèse :**
 - * Angelo IOLLO (Professeur), Université de Bordeaux, Bordeaux, France
 - * Michel BERGMANN (Chargé de recherche), Université de Bordeaux, Bordeaux, France
- Examineurs :
 - * Sophie RAMANANARIVO (Maître de conférence), École Polytechnique, France
 - * Justin LEONTINI (Professeur associé), Swinburne University of Technology, Melbourne, Australie
 - * Peter SCHMID (Professeur), Imperial College London, Londres, Angleterre
- **Encadrant :**
 - * Olivier MARQUET (Maître de recherche), Onera, Meudon, France

Résumé

Une stratégie de locomotion exploitée par les animaux et dans la conception des dispositifs d'ingénierie est le battement d'ailes. Cette propulsion apparaît grâce à l'évolution de la nature des écoulements ou suite à l'augmentation de l'inertie et des non-linéarités des écoulements. La locomotion par des battements réciproques dans le temps et la dynamique collective deviennent possibles. Dans ce travail, l'émergence de la propulsion par battement et le rôle des interactions hydrodynamiques passives dans la dynamique collective sont étudiés par des analyses de stabilité du système couplé fluide / aile. La première partie de la thèse est consacrée à l'étude de l'autopropulsion horizontale d'une aile symétrique en mouvement de battement vertical dans un fluide au repos. Dans un premier temps, nous étudions l'émergence de régimes autopropulsés, en adoptant un rapport de densité et une amplitude de battement fixes tout en faisant varier la fréquence de battement. À basse fréquence de battement, deux états d'autopropulsion sont analysés : un périodique de propulsion unidirectionnelle et un quasi périodique de mouvement de va-et-vient autour d'un point fixe. L'émergence de ces états est expliquée par la stabilité de Floquet fluide-solide des écoulements symétriques non propulsifs. Contrairement aux analyses de stabilité purement hydrodynamiques, l'analyse fluide-solide détermine avec précision l'apparition des états. De plus, elle met en évidence les mécanismes linéaires responsables de la propulsion unidirectionnelle et du mouvement de va-et-vient. L'analyse de la moyenne temporelle des force et vitesse des modes permet d'établir un critère d'instabilité physique pour les ailes autopropulsées. Cette analyse est étendue à des fréquences de battement plus élevées. Trois régimes de propulsion unidirectionnelle qui suivent le mouvement de va et vient - sillage dévié quasi périodique, périodique symétrique et périodique dévié - sont étudiés.

.../...

Des méthodes de bifurcation non linéaire sont utilisées pour étudier leur apparition, révélant que la propulsion avec sillage dévié quasi périodique et périodique apparaît comme des bifurcations locales des solutions propulsives avec sillage périodique symétrique. La transition entre la propulsion avec sillage dévié quasi-périodique et le va-et-vient est finalement comprise comme une bifurcation globale. Cette partie est conclue par une analyse physique de la nature des forces de poussée. En décomposant la poussée en contributions de diffusion et de pression, nous révélons une transition entre un régime de poussée de diffusion et un de pression. Le régime de poussée de diffusion est caractérisé par l'absence de tourbillons et un cisaillement visqueux asymétrique le long de la paroi latérale de l'aile battante. Le régime de poussée de pression se caractérise par un sillage tourbillonnaire et l'augmentation de la pression au bord de fuite qui en résulte. La deuxième partie est consacrée aux interactions collectives dans la locomotion d'une allée infinie d'ailes battantes confinées dans un canal. Pour comprendre l'impact de l'interaction collective, on fait varier l'écart fixe entre les ailes et la fréquence de battement, maintenant fixe le rapport de densité des ailes, leur amplitude de battement et la hauteur du canal. Deux solutions coexistantes, qui peuvent être soit plus rapides soit plus lentes qu'une seule aile, sont obtenues pour certaines fréquences et écartements. La puissance nécessaire pour imposer le mouvement de battement de l'aile est toujours inférieure lorsque des interactions collectives sont en jeu. L'émergence de ces solutions est étudiée par des simulations avec une vitesse horizontale imposée à l'allée. La force horizontale moyenne agissant sur les ailes révèle l'existence de trois équilibres du système plutôt que deux.

L'émergence des états autopropulsés stables est expliquée par le comportement stabilisateur de la force hydrodynamique moyenne dans le temps agissant sur l'allée.

Mots clés :

INTERACTION FLUIDE-STRUCTURE, PROPULSION, STABILITE DE FLOQUET, STABILITE NON-LINEAIRE