



HAL
open science

Conception centrée utilisateur d'interfaces adaptées au vieillissement cognitif des pilotes

Florine Simon, Anke Brock, Jean-Paul Imbert, Mickael Causse

► To cite this version:

Florine Simon, Anke Brock, Jean-Paul Imbert, Mickael Causse. Conception centrée utilisateur d'interfaces adaptées au vieillissement cognitif des pilotes. 32ème conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine,, Apr 2021, Metz, France. hal-03197738

HAL Id: hal-03197738

<https://hal.science/hal-03197738v1>

Submitted on 14 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception centrée utilisateur d'interfaces adaptées au vieillessement cognitif des pilotes

Florine Simon

ENAC, Toulouse, France
florine.simon@enac.fr

Anke M. Brock

ENAC, Toulouse, France
anke.brock@enac.fr

Jean-Paul Imbert

ENAC, Toulouse, France
jean-paul.imbert@enac.fr

Mickael Causse

ISAE-Supaero, Toulouse, France
mickael.causse@isae-superaero.fr

CCS CONCEPTS

- **Human-centered computing** → *Laboratory experiments*; **Accessibility systems and tools**.

RÉSUMÉ

Le déclin des capacités cognitives des pilotes lié à l'âge peut mener à l'erreur et altérer ainsi la sécurité des vols. Cette thèse se propose d'étudier différentes solutions d'assistance afin de réduire l'impact du vieillissement sur les performances des pilotes. Des interviews ont fait émerger deux grandes problématiques : la baisse des capacités attentionnelles pouvant être compensée par l'utilisation de différentes modalités d'alarmes, et le déclin cognitif, dont les conséquences peuvent être atténuées par le développement d'interfaces soutenant le pilote dans ses tâches de pilotage. Nous prévoyons de tester ces solutions en vol simulé et/ou en vol réel.

MOTS CLÉS

Assistant cognitif; EEG; fNIRS; Aéronautique; Cockpit; Vieillessement cognitif.



FIGURE 1: Environnement de simulation AL50 de l'ENAC composé d'un cockpit monopilote, d'un visuel rétro-projeté et d'un poste d'expérimentateur

IHM'20, April 13–16, 2021, Metz, France

2019. This is the author's version of the work. It is posted here for your personal use. Not for redistribution. The definitive Version of Record was published in *IHM'20 : 32^{ème} conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Avril 13–16, 2021, Metz, France*, <https://doi.org/10.1145/XXXXXXXX.XXXXXXX>.

INTRODUCTION

Le vieillissement de la population est la conséquence de l'évolution démographique des pays occidentaux. La problématique de la performance du sujet vieillissant au travail est particulièrement saillante dans les domaines d'activités critiques, exigeants sur le plan intellectuel, et impliquant un rythme de prise de décision rapide. L'aviation générale (AG), qui regroupe les activités aériennes civiles autres que le transport commercial de passagers, n'impose pas de limite d'âge et beaucoup de pilotes ont plus de 55 ans. Le pilotage d'un avion s'inscrit dans un environnement complexe, changeant et dynamique, nécessitant un processus de prise de décisions rapide ainsi qu'une mobilisation des capacités cognitives de haut niveau, notamment des fonctions exécutives (FE). Lors d'un vol, les FE contribuent entre autres à la planification des actions [6], à la mise à jour des informations en mémoire de travail et donc à l'actualisation de la conscience de la situation [18], ainsi qu'au contrôle cognitif, habileté importante pour adapter le comportement en cas d'événement inattendu et stressant [19]. De plus, un effort attentionné important est requis pour traiter à la fois les informations affichées sur les instruments du cockpit et provenant du monde extérieur. Les effets du vieillissement cognitif et son impact sur les FE sont connus [10, 12]. On observe un déclin de certaines FE et des capacités de perception dès 55 ans. Le déclin des capacités cognitives des pilotes peut mener à l'erreur, altérant ainsi la sécurité du vol. Alors qu'un nombre notable d'études ont caractérisé l'impact du vieillissement cognitif sur le pilotage [4, 5], peu d'entre elles s'intéressent à l'apport potentiel d'un développement technologique pour mitiger ses effets sur la performance au cours de cette activité.

L'objectif de cette thèse est d'identifier les besoins des pilotes, de concevoir, implémenter et tester des solutions logicielles (alarmes innovantes, interfaces assistantes...) permettant de réduire l'impact du vieillissement cognitif sur la performance de pilotage des pilotes d'aviation générale de 55 ans et plus. Nous distinguons deux approches : la perception qui étudie différentes modalités d'alarmes pour capturer l'attention des pilotes en fonction de leur âge et de leur niveau de charge mentale, et la cognition qui vise à les soutenir dans les tâches de pilotage par une solution logicielle d'assistance.

ETAT DE L'ART

Les problématiques spécifiques soulevées par les domaines critiques, et en particulier l'aéronautique requièrent l'utilisation de moyens d'interactions avancés, comme la modalité tactile [20], le multi-touch [7] ou encore l'interaction tangible [3, 24]. Les technologies d'assistance sont aussi largement étudiées. Déjà en 1995, Prevot et al. [21] proposaient CASSY, un système d'assistance à bord basé sur la connaissance. L'assistant doit présenter les informations à l'équipage de la manière la plus pertinente possible en fonction du contexte (concept d'interface adaptative). Abeloos et al. [1] se sont interrogés sur l'applicabilité de telles interfaces au sein du cockpit. Une interface adaptative doit être capable de présenter la bonne information, sous la bonne forme et au bon moment, pour

permettre à l'utilisateur de maintenir une bonne conscience de la situation. Les auteurs soulignent ainsi la nécessité pour le système d'avoir une capacité d'expertise et de synthèse des informations disponibles supérieure ou égale à celle du pilote. Enfin les auteurs soulignent deux conditions essentielles à l'acceptation de ces interfaces : le pilote doit toujours garder le contrôle sur le système et comprendre le niveau d'adaptation fourni par ce dernier. On voit également apparaître le concept de Cognitive Pilot-Aircraft Interface [15]. Ce concept repose sur la détection en temps réel de l'état physiologique et cognitif du pilote, et l'interprétation de ces états par le système. Ainsi, le système peut générer des alertes adaptées à la situation, moduler l'information présentée au pilote au travers d'interfaces adaptatives, et permet également la ré-allocation dynamique des tâches (comme l'augmentation du niveau d'automatisation) entre le pilote et le système en fonction de son état cognitif et physiologique.

ANALYSE DES BESOINS DES PILOTES

Pour répondre à la problématique nous appliquons la démarche de conception centrée utilisateurs, telle que décrite par Beaudoin-Lafon et Mackay [2]. Pour identifier les besoins généraux des pilotes en termes d'assistance pendant le vol, nous avons mené des entretiens semi-directifs auprès de 12 pilotes (1F, 11H) âgés de 34 à 65 ans. Nous cherchions à identifier si les pilotes exprimaient un besoin d'assistance, et le cas échéant pour quelles tâches et au travers de quels moyens d'interaction. Dans cette étude, tous les pilotes de l'aviation générale (donc habitués à piloter seuls sans copilote) se sont dit favorables à être soutenus par un assistant. La majorité d'entre eux ont décrit leur assistant virtuel idéal comme un superviseur de systèmes qui soit capable de les alerter en cas de situation anormale. Cependant, les pilotes ont exprimé des conditions nécessaires à l'acceptation d'une telle assistance. En particulier, ils ont insisté sur la nécessité de rester le seul maître à bord et de garder l'autorité. Nous avons également relevé que la majorité des pilotes souhaiterait commander l'assistant par l'intermédiaire de la voix (entrée), mais sont fortement opposés à un feedback vocal de la part du système (sortie). Nous n'avons pas relevé d'expression différente des besoins en terme d'interaction en fonction de l'âge des participants. Les réponses à ces entretiens [22] nous ont permis d'envisager la problématique de recherche sous deux angles : l'angle de la cognition et celui de la perception.

APPROCHE PAR LA COGNITION

Pour étudier la problématique de la cognition, et notamment quels outils permettraient de soutenir le pilote lorsque ce dernier doit noter ou mémoriser des informations, nous¹ avons mené des entretiens semi-directifs auprès de 5 pilotes (1F, 4H) âgés de 22 à 61 ans et organisé deux sessions de brainstormings autour des questions de prise de note et de mémorisation d'informations (p.ex. du contrôlé aérien). L'analyse des entretiens et des brainstormings a démontré que le besoin de prise de note apparaissait principalement chez les pilotes moins expérimentés. Cette analyse nous a conduit au développement de BLEXFVR, un outil d'ajout et de visualisation d'informations sur une carte (Figure



FIGURE 2: Application BLEXFVR

¹Pour cette partie du projet, nous accompagnons un groupe de 4 étudiants du Master IHM de Toulouse dans le cadre d'un chef d'oeuvre <http://www.masterihm.fr/page/chef-d-%C5%93uvre>

²https://skydreamsoft.fr/fr_FR/



FIGURE 3: Enregistrement des données cérébrales (EEG + fNIRS) du participant au cours de la simulation de vol

2), inspiré par l'application existante SDVFR². Nous testerons cette interface dans un simulateur ou en vol et recueillerons des données quantitatives (taux d'erreur, temps de réalisation des tâches, évaluation de la charge mentale par NASA TLX [13] etc.) et qualitatives (questions ouvertes).

APPROCHE PAR LA PERCEPTION

Nous allons étudier différentes modalités d'alarmes au sein du cockpit et leur impact sur la charge mentale du pilote. En effet, les interviews que nous avons menées [22] ainsi que de précédents travaux [16] nous ont permis d'identifier que les pilotes préfèrent ne pas surcharger le canal auditif qui est déjà largement sollicité (p.ex., radiocommunication entre pilote et contrôleurs aériens). On peut observer une absence de prise de conscience d'un stimulus si un canal sensoriel est surchargé [8, 17, 26].

Nous prévoyons d'étudier l'activité cérébrale des participants répondant à ces différentes alarmes au moyen d'un dispositif combinant l'électroencéphalographie (EEG) et la spectroscopie proche infrarouge (fNIRS) en plaçant les capteurs sur un même bonnet, ce qui nous permettra d'enregistrer les deux flux simultanément. L'enregistrement et l'interprétation simultanés de ces deux signaux physiologiques a démontré son efficacité [9, 11, 23, 25]. Nous récolterons les préférences subjectives quant aux différentes modalités au moyen de questions ouvertes ainsi qu'à l'aide du questionnaire AttrakDiff [14]. Nous souhaitons en particulier étudier l'impact de l'âge du participant. Pour ce faire, les participants seront répartis en deux groupes en fonction de leur âge (18-40 ans, > 50 ans).

L'expérimentation se déroulera sur un simulateur AL50 (mono-pilote) à l'ENAC (cf. Figure 1). Il sera demandé aux participants de réaliser trois scénarios de vols, de difficultés différentes (paramétrés par les conditions météorologiques, le nombre de messages radio à collationner, et la fréquence des tâches de reporting à effectuer). L'ordre de ces scénarios sera contrebalancé entre les participants. Durant chaque scénario surviendront des alarmes présentées sous différentes modalités (auditive, haptique ou visuelle). Le participant devra réagir à ces alarmes (identifier et traiter la cause de celles-ci) tout en poursuivant son vol. Il lui sera également demandé d'effectuer des actions de reporting.

PERSPECTIVES

Pour la suite de cette thèse, nous prévoyons de nous appuyer sur les résultats de notre étude en cours sur les différentes modalités d'alarmes et de l'étendre à l'étude du changement de modalité d'une alarme en fonction de l'emplacement du regard du pilote. Nous prévoyons également de tester nos différentes solutions en simulateur et en vol réel grâce à la plateforme volante de l'ENAC.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier les utilisateurs et étudiants qui ont accepté de prendre part à ce projet, ainsi que Y. Rouillard et B. Joffre pour leur expertise. Pour finir, nous remercions la Fédération FONISEN pour le financement de cette thèse.

RÉFÉRENCES

- [1] A.L.M. Abeloos, Max Mulder, and Marinus M. Van Paassen. 2000. The applicability of an adaptive human-machine interface in the cockpit. *Conference on human decision making and manual control, Ispra, June 26-28, 2000*.
- [2] Michel Beaudouin-Lafon and Wendy Mackay. 2007. Prototyping tools and techniques. In *Human-computer interaction*, Julie A. Jacko and Andrew. Sears (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1006–1031. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=772136>
- [3] Juan Angel Lorenzo del Castillo and Nadine Couture. 2016. The Aircraft of the Future : Towards the Tangible Cockpit. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace (HCI-Aero '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 11, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/2950112.2964582>
- [4] Mickael Causse, Zarrin Chua, and Florence Rémy. 2019. Influences of age, mental workload, and flight experience on cognitive performance and prefrontal activity in private pilots : a fNIRS study. *Scientific Reports* 9 (05 2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44082-w>
- [5] Mickael Causse, Frédéric Dehais, Mahé Arexis, and Josette Pastor. 2011. Cognitive aging and flight performances in general aviation pilots. *Aging, Neuropsychology and Cognition* vol. 18 (2011), pp. 544–561. <https://doi.org/10.1080/13825585.2011.586018>
- [6] Mickael Causse, Frédéric Dehais, and Josette Pastor. 2011. Executive Functions and Pilot Characteristics Predict Flight Simulator Performance in General Aviation Pilots. *The International Journal of Aviation Psychology* 21 (07 2011), 217–234. <https://doi.org/10.1080/10508414.2011.582441>
- [7] Andy Cockburn, Carl Gutwin, Philippe Palanque, Yannick Deleris, Catherine Trask, Ashley Coveney, Marcus Yung, and Karon MacLean. 2017. Turbulent Touch : Touchscreen Input for Cockpit Flight Displays. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 6742–6753. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025584>
- [8] Frédéric Dehais, Mickaël Causse, François Vachon, Nicolas Régis, Eric Menant, and Sébastien Tremblay. 2014. Failure to Detect Critical Auditory Alerts in the Cockpit : Evidence for Inattentive Deafness. *Human Factors* 56, 4 (2014), 631–644. <https://doi.org/10.1177/0018720813510735> arXiv:<https://doi.org/10.1177/0018720813510735> PMID : 25029890.
- [9] Frédéric Dehais, Alban Dupres, Gianluca Di Flumeri, Kevin Verdiere, Gianluca Borghini, Fabio Babiloni, and Raphalle Roy. 2018. Monitoring Pilot's Cognitive Fatigue with Engagement Features in Simulated and Actual Flight Conditions Using an Hybrid fNIRS-EEG Passive BCI. 544–549. <https://doi.org/10.1109/SMC.2018.00102>
- [10] Adele Diamond. 2013. Executive Functions. *Annual Review of Psychology* 64, 1 (2013), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750> arXiv:<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750> PMID : 23020641.
- [11] S. Han, J. Kim, and S. Lee. 2019. Recognition of Pilot's Cognitive States based on Combination of Physiological Signals. In *2019 7th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IWW-BCI.2019.8737317>
- [12] Caroline N. Harada, Marissa C. Natelson Love, and Kristen L. Triebel. 2013. Normal cognitive aging. , 737–752 pages. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>
- [13] Sandra G. Hart. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of Empirical and Theoretical Research. In *Human Mental Workload* (advances i ed.), Peter A. Hancock and Najmedin Meshkati (Eds.). Advances in Psychology, Vol. 52. Elsevier, Chapter 12, 139–183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- [14] Carine Lallemand, Vincent Koenig, Guillaume Gronier, and Romain Martin. 2015. Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *European Review of Applied Psychology* 65, 5 (2015), 239–252.

- [15] Jing Liu, Alessandro Gardi, Subramanian Ramasamy, Yixiang Lim, and Roberto Sabatini. 2016. Cognitive pilot-aircraft interface for single-pilot operations. *Knowledge-Based Systems* 112 (2016), 37 – 53. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.08.031>
- [16] Christophe Lounis, Vsevolod Peysakhovich, and Mickael Causse. 2019. *Flight Eye Tracking Assistant (FETA) : Proof of Concept*. 739–751. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_66
- [17] Arien Mack. 2003. Inattention Blindness : Looking Without Seeing. *Current Directions in Psychological Science* 12, 5 (2003), 180–184. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01256> arXiv:<https://doi.org/10.1111/1467-8721.01256>
- [18] Akira Miyake, Naomi P. Friedman, Michael J. Emerson, Alexander H. Witzki, Amy Howerter, and Tor D. Wager. 2000. The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks : A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology* 41, 1 (2000), 49 – 100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- [19] Kevin Ochsner and James Gross. 2005. The Cognitive Control of Emotion. *Trends in cognitive sciences* 9 (06 2005), 242–9. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- [20] Sylvain Pauchet. 2019. *From surface to surface -Transformations de surface tactile pour l'interaction incarnée dans le cockpit*. Ph.D. Dissertation.
- [21] T. Prévôt, M. Gerlach, W. Ruckdeschel, T. Wittig, and R. Onken. 1995. Evaluation of Intelligent On-Board Pilot Assistance in In-Flight Field Trials. *IFAC Proceedings Volumes* 28, 15 (1995), 339 – 344. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)45255-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)45255-4) 6th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems 1995, Cambridge, MA, USA, 27-29 June 1995.
- [22] Florine Simon, Anke Brock, and Mickael Causse. 2020. Designing a virtual cognitive assistant for pilots : a user-centered approach. In *ICCAS - International Conference on Cognitive Aircraft Systems*. Toulouse, France. <https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-02962426>
- [23] Y. Tomita, F. Vialatte, G. Dreyfus, Y. Mitsukura, H. Bakardjian, and A. Cichocki. 2014. Bimodal BCI Using Simultaneously NIRS and EEG. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 61, 4 (2014), 1274–1284. <https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2300492>
- [24] Jean-Luc Vinot, Catherine Letondal, Sylvain Pauchet, and Stéphane Chatty. 2016. Could tangibility improve the safety of touch-based Interaction?. In *HCI-Aero 2016, International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace*. ACM, Paris, France. <https://doi.org/10.1145/2950112.2964581>
- [25] F Wallois, Mahdi Mahmoudzadeh, Amol Patil, and Reinhard Grebe. 2011. Usefulness of simultaneous EEG-NIRS recording in language studies. *Brain and language* 121 (05 2011), 110–23. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.03.010>
- [26] C. Wickens. 1980. The Structure of Attentional Resources.