

## Stage M2 orienté recherche

# Optimisation du plan de vol sous incertitude

L'optimisation d'un plan de vol est sujette à de nombreuses sources d'incertitudes telles que la prédiction de la **météo** (vent, température, conditions favorables à la formation des **traînée de condensation**, zones orageuses ou turbulentes), de **trafic aérien** (plus ou moins de trafics que prévu) ou des **données commerciales** (évolution de l'impact d'un retard). Une manière de prendre en compte ces incertitudes consiste à mettre à jour le plan de vol au cours de sa réalisation en proposant une solution s'adaptant à l'évolution des conditions effectivement rencontrées.

Par ailleurs, les objectifs visés par ce plan de vol sont multiples et peuvent eux aussi **évoluer en cours de vol**. Il s'agit donc d'un problème d'**optimisation multicritère** : on peut chercher à minimiser la quantité de carburant consommé, les coûts d'un retard éventuel, la formation des traînée de condensation ou les coûts de maintenance des moteurs, ou plusieurs de ces critères simultanément (voire tous). On voudra proposer au pilote un ensemble de solutions suffisamment compréhensibles pour qu'il puisse choisir la plus adaptée en tenant compte de son impact sur l'ensemble de ces critères. La solution retenue actuellement consiste à réaliser en **temps réel** plusieurs optimisations monocritères (éventuellement agrégés) indépendantes sur des calculateurs situés au sol et connectés à une tablette mise à la disposition du pilote, laquelle est aussi connectée aux systèmes de l'avion et en particulier au système de gestion du vol (*Flight Management System*).

L'objectif de ce stage consiste à **formaliser mathématiquement ces problèmes de réoptimisation tactique** en se concentrant sur la phase de croisière avec une contrainte d'heure d'arrivée au point de début de descente (*Top Of Descent*) et dans lesquels on cherchera les niveaux de vol optimaux successifs, l'évolution du nombre de Mach sur ces phases de palier, les points de changement de niveau ainsi que l'évolution de la vitesse et de la poussée lors du passage d'un niveau au suivant. En outre, si la séquence de balises (*waypoints*) décrivant le profil latéral reste imposée, on s'autorise maintenant à ne pas les raccorder par une trajectoire « en ligne droite » comme dans le plan de vol initial mais à « faire un crochet » (*offset*) afin d'éviter d'éventuels orages, zones de turbulence ou autre. Les différents critères à considérer seront la consommation de carburant (ou les émissions de CO<sub>2</sub>), le coût de maintenance des moteurs, l'impact environnemental (traînée de condensation) et éventuellement le temps de vol lorsque la contrainte en temps d'arrivée ne peut plus être satisfaite. Le problème pourrait être étendu pour prendre en compte la phase de montée initiale en plus de la phase de croisière.

L'originalité de l'approche envisagée réside en la nature hybride du problème de **commande optimale** correspondant, faisant intervenir à la fois des variables continues et des **variables discrètes**. Une première implémentation simplifiée du problème pourrait être envisagée lors du stage en fonction de son avancement. Elle permettrait à l'étudiant de s'emparer des potentielles difficultés numériques. Le code serait en python et s'appuierait sur des bibliothèques open-source (scikit decide, Aircraft-Operations-Lab/roc).

Les pré-requis pour ce stage sont des compétences en optimisation mathématique et un goût pour la programmation. La partie calcul des performances avions n'est pas un pré-requis et sera un axe de développement lors du stage par du support de la part d'Airbus.

Ce stage débutera en février ou mars 2025, d'une durée de 5 à 6 mois avec comme suite possible une **thèse CIFRE à Airbus** (confirmation de l'ouverture de la thèse par Airbus d'ici fin 2024). Il s'agit d'un **stage ENAC** rémunéré par l'indemnité de stage habituelle (550 à 600 euros). L'encadrement se fera en partenariat avec **Airbus**, **l'ENSEEIH**T et **l'Université Toulouse 3 - Paul Sabatier** avec des déplacements/séjours dans les quatre lieux.

**Contact** : [stage-opti-plandevol@lists.recherche.enac.fr](mailto:stage-opti-plandevol@lists.recherche.enac.fr)