
Extensions of Fundamental Flow Physics to Practical MAV Aerodynamics

(STO-TR-AVT-202)

Executive Summary

Low-speed high angle of attack flows result in flow separation, and all flow separation is inherently unsteady. If in addition the rigid body placed in the flow undergoes unsteady imposed kinematics – an acceleration from one relative free-stream velocity to another – the flow separation is mediated by the imposed motion, perhaps organizing into coherent structures of aerodynamic benefit. This is in contrast to steady flows, where separation is mainly seen as being detrimental to aerodynamic performance. In unsteady lift generation some of the structures formed by flow separation, such as the leading edge vortex, have the potential to increase lift well above the steady-state expectations. The present work explores imposed rotations and translations of rigid flat plates, comparing an angle of attack change (smoothed linear pitch ramp) with streamwise acceleration at constant incidence (again smoothed). We examine how motion-rate mediates the flow separation and formation of coherent flowfield structures, especially vortices forming and shed from the plate's leading edge and trailing edge. A rectilinear or translational motion, whether in pitch or surge, is compared to the rotational case, where the plate spins about an axis inboard of its inboard tip. Such rotational motion is notionally representative of a flapping-wing, and comparison between rotation and translation is aimed at elucidating whether rotation offers benefits in leading edge vortex stabilization and resulting aerodynamic performance.

Experiment, computation and analysis are compared, culminating in a proposed two-dimensional lumped vortex model proposed for approximate physics-based accounting for aerodynamic force history. Rotation was indeed found to stabilize the leading edge vortex, at least for inboard spanwise locations; the leading edge vortex sheds after saturation for the translational case. However, no advantage in peak lift coefficient or lift to drag ratio was found in rotation vs. translation. Pitching causes a large force transient, both in rotation and translation, relative to surging. Non-circulatory or apparent-mass effects were found to be well-modeled by arguments from classical unsteady potential flow. For translation, a long time interval (at least 10 – 15 convective times) is needed for the post-maneuver lift transient to asymptote to the bluff-body reference value. The rotational case reaches a steady lift value sooner (~ 5 convective times) and this steady value is higher than for translation. Thus rotation does offer a lasting advantage in lift (or more properly, normal-force, since leading edge suction is always lost for thin flat plates with separated flow) relative to translation, and this is the benefit of a stable leading edge vortex. We reiterate that no such benefit is evinced during motion transients, whether in surge or pitch.

Elargissement de la physique fondamentale des écoulements à l'aérodynamique pratique des MAV (STO-TR-AVT-202)

Synthèse

La faible vitesse et l'angle d'incidence élevé provoquent une séparation de l'écoulement, laquelle est intrinsèquement instable, comme toutes les séparations d'écoulement. Si, de surcroît, le corps rigide placé dans l'écoulement subit une cinématique imposée instable – une accélération de la vitesse relative d'écoulement libre – la séparation de l'écoulement est influencée par le mouvement imposé et peut s'organiser en structures cohérentes qui présentent un avantage aérodynamique. Cela s'oppose aux écoulements stables, dans lesquels la séparation est principalement considérée comme nuisible aux performances aérodynamiques. En cas de génération instable de la portance, certaines structures formées par la séparation de l'écoulement, telles que le vortex du bord d'attaque, peuvent augmenter la portance bien au-delà des espérances à l'état stable. Le présent document étudie les rotations et translations imposées de plaques planes rigides, en comparant une modification de l'angle d'incidence (courbe de tangage linéaire lissée) avec une accélération dans le sens de l'écoulement à incidence constante (également lissée). Nous examinons de quelle façon la vitesse du mouvement influence la séparation de l'écoulement et la formation de structures cohérentes de champ d'écoulement, en particulier les vortex qui se forment et sont chassés du bord d'attaque et du bord de fuite de la plaque. Un mouvement rectiligne ou translationnel, en tangage ou en décrochage, est comparé au cas de la rotation, dans lequel la plaque tourne autour d'un axe placé à l'intérieur de son extrémité intérieure. Ce type de mouvement rotationnel est théoriquement représentatif d'une aile battante et la comparaison entre la rotation et la translation vise à déterminer si la rotation offre des avantages pour la stabilisation du vortex du bord d'attaque et la performance aérodynamique qui en découle.

L'expérimentation, le calcul et l'analyse sont comparés, principalement dans un modèle bidimensionnel à vortex localisé, pour un compte rendu approximatif basé sur la physique, en vue de l'historique de la force aérodynamique. En effet, il a été démontré que la rotation stabilise le vortex du bord d'attaque, tout au moins celui placé à l'intérieur dans le sens de l'envergure ; le vortex du bord d'attaque disparaît après saturation dans le cas de la translation. Cependant, par rapport à la translation, la rotation ne présente manifestement aucun avantage pour le coefficient de portance ou la finesse. Le tangage provoque un phénomène transitoire de force élevée, à la fois en rotation et en translation, par rapport au décrochage. Les effets non circulatoires ou liés à la masse apparente se sont avérés bien modélisés par les arguments issus de l'écoulement potentiel instable classique. Concernant la translation, un long intervalle de temps (au moins 10 – 15 temps de convection) est nécessaire pour que la portance transitoire après manœuvre rejoigne l'asymptote de la valeur de référence du corps non profilé. Le cas de rotation atteint une valeur stable de portance plus rapidement (environ 5 temps de convection) et cette valeur stable est supérieure à celle de la translation. Par conséquent, la rotation présente un avantage durable par rapport à la translation du point de vue de la portance (ou, plus exactement, de la force normale, puisque l'aspiration du bord d'attaque est toujours perdue dans le cas des plaques planes de faible épaisseur avec un écoulement séparé) et cela est dû à la stabilité du vortex sur le bord d'attaque. Nous répétons qu'aucun avantage de ce genre ne se manifeste pendant les mouvements transitoires, que ce soit en tangage ou en décrochage.