



**HAL**  
open science

## Collaboration à distance et conscience mutuelle dans le cadre du Single-Pilot Operation

Maxime Bardou, Catherine Letondal, Mickaël Causse, Jean-Paul Imbert

► **To cite this version:**

Maxime Bardou, Catherine Letondal, Mickaël Causse, Jean-Paul Imbert. Collaboration à distance et conscience mutuelle dans le cadre du Single-Pilot Operation. IHM'21 : 32ème conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Apr 2021, Metz, France. 10.1145/XXXXXXXXXX.XXXXXXXXXX . hal-03232000

**HAL Id: hal-03232000**

**<https://hal.science/hal-03232000v1>**

Submitted on 21 May 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.

---

# Collaboration à distance et conscience mutuelle dans le cadre du Single-Pilot Operation

*Remote collaboration and mutual awareness within Single-Pilot Operation*

**Maxime Bardou**

ENAC, Toulouse, France  
maxime.bardou@enac.fr

**Catherine Letondal**

ENAC, Toulouse, France  
catherine.letondal@enac.fr

**Mickaël Causse**

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

**Jean-Paul Imbert**

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

## CCS CONCEPTS

- **Human-centered computing** → **Collaborative interaction.**

## RÉSUMÉ

La collaboration entre un pilote (Pilot Flying) et son copilote (Pilot Monitoring) est essentielle au bon déroulement d'un vol. Dans le cadre du Single-Pilot Operation (SPO) cette collaboration doit s'effectuer à distance (sol/bord). Cette collaboration à distance va entraîner la perte d'une partie des informations non-verbales nécessaires à la conscience mutuelle et donc à la connaissance réciproque des actions et intentions de l'autre. Nous proposons donc dans cette thèse d'étudier les modalités de collaboration dans des conditions standard puis en SPO afin d'en observer les différences et proposer des outils permettant de retranscrire ses modalités au niveau design.

## MOTS CLÉS

Conscience mutuelle; Single-Pilot Operation; Collaboration à distance .

---

*IHM'21, April 13–16, 2021, Metz, France*

2021. 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'21 : 32<sup>ème</sup> conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, April 13–16, 2021, Metz, France*, <https://doi.org/10.1145/XXXXXXXXX.XXXXXXX>.

## INTRODUCTION

Pour assurer la sécurité lors d'un vol, l'activité de pilotage ne se restreint pas à l'achèvement d'une série de tâches individuelles, elle met en oeuvre la collaboration de deux pilotes ayant un objectif commun. Cette collaboration est possible grâce à une multitude de modalités de collaboration comme la voix, les gestes, etc. Dans le cadre du concept de Single-Pilot Operation (SPO), la taille de l'équipage devrait passer de deux à un membre dans le cockpit, ce qui engendrerait en conséquence la très probable nécessité de mettre en place un support au sol [12]. Cette séparation géographique (bord/sol) amène une modification d'une partie des modalités de collaboration. Certaines modalités vont pouvoir être conservées, comme la voix, grâce à l'utilisation d'outils tel que la radiocommunication. D'autres, comme les gestes, vont disparaître et impacter la communication non-verbale chez les deux collaborateurs. La communication, verbale ou non, est nécessaire au pilote pour connaître et comprendre les activités, les intentions et le statut de son binôme. Cette connaissance et compréhension d'un ensemble d'éléments des activités du collaborateur sont appelées la conscience mutuelle (ou Mutual Awareness en anglais). Il s'agit d'une « prise de conscience que les individus d'un ensemble coopératif, ont des activités, des croyances et des intentions de l'autre » [15]. Il est donc important lors de la collaboration entre les deux pilotes de savoir ce que son partenaire fait, pourquoi, dans quel but et contexte. Dans ce cadre, une première partie de la thèse sera consacrée à l'étude de la collaboration dans l'activité de pilotage via des observations et des entretiens. Dans une seconde partie, nous pourrions étudier l'influence de la conscience mutuelle lors de la collaboration et identifier certains vecteurs d'informations (explicites ou implicites). Dans une troisième partie, nous pourrions étudier l'impact de la séparation des pilotes sur la collaboration et la conscience mutuelle. Enfin, dans une quatrième partie, nous pourrions élaborer des outils dans le but de soutenir la conscience mutuelle, nécessaire à la collaboration.



**FIGURE 1: Pilot Flying avec "CRM indicateurs" à droite et carte partagée à gauche [7].**

<sup>1</sup>le pilote, le copilote, l'opérateur radio, le navigateur, et le mécanicien [2].

### Le concept de Single-Pilot Operation

Dans les années 50, le cockpit d'un aéronef était composé de cinq membres<sup>1</sup>. Dans les années 80, l'évolution des technologies et le développement de nouveaux systèmes embarqués permettra de réduire drastiquement la taille de l'équipage, qui passera de cinq à deux (le pilote et le copilote). Depuis une dizaine d'années, une nouvelle phase de réduction du nombre des membres de l'équipage est souhaitée par les compagnies aériennes et fait l'objet d'une vaste littérature scientifique. L'objectif est de réduire l'équipage à un seul pilote. Nous parlons dans ce cas de « Single Pilot Operation » (SPO) ou encore de « Reduced Crew Operation » (RCO) [7, 12]. Même si de nombreux articles emploient le terme de SPO, il est nécessaire de préciser que le pilote à bord ne se retrouve pas seul dans les tâches de pilotage en raison de la perte de "crosscheck" (vérification des actions du collaborateur) que cela provoquerait [4]. Pour ce faire, des solutions au sol avec communication à distance ont été



**FIGURE 2: Pilot Monitoring au sol avec retour vidéo à gauche et "CRM indicators" à droite [7].**



**FIGURE 3: Proposition de conception : suivi du comportement visuel du copilote sur les instruments de vols à bord du cockpit (encadré vert)**

<sup>2</sup>Exemple : lors d'une conversation entre deux personnes séparées, l'un des opérateurs veut souligner l'importance de certaines informations à l'un de ses collègues près de lui. Pour ce faire, celui-ci va moduler l'intonation de sa voix pour indiquer à son collègue ce qu'il doit noter.

imaginées [8]. Cette nouvelle phase implique également la résolution de cinq grandes problématiques de la SPO [12] : les problèmes opérationnels, les problèmes communicationnels et sociaux, le problème des automatismes, les problèmes de certifications et pour finir les problèmes d'incapacitation du pilote. L'aspect communicationnel, et plus particulièrement la communication non-verbale lors de la collaboration à distance, est la problématique centrale dans le cadre de cette thèse.

### Le problème de la communication à distance

La mise en place d'un support au sol doit permettre aux membres d'effectuer correctement leurs tâches de pilotage. Certains aspects comme la conscience de la situation (ou « Situation Awareness » en anglais) chez les pilotes au sol doivent être étudiés dans le cas d'une surveillance multiple d'aéronefs [3]. Lors d'une étude de Lachter et ses collaborateurs [7], cinq problématiques de la collaboration à distance dans le concept de Single-Pilot Operation ont été soulignées : le problème d'incertitude des rôles, des actions, des manipulations, un problème de prise de décision mais également un problème de rassemblement des informations. Certains de ces problèmes comme l'incertitude des rôles et des actions sont des confusions dues à un manque de communication et de conscience mutuelle. Ce problème de connaissance mutuelle des actions souligné par Lachter [6], montre l'importance d'un besoin de support lors d'une collaboration à distance. Certains outils ont déjà été proposés comme le « Crew Resource Management indicators » (Figure 1, 2) correspondant ou encore les cartes et checklists partagées. De plus, l'utilisation d'un retour vidéo a été testé pour permettre de visionner les actions de l'un et de l'autre afin d'améliorer cette conscience de l'activité de chacun. Outre le fait de comprendre la problématique de la collaboration à distance dans le cadre de la SPO, un travail doit être effectué sur la compréhension de la conscience mutuelle et sur l'identification de cette communication non-verbale essentielle à la compréhension de l'environnement, et par conséquent à une conscience de la situation optimale.

### Identification des informations explicites et implicites

Un objectif va être de comprendre la mise en place de la conscience mutuelle des pilotes et étudier l'impact de sa modification au sein d'un équipage. Selon Schmidt [13], la conscience mutuelle correspond à « la perception et la compréhension des activités d'un membre A, y compris l'intention, le statut et les résultats possibles de cette activité, par le membre B ». Dans un cockpit, les pilotes vont réussir à mettre en cohérence et intégrer leurs actions de façon discrète afin d'aboutir à un objectif commun. Cette conscience de l'activité de l'autre peut être communiquée de manière explicite (communication orale ou numérique) ou implicite (intonation dans la voix, modulation des gestes) lors d'une action <sup>2</sup>. Cette modulation est appelée « action discrète » [14]. D'après l'auteur, quatre questions nous permettraient de mieux comprendre ces « actions discrètes ». La première correspond à l'identification de l'objectif de l'action : « Sur quelles indices se fonde un acteur lorsqu'il tient compte

des activités d'autrui? ». La seconde, à la sémantique de l'action et au tri de l'information : « Avec quelles compétences les acteurs coopérants sont-ils capables de donner un sens à ce que font les autres? ». La troisième aux indices matériels permettant la compréhension de ces actions, « comment les acteurs exploitent-ils l'environnement matériel et conventionnel dans le suivi des événements en cours? ». Et enfin, la dernière concerne la pertinence des actions et son intrusion : « Comment l'acteur détermine-t-il ce qui est pertinent pour son propre effort? Comment un acteur sait-il quand et comment accorder l'intrusion de sa surveillance ou de son affichage? ». L'utilisation et la résolution de ces quatre questions nous permettent de guider la création d'un outil adéquat pour le soutien de la conscience mutuelle. L'identification des modalités et actions discrètes intervenant dans la collaboration entre les pilotes va nous informer sur la conception des outils support. Deux types de mesures sont possibles pour mesurer la conscience mutuelle. Les mesures subjectives, sous forme de questionnaires<sup>3</sup>, et les mesures objectives. Pour cette dernière, il peut être intéressant d'utiliser des indices psychophysiologiques<sup>4</sup> comme indicateurs de la conscience mutuelle.

<sup>3</sup>Exemple : Mutual Awareness Questionnaires [10]

<sup>4</sup>Exemple : la dilatation simultanée des pupilles des opérateurs [11]

#### **Pistes de conception et conclusion**

Pour aboutir au soutien de la conscience mutuelle d'un pilote et de son copilote au sol lors de la collaboration à distance, plusieurs pistes de conception sont envisageables. Tout d'abord, nous pouvons reproduire ou représenter les comportements visuels ou gestuels. En effet, l'absence du copilote dans le cockpit lors d'un vol retire la possibilité de vérifier où se porte son attention. Pour palier à cette absence nous pouvons concevoir une reproduction de ce comportement visuel du pilote au sol (heatmap, encadrement lorsque l'écran est regardé, etc) (Figure 3) vers les interfaces du pilote à bord. Il est également possible de reproduire les comportements gestuels via un retour vidéo [8] ou encore via la codification des gestes sur les interfaces [1]. Une autre piste est d'informer sur la représentation des états mentaux de l'équipage via des indicateurs psychophysiologiques. Ces états pourront alors être transmis au sol pour le copilote et à bord pour le pilote<sup>5</sup>. Comme l'a étudié Lachter [8], nous pouvons proposer des outils collaboratifs de construction de la conscience mutuelle comme les cartes et les checklists partagées. Enfin, nous pouvons envisager l'utilisation d'un assistant virtuel pour atténuer l'absence du pilote, par exemple en l'aidant à optimiser ses circuits visuels, une alerte pourrait être émise lorsque ceux-ci deviennent sous optimaux [9]. En effet, il a été montré qu'en l'absence de copilote, le pilote aux commandes va passer plus de temps à surveiller les instruments secondaires, tâche que le copilote doit effectuer en temps normal [5]. Si la séparation du pilote et du copilote est encore un sujet sensible concernant la sécurité des vols, les différentes recherches associées à la SPO et la collaboration à distance permettent de définir les modalités de collaboration ainsi que la répartition des rôles lors d'une activité de pilotage. Les travaux de cette thèse et les différentes pistes exposés ci-dessus ont pour objectifs de proposer des solutions à la modification de la conscience mutuelle lors d'une collaboration à distance d'un pilote et son copilote.

<sup>5</sup>Exemple : les états comme le stress ou la charge mentale de travail, pourront avertir le collaborateur des états mentaux de son collègue pour adapter son comportement et éviter toute altération de la collaboration à distance.

**RÉFÉRENCES**

- [1] Valentin Becquet, Catherine Letondal, Jean-Luc Vinot, and Sylvain Pauchet. 2019. How do Gestures Matter for Mutual Awareness in Cockpits? : Disclosing Interactions through Graphical Representations. In *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*. ACM, 593–605. <https://doi.org/10.1145/3322276.3322306>
- [2] Roger E. Bohn. 2010. How flying got smarter. In *2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. IEEE, 682–687. <https://doi.org/10.1109/IVS.2010.5547961>
- [3] Summer L. Brandt, Joel Lachter, Vernol Battiste, and Walter Johnson. 2015. Pilot Situation Awareness and its Implications for Single Pilot Operations : Analysis of a Human-in-the-Loop Study. *Procedia Manufacturing* 3 (2015), 3017–3024. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.846>
- [4] Doreen Comerford, Summer L Brandt, Joel Lachter, Shu-Chieh Wu, Richard Mogford, Vernol Battiste, and Walter W Johnson. [n. d.]. NASA's Single-Pilot Operations Technical Interchange Meeting : Proceedings and Findings. ([n. d.]), 300.
- [5] Anja K Faulhaber, Maik Friedrich, and Tatjana Kapol. 2020. Absence of Pilot Monitoring Affects Scanning Behavior of Pilot Flying : Implications for the Design of Single-Pilot Cockpits. *Human Factors* (2020), 13.
- [6] Joel Lachter, Vernol Battiste, Michael Matessa, Quang V. Dao, Robert Koteskey, and Walter W. Johnson. 2014. Toward single pilot operations : the impact of the loss of non-verbal communication on the flight deck. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace - HCI-Aero '14*. ACM Press, 1–8. <https://doi.org/10.1145/2669592.2669695>
- [7] Joel Lachter, Summer L. Brandt, Vernol Battiste, Sarah V. Ligda, Michael Matessa, and Walter W. Johnson. 2014. Toward single pilot operations : developing a ground station. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace - HCI-Aero '14*. ACM Press, 1–8. <https://doi.org/10.1145/2669592.2669685>
- [8] Joel Lachter, Summer L. Brandt, Vernol Battiste, Michael Matessa, and Walter W. Johnson. 2017. Enhanced ground support : lessons from work on reduced crew operations. *Cognition, Technology Work* 19, 2–3 (Sep 2017), 279–288. <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0422-6>
- [9] Christophe Lounis, Vsevolod Peysakhovich, and Mickaël Causse. 2019. Flight eye tracking assistant (feta) : Proof of concept. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, 739–751.
- [10] Jean MacMillan, Michael Paley, Eileen Entin, and Elliot Entin. 2004. *Questionnaires for Distributed Assessment of Team Mutual Awareness*. CRC Press, 51–1–51–9. <https://doi.org/10.1201/9780203489925.ch51>
- [11] Baptiste Prébot. 2020. *Représentation partagée et travail collaboratif en contexte C2 : monitoring d'opérateurs en situation simulée de command and control*. Ph.D. Dissertation. Université de Bordeaux.
- [12] Daniela Schmid and Neville A Stanton. 2020. Progressing Toward Airliners' Reduced-Crew Operations : A Systematic Literature Review. (2020), 25.
- [13] Kjeld Schmidt. 1998. Some notes on mutual awareness. *COTCOS, CTI, DTU, Copenhagen, Denmark* (1998).
- [14] Kjeld Schmidt. 2002. The problem with awareness' : Introductory remarks on awareness in CSCW'. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 11, 3-4 (2002), 285–298.
- [15] Yufei Shu and Kazuo Furuta. 2005. An inference method of team situation awareness based on mutual awareness. *Cognition, Technology Work* 7, 4 (Nov 2005), 272–287. <https://doi.org/10.1007/s10111-005-0012-x>