

**Proposition de sujet de thèse – 2019 / 2020**  
**A envoyer en pdf à valérie.cassignol@onera.fr**

**Référence : STH-2019-03**

**Équipe de recherche de la fédération 1** (porteuse du sujet) .....5 - PCGN.....

**Équipe de recherche de la fédération 2** (le cas échéant) .....

**Directeur de thèse**

Nom .....CONDOMINES Prénom .....Jean-Philippe

Courriel .....jean-philippe.condomines@enac.fr Tél ..... 05.62.25.95.19

Etablissement/équipe locale.....ENAC

HDR  Oui, délivrée le..... par.....  
 Non

Ecole doctorale de rattachement .....EDSYS

**Co-Directeur de thèse**

Nom ..... BRUNOT Prénom ..... Mathieu

Courriel .....mathieu.brunot@onera.fr Tél .....06.28.25.02.94

Etablissement/équipe locale.....ONERA

HDR  Oui, délivrée le..... par.....  
 Non

Ecole doctorale de rattachement .....EDSYS

*Compléter le dossier en suivant la trame ci-dessous*

**1. Sujet de thèse (1 à 2 pages)**

- Titre : Identification et commande d'un drone dans des conditions de décrochage
- Description : Cette thèse vise à développer des méthodes d'identification et de contrôle pour ramener un drone automatiquement dans son domaine de vol en cas de décrochage. Au cours des différents projets réalisés par l'ENAC et l'ONERA, est apparue la nécessité de réfléchir à augmenter la capacité décisionnelle des drones afin de leur permettre de prendre en charge des tâches de pilotage et de guidage pour lesquelles l'intervention humaine est faillible, ce qui est particulièrement vrai dans le cas où le drone sort de son enveloppe de vol. Dans cette situation, le drone devient trop difficile à contrôler et le pilote automatique n'ayant pas été prévu pour fonctionner dans un domaine d'emploi non linéaire n'a plus d'autorité.

Les partenaires du projet ont eu l'opportunité, lors de précédents travaux de thèse, de se confronter à cette problématique et de mettre en place grâce à des vols d'un drone nommé "Cumulus One" une méthode d'analyse nommée "bifurcation" pour étudier les régions de stabilité du drone en fonction de son domaine de vol. Ces travaux ont permis de faire émerger des besoins et des lacunes en ce qui concerne l'élaboration d'une

architecture de contrôle permettant une reprise au décrochage du drone. En effet, la plupart des solutions de contrôle existantes pour reprendre un drone au décrochage ne disposent pas de modèle assez fiable pour développer des lois de commandes satisfaisant les objectifs.

Une dimension extrêmement importante qui conditionne les futurs travaux de cette thèse concerne la taille des drones considérés. En effet, le changement d'échelle induit une identification du modèle du drone dans le domaine des bas Reynolds ce qui demande des ajustements au niveau des méthodes numériques classiques utilisées sur de plus grands avions. Cela nécessite donc d'aborder des problèmes d'identification spécifiques relativement nouveaux. Ce projet intègre donc des recherches pluridisciplinaires et fondamentales sur la modélisation fine d'un drone à bas Reynolds, d'algorithme de contrôle non linéaire exploitant ce modèle pour ramener automatiquement un drone dans son domaine de vol en cas de décrochage et l'implémentation temps réel des solutions retenues sur des calculateurs embarqués. Ces recherches fondamentales s'appuieront sur des développements expérimentaux destinés à les valider avec d'une part l'identification des modèles et d'autre part, l'évaluation des performances des algorithmes à l'intérieur de la Volière Drone Toulouse Occitanie (VDTO) de l'ENAC.

- Contexte scientifique, situation par rapport à l'état de l'art

Comme indiqué précédemment, la majorité des travaux actuels sur l'identification et la commande de modèles aérodynamiques post décrochage s'est jusqu'à présent focalisée sur des avions avec des tailles non-comparables aux mini-drones. Les lois de commande sont conçues sur un modèle d'avion de transport nommé GTM développé par la NASA puis transposées à un modèle de drone à une échelle plus réduite. La mise en place d'une méthode d'analyse des régions de stabilité et de contrôle non linéaire sur un tel modèle a été développée au sein d'une thèse (Cunis et al. 2017) en partenariat avec l'entreprise SkyWatch sans résultat concluant : cette approche ne permet pas de prendre en compte des phénomènes qui apparaissent dans le domaine des bas Reynolds. Par rapport à ces travaux, l'identification d'un modèle aérodynamique à bas Reynolds d'un mini-drone pose de nouveaux problèmes. Un état de l'art des différents modèles mis au point pour les avions est donné par (Greenwell 2004). Dans le projet ICASC, les lois de commande doivent être développées sur des modèles établis à partir de méthodes spécifiques d'identification. La communauté d'identification de systèmes porte actuellement son attention sur les nouveaux défis que soulèvent les technologies du "big data" (Ljung et al. 2011). L'idée est de baser la modélisation uniquement sur les données et non pas sur une connaissance a priori des phénomènes physiques. Cela fait écho à la technique "State Dependent Parameter" (SDP) qui a récemment permis d'articuler un modèle de connaissance et un modèle phénoménologique (Janot et al. 2017): respectivement la loi de Newton et une forme de frottement. Si l'état de l'art en ce qui concerne la commande des engins volant (avion ou drone) couvre maintenant un spectre extrêmement large, très peu de travaux sont menés sur le développement de commandes non linéaire capable de ramener un drone ou avion de ligne dans son domaine de vol ; à notre connaissance seuls quelques travaux relatifs à la commande non linéaire sont menés à la NASA (Gill et al. 2013), (Belcastro et al. 2012), (Dongmo et al., 2010). La majorité de ces travaux reposent sur de la commande adaptative "L1", critiquée par d'éminents spécialistes. Développer des méthodes d'identification et de contrôle pour ramener un drone automatiquement dans son domaine de vol est non seulement très innovant, mais aussi très pertinent, car l'intervention humaine est faillible et inefficace dans le cas où un drone est en décrochage. De nombreuses solutions commerciales (SenseFly, Micropilot) ou open-source (Pixhawk, Paparazzi UAS) existent pour le pilotage autonome d'un drone. Ces solutions n'ont pour l'instant aucun système de reprise au décrochage assez efficace pour ramener un drone automatiquement dans l'enveloppe de vol. La problématique de ramener un drone automatiquement dans son domaine de vol apparaît donc comme un enjeu majeur pour permettre de garantir une intégration sûre d'un drone dans l'espace aérien.

(Cunis et al. 2017) Cunis, T., Burlion, L., & Condomines, J. P., *Piece-wise Identification and Analysis of the Aerodynamic Coefficients*, AIAA GNC, 2018.

(Greenwell 2004) Greenwell, D. *A Review of Unsteady Aerodynamic Modelling for Flight Dynamics of Manoeuvrable Aircraft*. In AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, 2004.

(Ljung et al. 2011) Ljung, L., Hjalmarsson, H., & Ohlsson, H. *Four encounters with system identification*. European Journal of Control, 17(5-6), 449-471, 2011.

(Janot et al. 2017) Janot, A., Young, P. C., & Gautier, M. *Identification and control of electro-mechanical systems using state-dependent parameter estimation*. International Journal of Control, 90(4), 643-660, 2017.

(Gill et al. 2013) Gill, SJ, Lowenberg, MH, Neild, SA, Krauskopf, B, Puyou, G & Coetzee, E., *Upset Dynamics of an Airliner Model: A Nonlinear Bifurcation Analysis*. AIAA Journal of Aircraft., pp. 1832-1842, 2013

(Belcastro et al. 2012) Belcastro, C.; Kwatny, H.; Balas, G. *Validation of Safety-Critical Systems for Aircraft Loss-of-Control Prevention and Recovery*. In Proceedings of the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Minneapolis, MN, USA, 13–16 August 2012.

(Dongmo et al., 2010) Jean-Etienne T. Dongmo, *Aircraft loss of control prevention and/or upset recovery*, PHD, Drexel university, 2010

- Mise en évidence de l'aspect novateur, prospectif, de l'apport, de l'originalité

La possibilité d'utiliser des systèmes autonomes tels que les drones aériens dans le secteur civil a été depuis quelques années largement prouvée, et fait l'objet de nombreuses applications opérationnelles. Aujourd'hui, une pénétration plus importante des drones dans la sphère de l'aviation civile est attendue avec un certain nombre de projets de recherche mis en place, certains financés par la commission européenne, permettant d'étudier des idées d'application potentielle des drones, notamment pour le transport aérien.

Dans ce contexte les drones doivent s'insérer et partager de manière sûre l'espace aérien sans qu'aucune reprise à distance ne soit possible en cas du dépassement de l'enveloppe de vol. Cela requiert notamment que ces engins aient des capacités décisionnelles suffisantes qui leur permettent de prendre en charge des tâches de pilotage et de guidage pour lesquelles l'intervention humaine est faillible et inefficace, comme par exemple lorsqu'un drone est en décrochage. Ces aspects intéressent beaucoup les industriels qui souhaitent sécuriser le vol de leurs drones moyennant le passage d'une certification de leur vol à partir d'une connaissance a priori du modèle au même titre que pour les avions de transport des différentes compagnies aériennes. Malheureusement, la plupart des solutions de contrôle existantes pour reprendre un drone au décrochage ne disposent pas de modèle assez fiable pour développer des lois de commandes satisfaisant les objectifs. De premiers travaux ont vu la réalisation des vols d'essai avec une phase de décrochage, mais les lois de commande n'ont été conçues que sur un modèle d'avion de transport nommé GTM puis transposées à un modèle de drone à une échelle plus réduite, ce qui n'a pas été concluant.

Une dimension extrêmement importante qui conditionne les futurs travaux de ce projet concerne la taille des drones considérés. En effet, le changement d'échelle induit une identification du modèle du drone dans le domaine des bas Reynolds ce qui demande des ajustements au niveau des méthodes numériques classiques utilisées sur de plus grands avions. Cela nécessite donc d'aborder des problèmes d'identification spécifiques relativement nouveaux. C'est pourquoi il devra être envisagé de nouvelles méthodes d'identification basées quasi-uniquement sur des données expérimentales. Ces données expérimentales pourront être recueillies à l'intérieur d'un bâtiment dédié avec des caméras "Optitrack" pour analyser précisément les positions, vitesses et accélération de l'engin ainsi qu'à l'extérieur où des conditions atmosphériques difficiles (vent, turbulence, température) amèneront l'engin hors de son enveloppe de vol. Pour stabiliser l'avion, les lois de commande et les capteurs embarqués bas coût devront permettre de réagir efficacement à des situations de dépassement de l'enveloppe nominale de vol. Dans une phase de décrochage, l'architecture de contrôle doit se doter d'algorithmes de commande non-linéaire sous contraintes développés à partir de l'analyse des bifurcations et du modèle mis en place, ce qui peut donner lieu à des avancées significatives par rapport à l'état de l'art. Le projet de thèse est motivé par le besoin de répondre à cette problématique globale de ramener un drone automatiquement dans son domaine de vol en utilisant une architecture de contrôle non-linéaire reposant sur des modèles établis à partir de méthodes spécifiques d'identification.

## 2. Profil du Candidat

- Formation et spécificités souhaitées : Automatique, Aérodynamique, Goût pour l'expérimentation
- Laboratoire(s) d'accueil envisagé(s) : ENAC et ONERA

- Ecole doctorale de rattachement envisagée : EDSYS

### 3. Partenariats et financement

- Partenariat industriel ou académique envisagé

Il n'est a priori pas prévu de partenariat industriel ou académique autre que celui regroupant les deux laboratoires soutenant le dossier. Néanmoins, une mobilité pourra être envisagée au cours de la thèse suivant l'avancement des travaux et l'intérêt que des partenaires pourraient porter à ces dits travaux. Parmi les partenaires envisageables, il y a évidemment ceux du groupe de travail Unmanned Aerial Vehicles (UAV) mais également les partenaires historiques des laboratoires. Nous pouvons citer l'université de Delft aux Pays-Bas pour l'ENAC et le DLR pour l'ONERA, qui est son homologue allemand. Cela n'exclut en rien la possibilité de créer une collaboration ab-nihilo.

- Types de financement demandés ou visés : fédération, EUR TSAE, DGAC, DGA, région, CNES, MESR, Ecole doctorale, CIFRE, Projet Européen....
  - Un demi-financement via le programme du projet structurant drone, car la thèse est rattachée au sujet « upset recovery »;
  - Un demi-financement ENAC, accordé en principe ;
  - Un demi-financement Fédération ;
  - Un demi-financement Région ;
  - Un demi-financement ONERA.

### 4. Thèses en cours d'encadrement par le ou les directeur(s) de thèse

(préciser pour chaque encadrement : le nom du doctorant, l'année de thèse, le sujet, le financement et l'école doctorale)

Jean-Philippe Condomines :

- Torbjoern Cunis (3ème année) "Développement de lois de commande pour la reprise au décrochage d'un drone", Financement : ONERA, Edsys

- Jacson Barth (3ème année) " Commande sans-modèle d'un drone convertible", Financement : ENAC-Région, EDAA

- Ruohao Zang (1ère année) "Détection d'intrusion "réseau" dans une flotte de drone", Financement : ENAC-Région, Edsys

### 5. Commentaire, avis motivé des représentants des équipes de la fédération porteuses du sujet

(justifier le choix du sujet et son positionnement au sein de l'équipe)

### 6. Pièces jointes éventuelles

(par exemple CV de candidats pressentis, sujet tel que déposé dans un établissement, ....)