

## Soutenance de thèse

**Jan BOLTING** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA CSDV et intitulée « *Contributions au vol en formation serrée des petits drones / Contributions to Tight Formation Flight of Small UAS* »

**Le 26 septembre 2017 à 10h30, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Jean-Marc BIANNIC	Directeur de Recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Christophe CROS	Ingénieur AIRBUS SAS	
M. François DEFAY	Ingénieur-chercheur ISAE-SUPAERO	Codirecteur de thèse
M. Peter HECKER	Professeur TU Braunschweig	Rapporteur
M. Marc JUNGERS	Chargé de Recherche CRAN	Rapporteur
Mme Isabelle QUEINNEC	Directrice de Recherche LAAS	

### Résumé

Les mini-drones à propulsion électrique sont susceptibles d'avoir une endurance inférieure à celle de drones plus grands, en raison, principalement, de l'efficacité aérodynamique limitée des petites ailes de faible allongement. La capacité de stockage limitée des batteries embarquables sur les mini-drones réduit également l'endurance totale.

L'exploitation des interactions aérodynamiques, inspirée par les oiseaux migratoires, ainsi que le ravitaillement en vol, sont des approches prometteuses pour améliorer l'endurance des mini-drones tout en permettant une distribution de la charge utile. Dans le contexte du vol en formation classique des avions, on a observé qu'une réduction significative de la consommation d'énergie de l'avion suiveur peut être obtenue dès lors qu'il se place dans les tourbillons de sillage du prédécesseur. Dans notre contexte, cela implique des déplacements très précis du mini-drone suiveur dont la position relative (latérale et verticale) doit rester à une fraction d'envergure du mini-drone prédécesseur. Par ailleurs, la procédure d'amarrage utilisée dans l'échange de batteries entre drones en vol implique des exigences de performance de guidage similaires, voire plus strictes. Ces fortes contraintes de performance s'accompagnent en outre d'exigences de robustesse particulièrement élevées sur les lois de commande en raison des perturbations mal connues induites par les turbulences de sillage.

La commande par modes glissants d'ordre supérieur en temps continu (CTHOSM) a été considérée comme un candidat prometteur à ce problème ouvert difficile et a été appliquée avec succès à des modèles cinématiques simples. Des performances excellentes de suivi de position relative ont en effet pu être démontrées. Dans nos travaux, nous étudions les implications de la présence de la dynamique de la boucle interne et de l'implémentation en temps discret à des taux d'échantillonnage modérés et constatons alors que l'application de la commande CTHOSM devient impossible. Nous proposons donc un schéma de guidage prédictif discret par modes glissants pour approximer les performances de la commande CTHOSM pour une dynamique réaliste du drone. La

comparaison avec la commande par modes glissants en temps continu échantillonnée proposée dans la littérature montre des performances de suivi de position considérablement améliorées. Nous montrons que la loi de guidage proposée, complétée par des boucles de suivi du facteur de charge interne et d'un estimateur des perturbations permet de garantir une précision sur le suivi de position relative compatible avec les exigences de l'exploitation du flux d'air généré par le prédécesseur. Dans nos travaux, nous abordons aussi, avec la notion de « string stability », la problématique liée à la propagation des erreurs de suivi dans des systèmes de commande par modes glissants sous retour d'états locaux et soulignons les limitations fondamentales.

Pour évaluer la performance de la loi de guidage proposée et permettre aussi à la communauté de tester diverses améliorations des techniques de commande de vol dédiées au vol en formation de drones, un problème de référence ouvert a été proposé dans le cadre de ce travail. Enfin, la proximité des drones dans les scénarios de vol en formation serrée nécessite la mise en place de stratégies efficaces d'évitement de collisions. Cependant, les algorithmes de localisation probabilistes existants ne permettent pas la caractérisation de régions de confiance garanties de la position des autres membres de la formation. Dans ce contexte, nous proposons un nouveau filtre ensembliste caractérisant de telles régions de confiance sous forme ellipsoïdale. La mise en œuvre du filtre proposé repose uniquement sur des mesures accessibles via des récepteurs GNSS à faible coût et des capteurs de distance relatifs. Nos premières évaluations ont montré que les efforts de calcul induits par cette mise en œuvre restent parfaitement compatibles avec les contraintes des systèmes avioniques des petits drones.