



HAL
open science

Design orienté collaboration à distance pour supporter la mutual awareness dans le cadre du Single-Pilot Operation

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

► **To cite this version:**

Maxime Bardou, Catherine Letondal, Mickaël Causse, Jean-Paul Imbert, Mathieu Poirier. Design orienté collaboration à distance pour supporter la mutual awareness dans le cadre du Single-Pilot Operation. IHM '23: 34th International Francophone Conference on Human-Computer Interaction, ACM, pp.1-12, 2023, 10.1145/3583961.3583983 . hal-04014994

HAL Id: hal-04014994

<https://hal.science/hal-04014994>

Submitted on 5 Mar 2023

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.

Design orienté collaboration à distance pour supporter la *mutual awareness* dans le cadre du Single-Pilot Operation

Collaborative Design to Support Mutual Awareness in Single-Pilot Operation and Remote Collaboration

MAXIME BARDOU, ENAC, Université Toulouse, France

CATHERINE LETONDAL, ENAC, Université Toulouse, France

MICKAËL CAUSSE, ISAE-SUPAERO, France

JEAN-PAUL IMBERT, ENAC, Université Toulouse, France

MATHIEU POIRIER, ENAC, Université Toulouse, France

For economic reasons, manufacturers have been considering dedicating commercial flights to a single pilot for the last ten years. In order to ensure a certain redundancy, this pilot could be assisted by a ground pilot. In the absence of appropriate collaboration tools, the physical separation of these pilots will lead to a degradation of the mutual understanding of behaviors (observable fact on a person) and activities (i.e. mutual awareness). In order to restore mutual awareness, indicators of each pilot's behavior (i.e. design element) need to be integrated into future flight tools. In this paper, we study the modalities of design elements in two new interfaces (ground and onboard) developed by iterations. These collaborative interfaces contain two types of elements: a remote display of the pilot's eye movements, via an eye-tracking system, and an indicator of the activities performed in the tool (moving in the map, navigation in the tabs). Two remote collaboration scenarios were proposed to four professional pilots. They allowed to identify the cues to be transmitted, such as the availability of the pilots, and to test the transmission modalities: capture (eye-tracking, audio, interface inputs), temporality (continuous transmission) and representation (graphic, audio).

CCS Concepts: • **Human-centered computing** → **Collaborative interaction**.

Additional Key Words and Phrases: single pilot, mutual awareness, collaboration, remote

Depuis une dizaine d'années, pour des raisons économiques, les industriels envisagent de dédier la conduite des vols commerciaux à un pilote unique. Afin d'assurer une certaine redondance, ce dernier serait possiblement assisté par un pilote au sol. En l'absence d'outils de collaboration appropriés, la séparation physique de ces pilotes conduira à une dégradation de la compréhension mutuelle des comportements (fait observable sur une personne) et activités (i.e. *mutual awareness*). Afin de rétablir la *mutual awareness*, des indicateurs sur le comportement et les activités de chaque pilote (i.e. éléments de design) doivent être intégrés dans les futurs outils de vol. Dans cet article, nous étudions les modalités des éléments de design dans deux nouvelles interfaces (sol et bord) développées par itérations. Ces interfaces collaboratives contiennent deux types d'élément : un affichage à distance des mouvements oculaires du pilote, via un système d'eye-tracking, et un indicateur des activités effectuées dans l'outil (déplacement dans la carte, navigation dans les onglets). Deux mises en situation de collaboration à distance ont été proposées à quatre pilotes professionnels. Elles ont permis d'identifier les indices à transmettre, tels que la disponibilité des pilotes, et de tester les modalités de transmission : capture (eye-tracking, audio, entrées d'interface), temporalité (transmission continue) et représentation (graphique, audio).

Mots-clés additionnels : monopilote, conscience mutuelle, collaboration, distance

Reference:

This is the author's draft version of the work. It is posted here for your personal use. Not for distribution. The definitive version of record was published in IHM '23: Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine.

ISBN 978-1-4503-9825-1

<https://doi.org/10.1145/3583961.3583983>

2023. Manuscript submitted to ACM

1 INTRODUCTION

La collaboration entre deux pilotes au sein du cockpit des avions commerciaux est un élément clé de la sécurité d'un vol. Actuellement, cette collaboration colocalisée (membres d'un groupe présent dans le même espace) est possible grâce aux échanges verbaux (checklist, prise de décision, etc.) et non verbaux (gestes dans le cockpit, posture du pilote, comportement¹) dans le cockpit. Par ces échanges, les deux pilotes peuvent adapter leur comportement afin de maintenir une efficacité dans la coordination et la communication des activités². Cependant, depuis une dizaine d'années, un concept de cockpit monopilote plus automatisé émerge du monde industriel et académique : le Single-Pilot Cockpit [15]. Ce type de cockpit va profondément modifier les opérations aériennes, avec notamment l'hypothèse d'un nouveau métier au sol, le pilote sol (ou Ground Pilot en anglais), afin d'assister le pilote bord. S'il est effectivement réalisé, ce concept opérationnel nécessitera des outils supportant la collaboration à distance dans le but de compenser la perte des informations naturellement présentes en colocalisation. Ces outils permettront d'améliorer la perception des comportements et activités de l'autre, informations nécessaires à la construction de la *mutual awareness*³ (i.e. compréhension mutuelle du comportement et des activités entre plusieurs individus) [53]. Ces informations que nous appellerons également indices, correspondent à différentes occurrences ou absence d'occurrences d'évènements provenant de l'autre collaborateur (e.g. Que fait l'autre pilote ? Que regarde-t-il ? Est-il disponible pour collaborer ?). Chacun de ces indices permet aux pilotes de construire la *mutual awareness*. Partant de l'hypothèse que la taxonomie d'Antunes et al. [2] sur les *awareness* permettrait de cibler les informations à intégrer dans les outils de collaboration à distance, une étude a identifié que la "workspace awareness" (e.g. que fait-il dans l'espace de travail ?), la "social awareness" (e.g. quel est son rôle ?), et la "context awareness" (e.g. où est-il situé dans l'outil ?) étaient impactées lors d'une séparation physique des pilotes [3]. À ce stade, il est légitime de se questionner sur la manière dont les informations peuvent être transmises entre les deux pilotes, que ce soit en termes de capture de ces informations (e.g. Souris, clavier, capteurs de mouvements, etc.), de sa représentation sur l'outil (audio, affichage 2D, etc), mais également sa temporalité (c'est-à-dire à quel moment transmettre cette information sans perturber la collaboration et les tâches). En effet, l'ajout de ces informations dans les outils que nous appellerons ici éléments de design (aussi dénommé comme "awareness elements"⁴) peuvent prendre différentes formes afin de fournir les indices nécessaires [2, 24].

Dans cet article, à la suite d'un état de l'art, nous détaillons deux mises en situation de collaboration avec quatre pilotes professionnels utilisant des interfaces collaboratives pour le pilote sol et bord que nous avons développées (voir Partie 4.1). Chaque interface est développée sur une base de Primary Flight Display (instrument primaire de vol qui indique la vitesse de l'aéronef, l'horizon, l'altitude) et Navigation Display (instrument de navigation qui affiche la route de l'aéronef) avec de nouveaux éléments de design (reproduction du regard, reproduction du centre de carte de chaque interface des pilotes, etc.) (voir Partie 3). Dans la partie résultats, nous présentons les retours de ces quatre pilotes concernant nos propositions de designs associés aux différentes catégories de *mutual awareness* (voir Partie 5) que nous discutons par la suite (voir Partie 6).

¹Manière d'être, d'agir ou de réagir des êtres humains [40]

²Une activité peut être définie comme une collection de tâches, elle-même composée d'un ensemble d'actions pour atteindre un but de production (Norme ISO 9000)

³Nous conserverons le terme anglais *mutual awareness* au détriment de conscience mutuelle due aux ambiguïtés existantes sur la traduction du mot "conscience".

⁴Élément de design transmettant une information par le biais d'un outil et permettant la construction de la *mutual awareness*

2 ÉTAT DE L'ART

2.1 Identification des concepts d'*awareness*

Les notions et concepts d'"awareness" sont abondants dans la littérature scientifique notamment dans les travaux orientés sur le Travail Coopératif Assisté Par Ordinateur (TCAO), ou Computer Supported Cooperative Work en anglais (CSCW) et de nombreuses définitions y sont proposées [7, 26, 31, 33].

Introduit dans la communauté CSCW pour la première fois par Dourish et Bellotti en 1992 [18], l'*awareness* correspond à "une compréhension des activités des autres, qui fournit un contexte pour votre propre activité". Cette définition est nuancée par Schmidt [53] avec le concept de *mutual awareness*. Selon Schmidt, la *mutual awareness* désigne l'*awareness* que les individus d'un groupe ont, des activités, des croyances et des intentions des autres membres du groupe. L'auteur ajoute également que la source d'information permettant la construction de la *mutual awareness* est réalisée au cours de l'exécution du travail, par l'émission et la diffusion des signaux et indices requis et accentue l'aspect réciproque de la transmission de ces indices.

Sans outils adaptés pour la collaboration à distance, la perception et la compréhension du comportement et des activités de l'autre se retrouvent altérées et dégradent l'accomplissement des tâches [37]. Pour remédier à cela, il est nécessaire de reproduire ces informations dans les outils de collaboration.

Pour y parvenir, Antunes et al., [2] ont créé une classification d'*awareness* accompagné d'une checklist permettant d'évaluer la bonne prise en compte de ces indices. Cette classification comprend six concepts : "collaboration awareness", "location awareness", "context awareness", "situation awareness", "social awareness" et "workspace awareness". Elle a semblé plus fine et plus adaptée que le concept des 3C (Coordination, Communication, Coopération) d'Ellis [20] et plus exhaustive que le concept de *group awareness* [30] qui ne regroupe que quatre *awareness* : la *workspace awareness*, la *social awareness*, la *group-structural awareness* et la *informal awareness*.

Dans la classification d'Antunes et al., la *collaboration awareness* correspond à la perception de la disponibilité des deux collaborateurs (disponibilité du groupe) et du mode de communication utilisé. La disponibilité du groupe de pilotes se distingue par la position relative des deux collaborateurs (même endroit ou endroit différent) [34] et si les pilotes sont en ligne ou non. Dans le cas d'une collaboration à distance, il est nécessaire d'obtenir des indicateurs de disponibilité à collaborer pour engager une discussion avec son partenaire et éviter les interruptions de tâches [16]. Pour le mode de communication, il peut être synchrone, asynchrone ou même semi-synchrone (e.g. système de communication qui prend en charge les deux modes de communications).

Dans le cas de la *location awareness*, celle-ci fait référence à la position géographique des collaborateurs et plus précisément à l'*awareness* de la position, de la topologie et des attributs de l'espace (par exemple, météo, température). Dans le cas d'une situation inhabituelle, il est important pour le pilote sol de connaître la position géographique du pilote bord. En effet, l'indication des conditions météorologiques (tempête, vent), mais aussi de la topographie (mer, terre, montagne) permet au pilote sol d'adapter sa prise de décision.

La *context awareness* est quant à elle liée à l'espace virtuel (espaces interactifs basés sur l'ordinateur) [50]. Elle permet de maintenir la compréhension des changements et des événements dans l'espace virtuel entre deux collaborateurs. Dans le cas du pilotage, les pilotes sauront où se trouve le collaborateur dans l'espace de travail virtuel. Par exemple, si le pilote est à la page "X" d'une checklist électronique et partagée, et que cette information est partagée au second pilote, alors celui-ci n'aura pas à demander où se situe son partenaire dans cette même checklist.

La *social awareness* correspond au contexte social pendant la collaboration entre les deux pilotes. Le contexte social se traduit par la compréhension entre les deux pilotes des rôles et des activités de chacun [10]. En effet, dans le cadre du

concept Single-Pilot Operation (SiPO), les rôles et les activités doivent être clairs lors d'une collaboration à distance. Tenir compte de cette *awareness* dans les systèmes est crucial et est soulignée par Lachter et al., [37] en observant notamment une confusion sur les rôles attribués aux pilotes et leurs activités dans son expérimentation de collaboration à distance.

Concernant la *workspace awareness*, celle-ci correspond à l'*awareness* dans "un conteneur de lieux avec des activités continues" [55] qui permet l'organisation des tâches (qui, quoi, quand, comment) comme le permettent les éditeurs de groupe (rédaction, révision, vue globale des activités) [36]. Par exemple, le pilote bord sait que le pilote sol (qui) est en train (quand) de mettre en évidence (quoi) un aéroport sur une carte partagée, grâce à un système de marquage (comment).

Enfin, Antunes et al., [2] décrivent également le concept de *Situation awareness* principalement étudié par Endsley [21] chez les pilotes. Composé de trois niveaux, perception, compréhension et projection, la *situation awareness* se base sur un modèle de représentation mentale de l'environnement construit grâce à la perception des événements, actions, ressources (niveau un), à la compréhension de ses informations (niveau deux) et à leur projection dans un scénario futur (niveau trois). Cependant, nous pouvons considérer la *situation awareness* comme une *awareness* globale d'évènements que ce soit la connaissance du lieu du collaborateur (*location awareness*), sa disponibilité (*collaboration awareness*), ou encore les activités effectuées dans l'espace de travail (*workspace awareness*).

2.2 Éléments de design associés aux *awareness*

Dans un contexte aéronautique, l'utilisation de cette classification a permis d'établir l'impact de la collaboration à distance et de la séparation physique en décrivant des lacunes concernant la *social awareness* et la répartition des tâches, la *context awareness* et la perception de l'autre dans l'outil, la *workspace awareness* et la manière dont les tâches sont effectuées [3] (voir Table 1.).

Chaque type d'*awareness* énoncées ci-dessus est associée à sept catégories de design (présentés Table.1). Chaque catégorie permet de cibler les besoins adressés aux *awareness*. Par exemple pour la *collaboration awareness*, deux catégories de design y sont listées : la disponibilité et la communication. Pour que notre outil supporte la *collaboration awareness*, il est nécessaire d'y intégrer des éléments de design informant sur le mode de communication (type de communication employé, synchrone, asynchrone ou les deux) et si celui-ci est disponible pour collaborer et engager une discussion avec le pilote bord, que cela soit en montrant l'ensemble des activités effectuées par l'un des pilotes, ou en identifiant l'absence d'activité [16]. Pour la *social awareness*, les éléments de design doivent informer sur les rôles et leurs activités associés ainsi que les privilèges (commande disponible selon le rôle du pilote) sur l'outil. Pour la *workspace awareness*, des éléments de design doivent être ajoutés pour savoir comment le groupe interagit avec l'espace de travail. Cet indice peut être transmis grâce à une reproduction du regard ou la voix [57]. Enfin, pour la *context awareness*, les éléments de design permettent d'informer sur la navigation du collaborateur dans l'interface grâce à différents indicateurs de navigation (ou aide de navigation) dans l'interface permettant de prodiguer un contexte partagé [18, 29].

Dans cet article, nous proposons d'étudier comment capturer et représenter les informations de comportements et d'activités nécessaires à la *mutual awareness* grâce à la classification d'Antunes et al. [2] et dans la continuité des travaux de Bardou et al. [3] en retenant la *workspace awareness* et la *context awareness*, identifiées comme étant dégradées dans un contexte aéronautique à distance. Par souci de simplicité, nous n'avons pas développé d'élément de design concernant la *social awareness*.

Awareness	Catégorie de design	Exemple d'information à intégrer dans l'interface
Collaboration	Disponibilité	L'interface informe si le pilote est disponible pour collaborer
	Communication	L'interface informe sur le mode de communication (synchrone ou asynchrone)
Context	Navigation	L'interface informe sur la navigation de l'autre pilote dans le système
Social	Activité	L'interface informe sur les rôles attribués entre pilotes
	Privilège	L'interface informe sur les privilèges des pilotes sur le système
Workspace	Tâche	L'interface informe sur la tâche d'un pilote dans le système
	Interaction	L'interface informe sur la position du regard du pilote

TABLE 1. Exemple d'*awareness* décrit par Antunes et étudié dans cet article avec la catégorie de design liée aux *awareness* [2]

2.3 Capture et représentation des informations

Pour intégrer les informations nécessaires à la *mutual awareness* dans les outils de collaboration à distance, différentes modalités de transmission⁵ sont présentées dans la littérature : la transmission des informations médiée par l'audio et la vidéo, la transmission médiée par les actions du collaborateur sur l'interface de l'outil ou encore la transmission médiée par des capteurs de mouvements corporels (e.g. eye-tracking) [45]. Ces trois modalités nous permettent d'adapter la capture et la représentation des indices au contexte de pilotage. En effet, le choix de représentation dans un contexte aéronautique peut altérer le sens de l'information que nous voulons transmettre ou bien perturber les tâches d'un pilote. Par exemple, une représentation avec de grandes dimensions ou une couleur inadaptée (e.g la couleur rouge est associée à un danger et nécessite une action immédiate de l'équipage) des indices sur les instruments de vols lors d'une manœuvre de pilotage pourrait perturber le pilote.

2.3.1 Transmissions des informations médiées par l'audio et la vidéo. La transmission des informations de comportements et activités par médiation audio-vidéo (e.g. voix, ambiance) permet aux pilotes de prendre connaissance de ces informations de manière verbale (audio) et non verbale (vidéo). Nous pouvons citer comme exemple le concept de mediaspace, un ensemble de capture audio et vidéo permettant la reproduction de l'environnement de travail de l'utilisateur dans celui d'un autre utilisateur [43]. Toutefois, l'utilisation simple du retour vidéo n'est pas appréciée par les pilotes en raison de la distraction occasionnée par l'écran supplémentaire et de l'imprécision des informations fournies par la vidéo [38].

2.3.2 Transmissions des informations et leur représentation graphique médiées par l'activité du collaborateur sur le système. Une autre modalité de transmission est la transcription des actions menées sur l'interface du pilote via les entrées de l'outil (souris, clavier, etc.). À la différence de la transmission audio-vidéo, ce choix permettrait de réduire l'intrusivité du pilote sol vers le cockpit du pilote bord par la spécification des informations à transmettre. En effet, si la diffusion via le canal audio et vidéo est continue, un large spectre d'informations non nécessaire à la collaboration sera transmis (e.g. discussion privée).

⁵Dans cet article, nous utilisons le terme transmission pour décrire la capture des informations de l'individu A jusqu'à sa représentation dans l'environnement de l'individu B et vice versa.

Le principe de ce mécanisme est d'afficher les informations dans une représentation graphique (c'est-à-dire, icône, surbrillance d'un bouton, etc.) provenant des entrées d'interface sur les outils de collaboration à distance. Déjà utilisés dans divers domaines, certains concepts comme le "GSliders" et "GTabbedPanes" permettent de montrer l'état du composant, l'identité de l'éditeur, et la manière dont il a été modifié (Fig. 1) [12, 33]. Nous pouvons également citer l'outil GroupKit pour les conférences synchronisées, qui permet de soutenir des actions multi-utilisateurs avec des télépointeurs et des annotations graphiques [52]. D'autres représentations ont par ailleurs été étudiées afin d'améliorer la collaboration, comme le concept de WYSIWIS [56] (What You See Is What I See), ou encore celui du WYSIWIS relâché [25]. Dans le cas du WYSIWIS, il s'agit de concevoir une interface multi-utilisateur dans laquelle la vue partagée entre les utilisateurs est identique. Au contraire, le WYSIWIS relâché permet à deux utilisateurs d'obtenir des vues différentes sur leur espace de travail partagé.

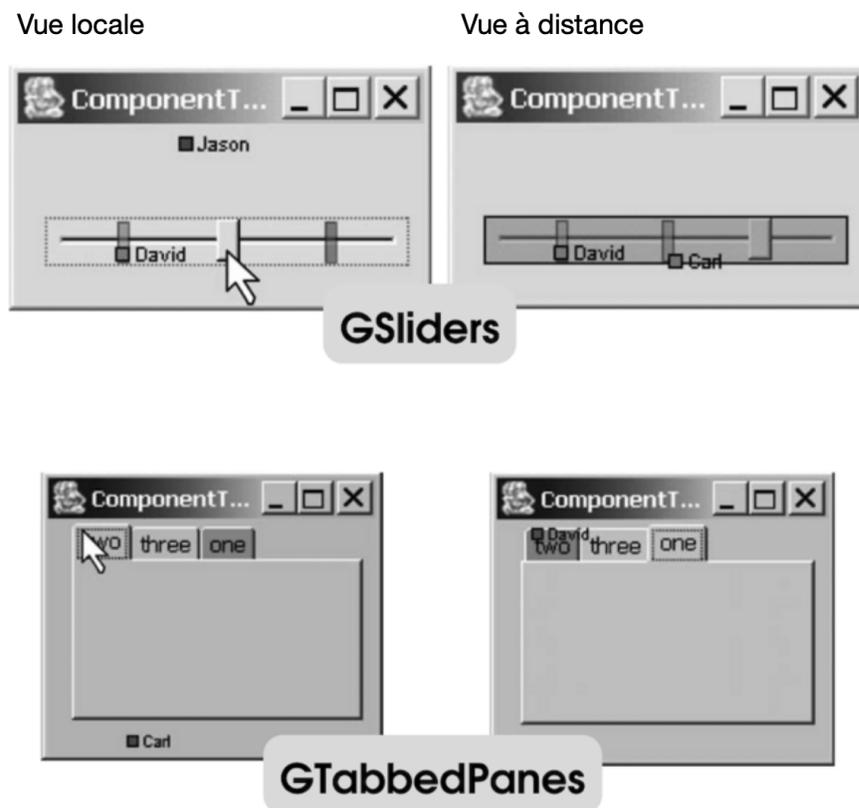


FIG. 1. Design d'interaction pour la collaboration à distance avec le "Gsliders" en haut permettant de voir où est situé le "slider" de l'utilisateur à distance et le "GTabbedPanes" en bas permettant d'observer sur quel onglet est l'utilisateur à distance [33].

2.3.3 *Transmissions des informations médiées par des capteurs de mouvements corporels.* Pour remédier à la perte d'informations, certains auteurs utilisent des capteurs de mouvements corporels (e.g. eye-tracker, capteur de mouvements gestuels) pour la projection de regard et de gestes sur l'environnement de travail afin d'ajouter l'intention du collaborateur

effectuant la tâche [1, 4, 32]. Plus généralement, cette projection reprend le principe du télépointeur en capturant les mouvements du corps (e.g. les mains) [49] ou le regard [23] pendant une collaboration. Grâce à cette capture et cette représentation des mouvements corporels, le pilote pourrait savoir quand et comment les actions sont effectuées dans le cockpit et ce que l'autre observe durant la collaboration. De plus, cette projection du regard peut être représentée de différentes manières (un curseur [8] un spot [59], un circuit visuel ou encore une heatmap) et semble apporter des degrés différents sur sa perception et l'information qu'il transmet. Par exemple, les représentations g), h) et i) (Fig. 2) basées sur des zones observées (ou "Area of Interest" (AOI) en anglais) seraient plus visibles et apporteraient plus d'informations sur le regard et l'intention de l'utilisateur comparé aux représentations en "point" a), b) et c) [46].

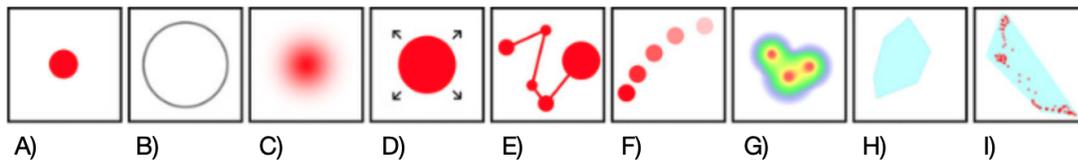


FIG. 2. Neuf représentations du regard sur un écran en temps réel avec A), B) et C) basées sur une représentation ponctuelle. D), E) et F) sont basées sur la trajectoire du regard. Et enfin, G), H) et I) sont basées sur les aires d'intérêt ou "AOI" [46].

Enfin, les informations de l'eye-tracking permettrait d'ajouter du contexte lors d'une conversation. Précisément, le regard permet de pointer des éléments d'information sur l'écran à destination du collaborateur [13, 27]. De plus, il est démontré que les fixations oculaires permettent de remplacer le pointage d'objets par les gestes de façon tout aussi rapide et précise [32], et amélioreraient la communication et la qualité de la collaboration entre deux personnes [28].

3 DESCRIPTION DU SYSTÈME

Dans cette section, la description des interfaces réalisées est précédée de la logique de conception concernant le choix des informations, leur mode de capture, leur temporalité et leur représentation.

3.1 Information, capture, temporalité et représentation

Les différentes études présentées dans l'état de l'art nous permettent de structurer les données à prendre en compte pour la construction de la *mutual awareness*. Cette structuration se base sur le framework de Gallardo et al. [24] et de sa spécification des modalités de design des informations avec comme critère le domaine d'*awareness* ("Awareness areas"), l'information transmise ("Information elements"), sa capture ("Input"), et sa représentation ("Output").

Tout d'abord, il y a l'identification des informations nécessaires aux pilotes afin d'actualiser et de construire sa compréhension des comportements et activités de l'autre pilote. Dans notre mise en situation décrite section 4.1, nous avons proposé d'afficher 1) la localisation du regard du pilote sur l'interface et sur la carte, 2) la localisation du pilote (et donc de l'avion) sur la carte, et 3) le mode de vue employé par le pilote (voir récapitulatif Table 2.).

Ensuite, il y a la capture de ces données qui peut être réalisée grâce à des capteurs de mouvements, de la capture audio ou vidéo, ou encore des entrées d'outils (e.g. souris, claviers, etc.). Dans notre mise en situation, les données sont capturées via un système d'eye-tracking ainsi qu'une entrée d'interface (souris). Après avoir identifié la méthode de capture, ces indices doivent être représentés à un instant où les pilotes peuvent les recevoir. Le choix de la temporalité permet alors d'éviter les interruptions de tâches ou distractions. Dans cette étude pour des raisons techniques, toutes

les informations sont transmises de façon continue et aucun des pilotes ne peut choisir s'il souhaite recevoir ces informations ou non.

Pour finir, lorsque nous avons identifié, capturé et choisi l'instant où représenter les indices, nous devons choisir "comment" les représenter. Pour le regard, nous le représentons en zones observées (interface et carte de navigation) et en représentation ponctuelle (voir Fig. 2). Concernant les entrées d'interfaces, leurs représentations sont basées sur le concept de "GTabbedPanes" avec l'affichage d'une bulle et l'image d'un opérateur au-dessus du bouton indiquant son état (c'est-à-dire sélectionné ou non par l'autre pilote) (voir exemple Fig. 1).

Informations	Awareness	Capture	Temporalité	Représentation
Où se porte le regard du pilote sur l'interface ?	Workspace	Eye-tracker	Continue	Zone observée (A)
Où se porte le regard du pilote sur la carte ?	Workspace	Eye-tracker	Continue	Ponctuelle (Point) (B)
Dans quel mode de vue est situé le pilote ?	Context	Souris	Continue	Bouton (C)
Où est situé le pilote sur la carte ?	Context	Souris	Continue	Point (D)

TABLE 2. Récapitulatif des éléments de design intégrés dans la version finale de nos interfaces avec A, B, C, D observable Fig. 3.

3.2 Interface de collaboration à distance

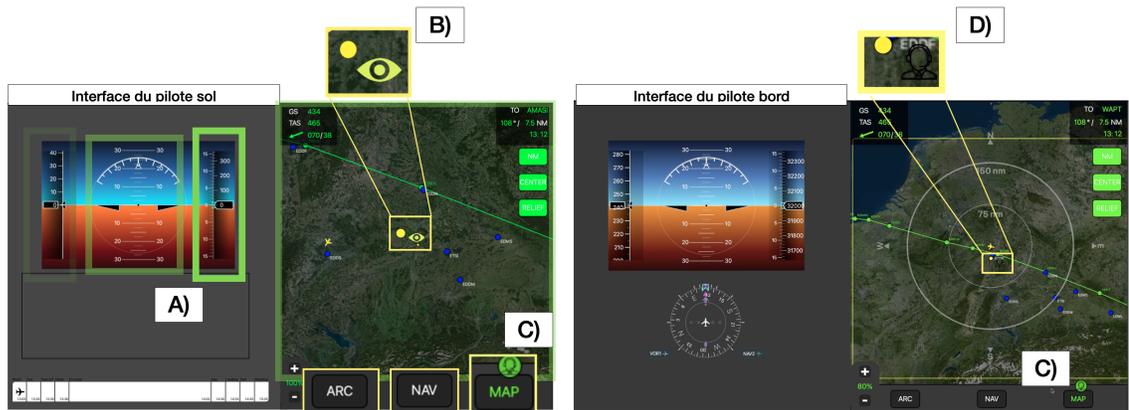


FIG. 3. Interface support finale pour les éléments d'awareness avec A) les encadrés verts représentant la zone observée par le pilote bord sur l'interface du pilote sol. B) le regard brut du pilote bord correspondant à la zone géographique de la carte observée sur l'interface du pilote sol. C) Un indicateur de mode de vue sur les onglets "ARC", "NAV" ou "MAP", en vert si les deux pilotes sont sur le même mode de vue. D) La représentation du centre géographique de la carte du pilote sol vers l'interface du pilote bord.

Pour étudier et intégrer nos éléments de design, nous avons développé deux interfaces (une pilote sol et une pilote bord) basées sur les instruments de vol primaires actuels : Primary Flight Display pour le pilotage de l'avion et Navigation Display pour la navigation du vol. Deux versions d'interfaces ont été présentées durant cette étude : la version initiale pour la première mise en situation et la version finale pour la seconde mise en situation.

3.2.1 Version initiale de l'interface. La première version que nous ne détaillerons pas dans cet article (version initiale ou "VI") est issue d'une conception participative avec un pilote écho radar⁶ et un pilote professionnel. Dans cette version, les représentations des informations se font par le biais de zones observées par le pilote bord sur l'interface du pilote sol (Fig. 3A) (encadré vert autour de la vitesse de l'aéronef, l'horizon, l'altitude et le Navigation Display qui disparaissent cinq secondes après que le pilote a observé la zone), d'un indicateur de centre de la carte (Fig. 3D) et d'un indicateur de mode de vue (Fig. 3C). Pour le pilote bord, il s'agit d'un indicateur de centre de carte (Fig. 3D) ainsi qu'un indicateur de mode de vue (Fig. 3C).

3.2.2 Version finale de l'interface. La version finale (produite après la première mise en situation) diffère de la version initiale par l'ajout de la position exacte du regard représentée par un point (représentation ponctuelle) (Fig. 3B) et l'ajout d'un encadré jaune sur l'élément de design D) permettant de visualiser les dimensions de la carte observable par le pilote sol ainsi que des ajouts de fonctionnalités opérationnelles pour le scénario présenté (affichage de la position de l'avion dans la carte, la possibilité d'avoir les distances entre les points, le choix d'une carte avec relief ou fond neutre).

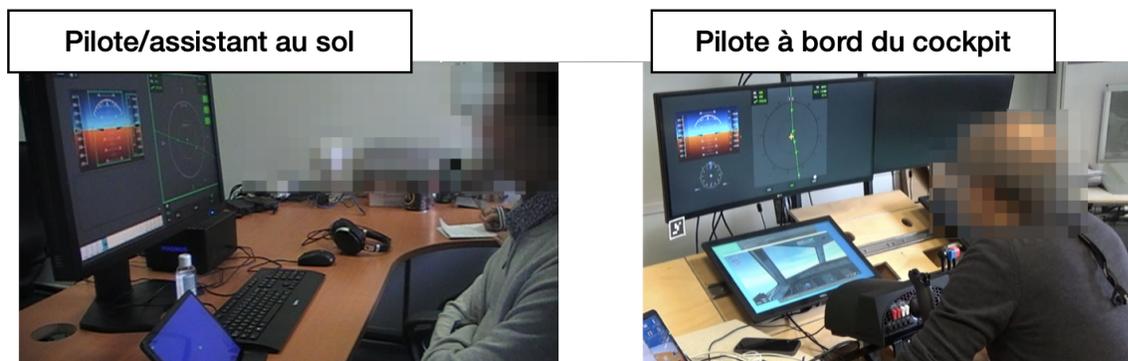


FIG. 4. Photo de la mise en situation avec la version finale d'interface bord/sol avec à gauche le poste de pilote sol et à droite le poste de pilote bord situé chacun dans deux pièces séparées.

4 MÉTHODOLOGIE

4.1 Mise en situation d'une collaboration à distance

Pour affiner notre compréhension du problème de *mutual awareness* et étudier l'intérêt des éléments de design de notre interface, deux mises en situation ont été réalisées avec deux équipages professionnels dans un scénario d'urgence médicale impliquant une prise de décision sur l'aéroport où atterrir avec l'aide d'une carte aérienne. En effet, l'utilisation d'un scénario avec une urgence implique de plus grandes ressources cognitives [51] et parfois des erreurs dans la coordination de l'équipage [9] ce qui permet de mettre en évidence les problèmes de *mutual awareness*.

Les pilotes reprennent les rôles présentés dans la littérature avec un pilote bord et un pilote sol [6]. Dans nos mises en situation, les deux pilotes sont situés dans deux salles différentes, introduisant de facto une perte d'informations visuelles sur l'autre pilote (gestes, posture, comportement, etc.) (Fig. 4.5) tout en gardant une communication verbale continue avec l'application "Discord". Pour chaque participant, une interface leur a été présentée et décrite pour le scénario.

⁶Le pilote écho radar intervient dans les formations de contrôleurs aériens en simulant le rôle de pilote via un logiciel.

4.2 Méthode de traitement des données

À la suite des mises en situation, un entretien d'environ une heure avec le binôme de pilote a été mené pour chaque passation. Les informations tirées de ces entretiens ont par la suite été retranscrites ainsi que les dialogues lors de la seconde mise en situation.

Ces différents verbatims ont été codifiés par un des auteurs avec plusieurs mots-clés se rapportant aux critères d'évaluation de la classification d'Antunes avec les mots "Disponibilité", "Communication" et "Interruption", qui se rapportent au concept de *collaboration awareness*, "Contexte" et "Navigation", qui se rapportent au concept de *context awareness*, "Répartition" qui se rapporte au concept de *social awareness* ainsi que le mot-clé "Design" lorsque les pilotes évoquent les problèmes de représentations de l'information (Voir Table 3 pour exemple). Chaque verbatim a été sélectionné dans la transcription en fonction de leur pertinence avec les concepts d'Antunes et al. La section Résultats (Section 5) est organisée autour de ces mots-clés. L'objectif principal de cette méthode de traitement est une analyse essentiellement qualitative et n'a pas pour but d'être exhaustif. Nous cherchons à développer et comprendre les concepts d'*awareness* dans un nouveau contexte aéronautique de collaboration à distance et cerner l'impact de nouveaux éléments de design sur ces *awareness* grâce au point de vue des pilotes et leurs ressentis. Aucune analyse quantitative n'a eu lieu.

Numéro	Citation	Mots-clés
3	P3 : d'accord alors on va vérifier ça de notre côté	
	P4 : voilà parce que c'est pas super long quand même	Confusion des rôles ; répartition des tâches entre pilotes ;
	P3 : à moins que tu ... je te laisse faire ... mais on peut regarder de notre côté	
	P4 : ok donc je voudrais savoir ouai si on peut poser ... à la masse actuelle	

TABLE 3. Exemple de traitement des citations avec le numéro de citation, la citation et les mots-clés associés.

4.3 Participants

Dans notre mise en situation, quatre pilotes professionnels avec plus de 3 000 heures de vol ont participé à l'expérimentation. Les quatre pilotes ont une expérience en Multi Crew Cooperation (MCC) garantissant les capacités des pilotes à effectuer un vol en équipage. Le premier pilote "P1.VI.S" a joué le rôle de pilote sol et le second "P2.VI.B" celui du pilote bord. Dans la seconde mise en situation, le pilote "P3.VF.S" a joué le rôle de pilote sol et le second pilote "P4.VF.B" celui du pilote bord (voir Table 4).

Le premier binôme de pilotes P1 et P2 a déjà participé à une expérience commune en tant que *Pilot Flying*⁷ (PF) et *Pilot Monitoring*⁸ (PM) sur simulateur. En ce qui concerne les pilotes P2 et P3, ce binôme n'a jamais eu d'expérience de pilotage commune que cela soit en vol réel ou en simulateur. Nous pouvons également ajouter qu'aucun des pilotes

⁷Le *Pilot Flying* s'occupe des manoeuvres de vol de l'aéronef

⁸Le *Pilot Monitoring* s'occupe de la surveillance des systèmes, des indicateurs de vols et de la communication

n'avait d'informations sur la nature du vol et le moment de l'évènement. Les seules données prodiguées concernant le vol ont été le lieu de départ (au-dessus de l'Allemagne) et de sa destination (Dubai).

binôme	Version d'interface
P1.VI.S	Version initiale
P2.VI.B	Version initiale
P3.VF.S	Version finale
P4.VF.B	Version finale

TABLE 4. Catégorisation des pilotes participants avec "VI" pour version initiale, "VF" pour version finale de l'interface, "S" pour le rôle de pilote sol et "B" pour le rôle de pilote bord.

4.4 Protocole

Dans un premier temps, un briefing a été organisé avec les deux pilotes concernant le vol à effectuer et la distribution des rôles entre le pilote sol et le pilote bord. Dans ce scénario, le vol programmé est un vol long-courrier partant de New York à destination de Dubaï. Le scénario démarre au-dessus de l'Allemagne en croisière, à mi-vol de la destination. Arrivée au "waypoint" AMASI (près de Francfort), un expérimentateur annonce au pilote bord une urgence médicale (arrêt cardiaque d'un passager). Cette urgence implique une prise en charge rapide dans un service hospitalier et un atterrissage au plus vite. Pour prendre cette décision, les deux utilisateurs doivent consulter une carte de l'Allemagne (intégrée dans l'onglet "MAP" de nos interfaces) (voir Fig. 3) et choisir un aéroport où atterrir dans les plus brefs délais. Un ensemble d'aéroports préalablement intégré dans la carte sont affichés avec différents critères d'atterrissage permettant au pilote d'atterrir ou non. Lorsque la décision des pilotes est prise et que la descente de l'avion est entamée, la mise en situation est terminée et se poursuit par un entretien d'environ une heure. Les durées des mises en situation ont été d'environ 20 minutes pour chaque passation. Les entretiens ont été conduits de manière non directive et les pilotes pouvaient discuter librement de leur expérience. Lors des entretiens, certains termes que les pilotes évoquaient étaient relevés verbalement afin d'obtenir davantage d'informations sur le sujet (par exemple, lorsque le pilote parlait d'interruptions de tâche, nous demandions de détailler son propos).

4.5 Matériel

Pour ces mises en situation, nos interfaces ont été codées en DJNN/SMALA, un langage orienté interaction basé sur des mécanismes de traitement d'évènements, de machine à état et de gestion de flots de données [44]. Chaque interface dédiée au rôle du pilote était affichée sur un moniteur et connectée au logiciel Microsoft Flight Simulator 2020 via IVYBUS [11] (réseau de transfert et réception de données) afin d'obtenir les informations de vol (altitude, position, vitesse de l'aéronef). En plus de cela, le pilote bord avait à sa disposition un manche de commande de vol Honeycomb Alpha et une manette des gaz connectée à l'interface via le réseau IVY. Enfin, le pilote était également équipé de lunettes Eye tracking TOBII glasses 2. Ces lunettes étaient connectées à un PC indépendant du simulateur afin de récupérer la position du regard en X et Y sur l'interface grâce à un marqueur (similaire au QR code) appelé code "ArUco" positionné dans un coin de l'écran.

5 RÉSULTATS

Dans cette partie, nous présentons les différents éléments de design (A, B, C, D) présents dans l'expérimentation. Avant chaque résultat, une table résumant les modalités des éléments de design est présentée : informations, type de capture, temporalité, représentation, et l'*awareness* liée à notre proposition (voir Table 5, Table 6, Table 7)

Chaque citation est présentée de la manière suivante : "numéro de référence à la citation" + "Source de la citation" + "Pilote + version d'interface" : "Citation" (e.g. (2) [Entretien] P3.VF.S : "Citation"). Les citations sont issues des dialogues entre les deux pilotes lors des passations ainsi que des entretiens effectués après la mise en situation et nous permettent d'obtenir les retours sur la pertinence des modalités choisies pour les éléments de design.

À la suite des résultats sur les éléments de design, nous présentons de nouveaux besoins non traités dans notre étude soit par manque de temps pour développer le design, mais identifiés comme dégradés dans une précédente étude (*social awareness*) [3] soit, car non-identifiés comme étant dégradés dans la collaboration à distance en contexte aéronautique (*collaboration awareness*).

5.1 Élément de design A et B : Indicateur de regard sur l'outil

Awareness	Workspace awareness
Information	Indice du regard
Capture	Capteur de mouvements corporels
Temporalité	Continue
Représentation	Encadré vert et point jaune sur la carte (Fig.3A, B)

TABLE 5. Récapitulatif des modalités des éléments de design pour apporter de la *workspace awareness*

L'utilisation du regard (encadré vert) comme indicateur de l'activité du pilote bord et, plus précisément, de surveillance des systèmes n'a pas apporté de plus-value à la collaboration à distance selon le pilote sol de la seconde session (1) :

(1) [Entretien] P3.VF.S : "*non côté sol euh [...] l'assistant avait une tâche, il faisait son et [...] voilà après quand tu regardes, tu vois où est porté le regard [...] bon est-ce que tu peux en déduire que le pilote revient vers son PFD à un moment donné [...] c'est plutôt chose normale puisqu'il est censé monitorer son vol donc euh [...] on va dire c'est standard [...] c'est standard [...] j'en ai rien retiré [...]*"

Selon le pilote sol, cette information n'était pas adaptée au scénario orienté sur la prise de décision, mais le serait davantage dans un scénario (e.g. panne moteur) nécessitant des manœuvres et une surveillance des paramètres de vol (indicateurs de vitesse, etc.). En ce qui concerne sa représentation (encadré vert), celle-ci n'a pas été jugée distrayante, point important pour assurer la sécurité du vol et notamment pour éviter les interruptions de tâche où la distraction lors des activités du pilote sol.

Toutefois, dans le cas du pilote sol, nous pouvons souligner que celui-ci a transmis verbalement certains indices sur son regard ainsi que sur la tâche qu'il effectue comme nous le montre ce verbatim (2) :

(2) [Passation] P3.VF.S : "*oui ici [P3.VF.S], je suis **en train de regarder** [...] je comprends un besoin cardio [...] je suis **en train de rechercher quelque chose** qui te permet de te poser d'avoir une météo favorable également pour te poser [...] euh dès que j'ai de l'info assez vite, je te rappelle.*"

Concernant la temporalité, les pilotes ont suggéré la possibilité de choisir l'instant où recevoir l'information nécessaire, c'est-à-dire dans notre cas seulement lorsque le pilote sol souhaite obtenir cette information (3) :

(3) [Entretien] P4.VF.B : "*c'est possible que là à ce moment-là **l'opérateur jette un coup d'œil et voie le pilote en train de préparer son FMS [Flight Management System]***"

Cette suggestion rejoint le concept du "Glance" retrouvé dans l'environnement RAVE [7]. Le concept de "Glance" ou "Coup d'oeil" permet aux utilisateurs d'observer l'environnement de travail (environnement réel grâce à une capture vidéo dans le cas de l'environnement RAVE) à un instant "t". En reprenant ce concept, nous pouvons imaginer que les pilotes puissent observer l'environnement virtuel de chacun (et donc les manipulations et le regard dans l'outil de collaboration).

En raison d'un problème de latence entre le regard du pilote bord et son affichage sur l'interface du pilote sol, aucun retour n'a pu être recueilli sur l'élément de design B) (point jaune sur la carte).

5.2 Élément de design C et D : Indicateur de mode de vue et centre de carte

Awareness ciblé	Context awareness
Information	Navigation dans l'interface
Capture	Entrée d'interface
Temporalité	Continue
Représentation	Indicateur de mode de vue (Fig.3C)

TABLE 6. Modalités des éléments de navigation dans l'interface pour apporter du *context awareness*

L'information que nous avons voulue présenter concerne l'état de l'interface (configuration de l'interface) à un instant "t" et plus précisément dans quel mode de vue se situe le pilote. Dans notre mise en situation, ces états correspondent aux modes de vues "ARC", "NAV", et "MAP". Chacun de ces états modifie l'apparence du "Navigation Display" (voir Fig. 3C). Afficher une information d'état de l'interface grâce à un indicateur visuel sur les boutons (voir Fig. 3C.) semble pertinente dans notre interface (4) :

(4) [Entretien] P1.VI.S : "*là j'ai vu qu'il est passé sur "ARC" [mode d'affichage du "Navigation Display"] pour voir où on était et donc j'avais pas besoin de lui dire on est là [...] je savais déjà qu'il avait vu et en plus il me l'a dit [...] j'avais pas besoin de le dire ah on y est sur le [...].*"

Nous pouvons souligner que le pilote met l'accent sur le *changement d'état de l'interface*, c'est-à-dire le changement d'affichage de l'interface de A à B, en passant d'un mode de vue ("ARC") à un autre. Nous pouvons supposer qu'une information sur le changement d'état de l'interface est à privilégier dans le design à la place de l'état du bouton (sélectionné ou non). Nous observons que l'affichage de cette information peut être pertinent tout au long de la mise en situation, ce qui permet d'éviter la surverbalisation déjà constatée dans une précédente étude sur la collaboration à

distance [3]. Toutefois, sa représentation ne semble pas être la plus adaptée pour transmettre cette information de mode de vue.

Dans le cas de la première mise en situation et la version initiale de l'interface, la proposition d'élément de design C) semblerait apporter les informations nécessaires à la construction de la *context awareness* et amènerait à une meilleure compréhension de la configuration de l'interface appartenant au second pilote. Or, cette information ne paraissait pas être utilisée par les pilotes de la seconde session. En effet, les pilotes n'ont pas interprété cet indicateur comme une information de configuration de l'interface, mais comme un indicateur de disponibilité à collaborer ou à recevoir des informations (5) :

(5) [Entretien] P3.VF.S : *"Je pensais que je pouvais en fait parler et communiquer une information ... [en parlant de l'indicateur de mode de vue]"*

Nous pouvons en déduire que la représentation de cet indicateur doit être plus efficace qu'un logo représentant un opérateur. Du fait de l'importance de l'information de transition, une animation pourrait s'avérer plus pertinente.

Concernant l'élément de design D) (indicateur de centre de la carte), les pilotes de la première session trouvent l'information et sa représentation pertinentes (6) :

(6) [Entretien] P2.VI.B : *"non c'est une information intéressante, on regarde dans la même direction [...] tu vois si son point est à l'opposé tu fais euh "non mais attend tu [...]"*

Grâce à cette information, les deux pilotes ont pu comprendre que leur contexte était partagé (i.e. les pilotes percevaient les mêmes informations provenant de la carte à cet instant).

5.3 Identification de deux besoins d'informations manquantes dans nos outils

Awareness	Collaboration awareness, Social awareness
Informations	Tâches, disponibilité, répartition des tâches
Capture	Audio
Temporalité	Continue
Représentation	Audio

TABLE 7. Modalités d'informations pour apporter de la "collaboration awareness" et de la "social awareness"

Les informations transmises par Discord (audio) ont été nombreuses dans les mises en situation. En effet, la communication orale entre les pilotes a permis de savoir quelles étaient leurs actions, malgré certaines confusions lors de la répartition des tâches, et a permis de transmettre des indications sur la disponibilité de l'autre pilote pour recevoir des informations.

Les indices présentés ci-dessus ont été transmis de façon continue grâce à leur capture et diffusion via Discord. La temporalité "continue" et sa représentation audio facilitait la circulation des informations entre les deux pilotes (7) :

(7) [Entretien] P3.VF.S : *"on échangeait sur le sujet [...] donc finalement par la communication euh [...] audio, j'avais [...] je savais ce qu'il faisait et moi j'avais les éléments qui me permettaient*

d'avancer dans ma recherche sans perdre de temps à essayer d'analyser euh [...] là où il portait son regard"

Cependant, cette modalité pose un problème selon les pilotes de la première mise en situation (8) :

(8) [Entretien] P2.VI.B : *"non ça pose problème que ça soit toujours ouvert [la communication]"*

En effet, la communication en continue engendre de l'intrusivité entre collaborateurs. Déjà identifié comme étant problématique avec le retour vidéo de Lachter [38], l'intrusivité et la diffusion continue d'informations non pertinentes dans les outils ne doit pas être un obstacle chez le pilote (e.g. conversation informelle avec le personnel navigant). Il est donc important de laisser la possibilité au pilote de choisir le mode de communication (continue ou discontinue).

Grâce à la communication verbale et au support Discord, nous avons pu observer un manque d'élément de design sur la disponibilité du pilote à collaborer. En effet, dans le cas d'une colocalisation, lorsque le pilote entame des tâches entraînant une grande partie de sa charge mentale (e.g. manœuvre de pilotage), le second pilote peut observer sa disponibilité et engager une discussion ou non. Dans notre étude, la séparation physique supprime cette information et oblige le pilote à formuler une demande explicite pour savoir si son coéquipier est disponible (9) :

(9) [Entretien] P1.VI.S : *"bah c'était pour dire "bah maintenant, on va parler de ça et j'ai des infos à te transmettre"* P2.VI.B : *"c'est comme un espèce de focus euh..."*

De plus, nous pouvons souligner une confusion concernant la répartition des tâches (*social awareness*) (10) :

(10) [Passation] P3.VF.S : *" d'accord alors, on va vérifier ça de notre côté "*

P3.VF : *" à moins que tu [...] je te laisse faire [...] mais on peut regarder de notre côté"*

P4.VF.B : *"ok donc je voudrais savoir ouais si on peut poser [...] à la masse actuelle"*

En effet, lors du calcul de la masse de l'aéronef, le pilote sol (P3.VF.S) n'a pas pu savoir si cette tâche lui était dédiée ou devait être déléguée au pilote bord. Cette confusion, associée à une dégradation de *social awareness*, a pu être provoquée par l'impossibilité de savoir si le pilote bord est déjà occupé à cet instant (problème de disponibilité). Malgré tout, cette confusion sur la répartition des tâches a rapidement été palliée grâce à la verbalisation et à son support (Discord).

6 DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette expérimentation nous confirment un besoin d'éléments de design concernant des informations sur les activités effectuées dans l'interface (*workspace awareness*), la configuration du système et si le contexte entre les pilotes est partagé (*context awareness*) et sur la répartition des tâches (*social awareness*). De plus, nos résultats soulignent un manque d'élément de design permettant l'acquisition d'informations sur la disponibilité des pilotes à collaborer (*collaboration awareness*).

Dans cette étude, nous avons pu tester la représentation du regard sous forme d'**encadré vert** et en **représentation ponctuelle** pour rétablir la *workspace awareness*. La représentation ponctuelle n'a pas été jugée dans la dernière mise en situation, due à des problèmes techniques (décalage de quelques secondes entre son apparition et le regard du pilote bord). Toutefois, nous avons pu souligner que les encadrés verts n'étaient pas **distayant** mais ne donnait pas d'indication réelle sur les activités du pilote dans ce scénario.

Nous avons pu confirmer un besoin d'information sur la **configuration de l'interface** et comment la représenter pour permettre la construction de la *context awareness* des pilotes. Les retours concernant cet élément de design, sa temporalité et sa représentation paraissent **mitigés**. Certains pilotes ont su récupérer les informations associées (information de navigation dans l'interface) afin de réduire leur verbalisation. D'un autre côté, sa représentation peut

porter à confusion, mais d'autres représentations peuvent être envisageables avec une synchronisation temporaire basée sur le "Glance". Avec cette fonctionnalité, un pilote pourrait synchroniser la configuration de l'interface de son collègue et lui permettrait de choisir le moment (temporalité) où obtenir cette information.

Enfin, nous avons pu identifier un nouveau besoin d'information à représenter sur la **disponibilité** permettant la construction de la *collaboration awareness*. Représenter sous une forme **auditive** et de façon **continue** avec Discord, les modalités de transmissions concernant cette information posent de nombreux problèmes d'**intrusivité** et d'**interruption de tâche**. Il est clair que lorsque le pilote bord souhaite collaborer avec le pilote sol, celui-ci n'a aucune possibilité de choisir quand recevoir cette information.

Cette information de disponibilité semble tout à fait cohérente et a déjà été étudiée par Dabbish et al., avec la création d'un outil permettant d'observer la disponibilité et les activités du collaborateur [16]. Cette information de disponibilité peut être facilement intégré en reprenant des éléments de design déjà existant comme donner accès à son calendrier au public [47] qui peut se traduire par une liste de tâches effectuées par le pilote en temps réel que le pilote bord peut consulter (e.g. tâche en cours, tâche finie) ou tout simplement avec des détecteurs de disponibilité dans l'espace de travail [5, 22] en capturant une absence d'activité dans le cockpit (par le regard et les actions effectuées sur les instruments de bord).

Pour conclure, la communication verbale entre pilotes est un outil habituel et soutient une grande partie de leur activité, même si elle est souvent sous-estimée par les concepteurs de système [41]. Mais, bien que les pilotes aient eu accès à la communication verbale par Discord, cette dernière n'adresse pas tous les besoins. Ainsi, les informations de mode de vue et indicateur de centre de carte (context awareness) ont été jugées pertinentes. D'autre part, les informations effectivement communiquées par le canal audio nous ont permis d'attester certaines catégories d'awareness nécessaires à la collaboration à distance entre pilotes (social, collaboration, context et workspace awareness).

6.1 Contribution et perspectives

L'utilisation des catégories d'awareness d'Antunes permet de traiter les aspects de la collaboration dans la littérature sur le Single-Pilot Cockpit sous un angle différent. Nous pouvons notamment constater que Lachter et al. [39] ne traite pas la collaboration awareness, c'est-à-dire ni les problèmes de disponibilité ni la temporalité des modes de communication. Si ces auteurs mettent l'accent sur l'organisation des tâches (social awareness), ils ne traitent pas non plus la question des interruptions qui se pose lorsqu'on ajoute des éléments d'information dans les interfaces. Nous avons pu le constater par exemple avec la projection du regard et les modes de vue (variante des "GtabbedPanels", fig. 1) pour lesquels les modalités de représentation doivent être précisées plus en amont (information, capture, temporalité, représentation). D'autre part, si Gallardo et al. [24] reprennent comme nous la classification d'Antunes, en apportant notamment une spécification des éléments de design que nous reprenons (information, capture, temporalité et représentation), ils ne proposent toutefois pas d'outil ni de solution de conception particulière, comme nous le faisons ici.

Dans les mises en situation, nous avons fait le choix de nous focaliser sur la phase de prise de décision (choix d'un aéroport de déroutement), du fait de son aspect urgent et temps réel, mais nous avons sous-estimé l'aspect collaboratif des tâches conséquentes à la prise de décision. D'autre part, du fait du nombre réduit d'outils proposés dans le système, la charge mentale a été jugée assez faible par les pilotes, d'autant que la majorité des comportements et activités a pu être verbalisée et transmis par le canal audio. Nous envisageons à ce sujet l'introduction d'outils tels que le FMS (Flight Management System) et l'ATIS (un service d'informations sur les aéroports, avec la météo, etc.) dans le prototype, ainsi que le traitement des communications avec le contrôle aérien, ce qui permettrait d'adresser plus précisément ces questions de charge mentale et d'interruptibilité. Ensuite, par manque de participants experts, nous n'avons pas intégré

de baseline dans notre étude. Cette étude s'appuie toutefois sur de précédents travaux dans lesquels aucun outil de collaboration à distance n'a été implémenté [3, 37].

L'utilisation en continu d'une transmission audio doit être questionnée notamment en regard de la saturation d'informations [3], tout comme le retour vidéo [38] ainsi que des interruptions de tâches [42]. Une suite possible de ces travaux serait d'accentuer l'analyse des dimensions de la communication verbale pour concevoir un outil alliant le verbal et l'informatique, en détectant par exemple dans ce type de communication des informations pouvant faire l'objet d'une représentation visuelle, ou en utilisant le "speech to text" pour certaines informations [14].

Il est également possible d'approfondir les éléments de design concernant le regard et sa représentation. En effet, la représentation du regard peut prendre de nombreuses formes et peut être plus ou moins efficace sur la transmission des informations selon le contexte et les activités lors d'une collaboration à distance [17]. Une perspective pourrait être d'étudier différentes représentations du regard dans la collaboration à distance et plus précisément, d'étudier la couleur que l'on pourrait moduler selon l'état mental du pilote grâce à des mesures physiologiques comme la pupillométrie.

Enfin, ces travaux peuvent être généralisés pour d'autres domaines où les enjeux sécuritaires sont élevés. En effet, tout comme dans le domaine aéronautique, la collaboration à distance et les études des outils supportant l'*awareness* ainsi que la *mutual awareness* sont de plus en plus présents dans le milieu médical [48] ou encore nucléaire [35, 54]. Bien qu'ils développent de nouveaux outils pour améliorer la *mutual awareness* [54, 58] avec des "widgets" tels que des changements de panneau, une amélioration de la saillance des alarmes ou encore une liste d'états des systèmes, d'autres configurations de capture et représentation des informations pour la construction de l'*awareness* peuvent être testés avec différents modes d'affichages des informations (affichage 2D, 3D, réalité virtuelle, mixte, etc.), de présentations des indices de communication (annotations, gestes, regard, etc.), ou l'outil lui-même (écran, projecteur, retour vidéo, etc.) [19].

7 CONCLUSIONS

Dans cet article, nous proposons d'affiner le problème de la *mutual awareness* lors d'une collaboration à distance dans le concept d'opération monopilote avec assistance au sol (i.e. Single-Pilot Operation) en exposant les informations, la capture, la temporalité et la représentation des éléments de design. Avec nos mises en situation, nous avons pu identifier un nouveau besoin d'élément de design sur la disponibilité (*collaboration awareness*). Puis, nous avons pu préciser les informations nécessaires à la construction du *context awareness*, *workspace awareness* et *social awareness*. Enfin, nous avons pu tester plusieurs modalités de capture (eye-tracking, souris, audio), de temporalité (continue) et de représentation pour supporter le *workspace awareness* (encadré vert, regard brut sur la carte) et le *context awareness* (indicateur de mode vue et l'indicateur de centre de carte). De futurs travaux pourraient étudier d'autres modalités de transmissions concernant la répartition, délégation de tâche ou encore la disponibilité, que ce soit dans le cadre du cockpit monopilote ou d'autres domaines où les enjeux sécuritaires sont élevés (e.g. nucléaire, médecine).

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement les quatre pilotes qui ont accepté de participer à nos mises en situation ainsi que Théo De La Hogue et Hugo Gillet pour leur investissement dans le développement des interfaces.

RÉFÉRENCES

- [1] Deepak Akkil, Jobin Mathew James, Poika Isokoski, and Jari Kangas. 2016. GazeTorch : enabling gaze awareness in collaborative physical tasks. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. 1151–1158.

- [2] Pedro Antunes, Valeria Herskovic, Sergio F Ochoa, and José A Pino. 2014. Reviewing the quality of awareness support in collaborative applications. *Journal of Systems and Software* 89 (2014), 146–169.
- [3] Maxime Bardou, Catherine Letondal, Jean-Paul Imbert, Mickaël Causse, Maxence Bidegaimberry, Romane Dubus, and Cécile Marcon. 2022. Redesigning systems for Single-Pilot Operations : the mutual awareness problem for remote crews. In *Proceedings of 20th European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. European Society for Socially Embedded Technologies (EUSSET).
- [4] 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*. 593–605.
- [5] James* Bo* Begole, John C Tang, and Rosco Hill. 2003. Rhythm modeling, visualizations and applications. In *Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology*. 11–20.
- [6] Karl D Bilimoria, Walter W Johnson, and Paul C Schutte. 2014. Conceptual framework for single pilot operations. In *Proceedings of the international conference on human-computer interaction in aerospace*. 1–8.
- [7] Crescencio Bravo, Rafael Duque, and Jesús Gallardo. 2013. A groupware system to support collaborative programming : Design and experiences. *Journal of Systems and Software* 86, 7 (2013), 1759–1771.
- [8] Susan E Brennan, Xin Chen, Christopher A Dickinson, Mark B Neider, and Gregory J Zelinsky. 2008. Coordinating cognition : The costs and benefits of shared gaze during collaborative search. *Cognition* 106, 3 (2008), 1465–1477.
- [9] Barbara K Burian, Immanuel Barshi, and Key Dismukes. 2005. *The challenge of aviation emergency and abnormal situations*. Technical Report.
- [10] John M Carroll, Dennis C Neale, Philip L Isenhour, Mary Beth Rosson, and D Scott McCrickard. 2003. Notification and awareness : synchronizing task-oriented collaborative activity. *International Journal of Human-Computer Studies* 58, 5 (2003), 605–632.
- [11] Stephane Chatty. 2003. The Ivy software bus. *white paper*, www.tls.cena.fr/products/ivy/documentation/ivy.pdf (2003).
- [12] Li-Te Cheng, Susanne Hupfer, Steven Ross, and John Patterson. 2003. Jazzing up Eclipse with collaborative tools. In *Proceedings of the 2003 OOPSLA workshop on eclipse technology eXchange*. 45–49.
- [13] Herbert H Clark. 1996. *Using language*. Cambridge university press.
- [14] CleanAviation. 2022. At the sharp end : Innovative cockpit tech points the way. In <https://clean-aviation.eu/media/results-stories/at-the-sharp-end-innovative-cockpit-tech-points-the-way>.
- [15] National Research Council et al. 2014. *Autonomy research for civil aviation : toward a new era of flight*. National Academies Press.
- [16] Laura Dabbish and Robert Kraut. 2008. Research note—awareness displays and social motivation for coordinating communication. *Information Systems Research* 19, 2 (2008), 221–238.
- [17] Sarah D’Angelo and Darren Gergle. 2018. An eye for design : gaze visualizations for remote collaborative work. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 1–12.
- [18] Paul Dourish and Victoria Bellotti. 1992. Awareness and coordination in shared workspaces. In *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work*. 107–114.
- [19] Romina Druta, Cristian Druta, Paul Negirla, and Ioan Silea. 2021. A review on methods and systems for remote collaboration. *Applied Sciences* 11, 21 (2021), 10035.
- [20] Clarence A Ellis, Simon J Gibbs, and Gail Rein. 1991. Groupware : some issues and experiences. *Commun. ACM* 34, 1 (1991), 39–58.
- [21] Mica R Endsley. 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors* 37, 1 (1995), 32–64.
- [22] James Fogarty, Amy J Ko, Htet Htet Aung, Elspeth Golden, Karen P Tang, and Scott E Hudson. 2005. Examining task engagement in sensor-based statistical models of human interruptibility. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. 331–340.
- [23] Susan R Fussell, Robert E Kraut, and Jane Siegel. 2000. Coordination of communication : Effects of shared visual context on collaborative work. In *Proceedings of the 2000 ACM conference on Computer supported cooperative work*. 21–30.
- [24] Jesus Gallardo, Crescencio Bravo, and Ana Isabel Molina. 2018. A framework for the descriptive specification of awareness support in multimodal user interfaces for collaborative activities. *Journal on Multimodal User Interfaces* 12, 2 (2018), 145–159.
- [25] Saul Greenberg. 1996. A fisheye text editor for relaxed-WYSIWIS groupware. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. 212–213.
- [26] Saul Greenberg and Carl Gutwin. 2016. Implications of we-awareness to the design of distributed groupware tools. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 25, 4 (2016), 279–293.
- [27] Zenzi M Griffin and Kathryn Bock. 2000. What the eyes say about speaking. *Psychological science* 11, 4 (2000), 274–279.
- [28] Kunal Gupta, Gun A Lee, and Mark Billinghurst. 2016. Do you see what I see? The effect of gaze tracking on task space remote collaboration. *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 22, 11 (2016), 2413–2422.
- [29] Carl Gutwin and Saul Greenberg. 1999. The effects of workspace awareness support on the usability of real-time distributed groupware. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 6, 3 (1999), 243–281.
- [30] Carl Gutwin and Saul Greenberg. 2002. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 11, 3 (2002), 411–446.
- [31] Carl Gutwin, Saul Greenberg, and Mark Roseman. 1996. Workspace awareness in real-time distributed groupware : Framework, widgets, and evaluation. In *People and computers XI*. Springer, 281–298.
- [32] Keita Higuchi, Ryo Yonetani, and Yoichi Sato. 2016. Can eye help you? Effects of visualizing eye fixations on remote collaboration scenarios for physical tasks. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 5180–5190.

- [33] Jason Hill and Carl Gutwin. 2003. Awareness support in a groupware widget toolkit. In *Proceedings of the 2003 international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*. 258–267.
- [34] Robert Johansen, David Sibbet, Suzyan Benson, Alixia Martin, Robert Mittman, and Paul Saffo. 1991. *Leading business teams : How teams can use technology and group process tools to enhance performance*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- [35] Jari Kangas, Antti Sand, Tero Jokela, Petri Piippo, Peter Eskolin, Marja Salmimaa, and Roope Raisamo. 2018. Remote expert for assistance in a physical operational task. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 1–6.
- [36] Michael Koch and Jürgen Koch. 2000. Application of frameworks in groupware—The iris group editor environment. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 32, 1es (2000), 28–es.
- [37] 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>
- [38] 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>
- [39] 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>
- [40] Larousse. 2023. *Comportement*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/comportement/17728>
- [41] Catherine Letondal, Jean-Luc Vinot, Sylvain Pauchet, Caroline Boussiron, Stéphanie Rey, Valentin Becquet, and Claire Lavenir. 2018. Being in the sky : Framing tangible and embodied interaction for future airliner cockpits. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. 656–666.
- [42] Loukia D Loukopoulos, R Key Dismukes, and Immanuel Barshi. 2001. Cockpit interruptions and distractions : A line observation study. In *Proceedings of the 11th international symposium on aviation psychology*. Citeseer, 1–6.
- [43] Wendy E Mackay. 1999. Media spaces : Environments for informal multimedia interaction. *Computer Supported Co-operative Work* 7 (1999), 55–82.
- [44] Mathieu Magnaudet, Stéphane Chatty, Stéphane Conversy, Sébastien Leriche, Celia Picard, and Daniel Prun. 2018. Djnn/Smala : A conceptual framework and a language for interaction-oriented programming. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 2, EICS (2018), 1–27.
- [45] Ana Isabel Molina, Jesús Gallardo, Miguel Ángel Redondo, and Crescencio Bravo. 2015. Assessing the awareness mechanisms of a collaborative programming support system. *Dyna* 82, 193 (2015), 212–222.
- [46] Joshua Newn, Eduardo Velloso, Fraser Allison, Yomna Abdelrahman, and Frank Vetere. 2017. Evaluating real-time gaze representations to infer intentions in competitive turn-based strategy games. In *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. 541–552.
- [47] Leysia Palen and Jonathan Grudin. 2003. Discretionary adoption of group support software : Lessons from calendar applications. In *Implementing collaboration technologies in industry*. Springer, 159–180.
- [48] Doug Palmer, Matt Adcock, Jocelyn Smith, Matthew Hutchins, Chris Gunn, Duncan Stevenson, and Ken Taylor. 2007. Annotating with light for remote guidance. In *Proceedings of the 19th Australasian Conference on Computer-Human interaction : Entertaining User interfaces*. 103–110.
- [49] Alexandre Pauchet, François Coldefy, Liv Lefebvre, S Louis Dit Picard, Arnaud Bouguet, Laurence Perron, Joël Guerin, Daniel Corvaisier, and Michel Collobert. 2007. Mutual awareness in collocated and distant collaborative tasks using shared interfaces. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 59–73.
- [50] Tom Rodden. 1996. Populating the application : A model of awareness for cooperative applications. In *Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work*. 87–96.
- [51] AH Roscoe and BS Grieve. 1988. Assessment of pilot workload during Boeing 767 normal and abnormal operating conditions. *SAE Transactions* (1988), 968–972.
- [52] Mark Roseman and Saul Greenberg. 1996. Building real-time groupware with GroupKit, a groupware toolkit. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 3, 1 (1996), 66–106.
- [53] Kjeld Schmidt. 1998. Some notes on mutual awareness. *COTCOS, CTI, DTU, Copenhagen, Denmark* (1998).
- [54] Manrong She and Zhizhong Li. 2017. Design and evaluation of a team mutual awareness toolkit for digital interfaces of nuclear power plant context. *International Journal of Human-Computer Interaction* 33, 9 (2017), 744–755.
- [55] Dave Snowdon, Elizabeth F Churchill, and Alan J Munro. 2000. Collaborative virtual environments : digital spaces and places for CSCW. *Collaborative Virtual Environments (2000)* (2000), 1–34.
- [56] Mark Stefik, Daniel G Bobrow, Gregg Foster, Stan Lanning, and Deborah Tatar. 1987. WYSIWIS revised : Early experiences with multiuser interfaces. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* 5, 2 (1987), 147–167.
- [57] Roel Vertegaal, Ivo Weevers, Changuk Sohn, and Chris Cheung. 2003. Gaze-2 : conveying eye contact in group video conferencing using eye-controlled camera direction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. 521–528.
- [58] Xihui Yuan, Manrong She, Zhizhong Li, Yijing Zhang, and Xiaojun Wu. 2016. Mutual awareness : Enhanced by interface design and improving team performance in incident diagnosis under computerized working environment. *International Journal of Industrial Ergonomics* 54 (2016), 65–72.
- [59] Yanxia Zhang, Ken Pfeuffer, Ming Ki Chong, Jason Alexander, Andreas Bulling, and Hans Gellersen. 2017. Look together : using gaze for assisting co-located collaborative search. *Personal and Ubiquitous Computing* 21, 1 (2017), 173–186.