

## Soutenance de thèse

**Patrice LABEDAN** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA DECISIO et intitulée «*Apports de la Réalité Virtuelle à la simulation de vol pour l'apprentissage du pilotage*»

**Le 19 septembre 2023 à 09h30, salle des thèses ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

M. Frédéric DEHAIS	ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Benoit LE BLANC	Ecole Nationale Supérieure de Cognitive	Rapporteur
M. Jean-Christophe SARRAZIN	ONERA	Rapporteur
M. Jean-Pierre JESSEL	Université Paul Sabatier Toulouse	
Mme Sophie LEMONNIER	Université de Lorraine	
M. Vsevolod PEYSAKHOVICH	ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Francis JAMBON	Université Grenoble Alpes	

**Résumé :** Dans le domaine aéronautique, l'apprentissage au pilotage est réalisé sur avion réel ainsi que sur simulateur de vol. La simulation présente l'avantage de réaliser des exercices poussés sans mettre en péril l'humain ou la machine, ainsi que des coûts moindres par rapport au vol réel. De plus, le réalisme des simulateurs permet désormais d'améliorer le ressenti à travers une immersion importante. L'utilisation de la réalité virtuelle (RV) ne cessant de croître ces dernières années, elle représente désormais un moyen à très fort potentiel, notamment dans le domaine de la formation professionnelle. Les cockpits en RV émergent, essentiellement pour des jeux, et il est maintenant possible d'imaginer la RV dans le cadre de l'apprentissage du pilotage. Mais si ces technologies de casque de RV à faible coût se révèlent a priori prometteuses, il est nécessaire d'évaluer leur efficacité en comparaison des moyens traditionnels d'apprentissage au pilotage. Par exemple, la perception des instruments de bord en RV est-elle différente par rapport aux simulateurs de vols classiques ou par rapport à l'avion réel ? De même, l'interaction avec le système "avion" sera différente, mais comment l'évaluer ou la mesurer ? Afin de répondre à ces interrogations, cette thèse a entrepris des travaux de recherche comparant trois environnements de vol différents : la réalité virtuelle, le simulateur de vol et l'avion réel. Ces comparaisons ont été réalisées à l'aide de mesures subjectives et objectives. La première partie de la thèse a consisté à reproduire un environnement virtuel le plus proche possible du monde réel, tant en termes de graphismes que d'interactions et de sensations (plateforme mobile). Trois groupes de pilotes ont participé au même scénario de vol dans les trois environnements (simulateur, virtuel, réel), avec une analyse spécifique des phases de vol telles que le décollage, le vol en vent arrière et l'atterrissage. Les mesures subjectives comme la charge mentale, le sentiment de présence, ainsi que l'aisance à piloter les avions virtuels, ont tout d'abord montré que la réalité virtuelle obtenait de meilleures évaluations que la simulation de vol. De plus, indépendamment de l'environnement de vol, les différents paramètres subjectifs semblaient évoluer de la même manière selon les phases de vol. Les mesures du rythme cardiaque et de sa variabilité suivaient des variations similaires lors des différentes phases de vol, et ce quel que soit aussi l'environnement de vol. Il est néanmoins observé que ces réponses sont atténuées pour le rythme cardiaque et plus élevées pour sa variabilité pour les vols virtuels et en simulateur, en comparaison du vol réel. De manière similaire, les résultats sur les fixations du regard (durée et nombre) montrent

des dynamiques cohérentes entre les trois environnements. Les pilotes avaient toutefois des fixations plus longues pendant le vol réel en comparaison des vols virtuels et en simulateur. Ces résultats démontrent que la RV et le simulateur de vol amènent à des changements de comportements conformes aux vols réels. Néanmoins, ces deux environnements n'induisent pas un engagement et un stress aussi intense que les pilotes rencontrent en vol réel. De plus, ces éléments de réponse, comportementaux, physiologiques, et subjectifs, permettent d'avancer que malgré certaines limites, la simulation en réalité virtuelle est souvent très bien notée, et parfois même mieux notée que l'expérience en simulateur de vol. Elle peut donc amener des bénéfices dans la formation réelle des pilotes en avion léger. En conclusion, cette thèse fournit un cadre méthodologique pour accompagner l'évolution incessante des technologies de RV. Elle montre en particulier l'importance de considérer les différentes dimensions comportementales, physiologiques, et subjectives pour s'assurer d'un transfert d'apprentissage efficace vers le monde réel.

**Mots-clés :** Pilotage, Perception, Simulation de vol, Interaction, Apprentissage

**Summary:** In the aeronautical field, flight training is performed on real aircraft as well as on flight simulator. Simulated flight allows advanced exercises without endanger either the human or the plane, and also lower costs compared to the real flight. Moreover, the realism of the simulators now makes it possible to improve the feeling through a significant immersion. Since the use of virtual reality (VR) has continued to grow in recent years, it is now a way with great potential, especially in the field of professional training. RV cockpits are beginning to emerge, mainly for games, and it is now possible to imagine virtual reality as part of learning to pilot. If these low-cost VR headset technologies (500-1000 €) seem promising (a priori), it is necessary to evaluate their effectiveness compared to the traditional means of learning piloting. For example, is the perception of the cockpit instruments the same in VR, degraded or improved compared to conventional flight simulators or even in relation to the real aircraft? Similarly, the interaction with the 'aircraft' system will be different, but how to evaluate or measure it? The goal of this research project principally lies in this comparison. Due to the important resources available in the DCAS department (physiological sensors, flight simulators and aircraft from DR400 type), the physiological and oculometric measurements carried out on the ISAE-SUPAERO pilot students will enable the evaluation of the piloting quality (perception And interaction) according to these different means (flight simulator, virtual reality, aircraft). In a first time, after a bibliographic review of the field, the thesis work will consist in developing an RV environment that faithfully reproduces the cockpit and interactions of a DR400 aircraft. This virtual environment, integrated in a headset, will be coupled with sensors for ocular and physiological measurements. We will then try to lead experiments to compare the contributions of the RV with the classical flight simulator and then evaluate their benefit in the training of the pilot students in real aircraft (DR400).

**Keywords:** Interaction, Flight simulation, Piloting, Perception, Training