

Invitation à la soutenance de thèse

ÉTUDE ET DEVELOPPEMENT D'UN LIDAR UV À DÉTECTION DIRECTE
POUR LA MESURE DU VENT 3D DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT
DES FUTURS AVIONS AYANT DES AILES A GRAND ALLONGEMENT

STUDY AND DEVELOPMENT OF A DIRECT-DETECTION UV LIDAR FOR 3D
WIND MEASUREMENT IN THE DEVELOPMENT OF FUTURE AIRCRAFT
WITH HIGH-ASPECT-RATIO WINGS

Thibault Boulant

Vendredi 11 avril 2024 à 14h00

ONERA - Salle Marcel Pierre,
6 chemin de la Vauve aux Granges, 91120 Palaiseau

Merci aux personnes non ONERA souhaitant assister à la soutenance, de contacter avant le 28 mars :
matthieu.valla@onera.fr

Devant le jury composé de :

Alain Miffre
Vincent Noël
Irène Xueref-Rémy
Julien Delanoë

ILM, Université Lyon 1
LAERO, Université Toulouse 3
IMBE, Université Aix-Marseille
LATMOS, Université Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines
DOTA, ONERA
DOTA, ONERA

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examineur

Tomline Michel
Matthieu Valla

Directeur de thèse
Encadrant

Résumé :

L'étude et le développement d'une architecture lidar UV moléculaire à détection directe pour la mesure de vent 3D en amont des futurs avions ayant des ailes à grand allongement sont présentés. Ces ailes permettent d'améliorer la portance et donc de réduire la consommation de l'avion, mais sont plus sensibles aux turbulences. Pour les utiliser efficacement, un système de boucle de rétroaction est nécessaire pour réduire les charges induites par les turbulences de vent (nommé « Gust Load Alleviation »). Ce système consiste à mesurer le vent 3D devant l'avion et à adapter, en temps réel, la forme des ailes aux turbulences rencontrées. Le lidar moléculaire à détection directe permet, à partir d'un laser émis, de réaliser la mesure du vent projeté sur l'axe laser à partir du décalage en fréquence, induit par effet Doppler, de l'onde laser rétrodiffusée par les particules et molécules. Les molécules étant présentes à toute altitude, le lidar à détection directe optimisé pour la diffusion moléculaire est capable de mesurer le vent 100 % du temps en amont de l'avion. Pour être insensible aux paramètres atmosphériques, le lidar utilise un interféromètre quadri Mach-Zehnder (QMZ) comme analyseur de spectre. Pour la reconstruction du vent 3D, l'axe lidar est adressé selon quatre directions différentes.

Les mesures du vent projeté sur les 4 axes permettent de remonter au vent 3D sur l'axe de l'avion. L'erreur sur le vent reconstruit ne dépend que de l'erreur instrumentale de la mesure du vent projeté dans le cas d'un champ de vent homogène devant le lidar. Cependant, en présence de turbulence, une erreur s'ajoute et d'autres algorithmes de reconstruction sont nécessaires.

La thèse présente le travail réalisé pour optimiser le lidar à la mesure de vent à toute altitude et robuste aux conditions vibratoires de vol, ainsi que l'étude de la reconstruction en présence de turbulence. Pour cela, un simulateur de toute la chaîne du lidar a été développé pour minimiser l'erreur instrumentale en optimisant les paramètres du télescope d'émission/réception, du filtre solaire, des détecteurs et les paramètres du laser. Elle a permis d'aboutir aux spécifications des caractéristiques de cadence et de puissance moyenne de trois lasers impulsionsnels, dont deux fibrées actuellement développées à l'ONERA. Pour l'analyseur spectral mesurant le décalage en fréquence, une architecture d'interféromètre QMZ utilisant des rétro-rélecteurs pour former les deux bras a été choisie, car elle permet d'éviter les désalignements angulaires. Les tolérances sur les composants ont été établies grâce à un simulateur pour garder un contraste élevé. Les caractérisations expérimentales du contraste ont été réalisées et ont montré un contraste moyen de 0,7 sur les quatre sorties. En parallèle, l'étude de la reconstruction du vent 3D dans une turbulence, à partir des mesures lidar, est détaillée. Pour cela, un simulateur de champ de vent 3D en présence de turbulence de type Von Karman et de type rafales ainsi que la propagation du lidar dans la boîte de vent ont été réalisés. Plusieurs méthodes de reconstruction ont été testées, notamment des méthodes issues de l'état de l'art, utilisant les moindres carrés pondérés et des interpolations de vent transversalement à l'axe de l'avion, et des méthodes de Deep Learning pour la reconstruction de rafales. Une méthode prometteuse a notamment été inventée, consistant à augmenter l'angle d'adressage des quatre faisceaux lidar à 50°. Cette méthode a permis d'améliorer la reconstruction du vent d'un facteur 2 par rapport à l'angle d'adressage traditionnellement utilisé (15°-20°) en présence de turbulence de type Von Karman.

Mots clés

Lidar vent, Quadri Mach-Zehnder, reconstruction du vent