



HAL
open science

La simulation de vol : Outil d'apprentissage de la gestion de la sécurité

Marie Launay, Noé Capgras

► To cite this version:

Marie Launay, Noé Capgras. La simulation de vol : Outil d'apprentissage de la gestion de la sécurité. Colloque International Game Evolution, May 2023, Paris, France. hal-04106960

HAL Id: hal-04106960

<https://hal.science/hal-04106960v1>

Submitted on 2 Jun 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.



7^e Colloque International Game Evolution

La simulation de vol : Outil d'apprentissage de la gestion de la sécurité

Marie Launay

Université Paris-Est Créteil, IAE Paris-Est, F-94010 Créteil, France
marie.l.lny@etu.u-pec.fr

Noé Capgras

Université Paris-Est Créteil, IAE Paris-Est, F-94010 Créteil, France
noe.capgras@etu.u-pec.fr

Résumé :

Dans le cadre du projet tuteuré FlighTeam qui consiste à imaginer des enseignements de management via l'usage de simulateurs de vol, nous avons conçu et expérimenté une formation d'une journée s'appuyant sur plusieurs concepts du *Threat and Error Management* (TEM). En effet, nous pensons que la culture de sécurité développée dans le secteur de l'aéronautique peut être utile à tous les (futurs) managers. Pour ce faire, nous avons mené trois expérimentations avec des étudiants de différents Masters de l'IAE Paris-Est. Si les résultats sont particulièrement encourageants avec des retours très positifs de la part des participants, plusieurs perspectives d'évolution du projet sont d'ores et déjà envisagées, notamment en élargissant notre cadre théorique par la prise en compte de modèles de systèmes de gestion de la sécurité.

Mots-clés :

Gestion de la sécurité, Enseignement supérieur, Aéronautique, Simulateur de vol, *Crew Resource Management*, Facteurs humains, *Threat and Error Management*

1 INTRODUCTION

Le projet tuteuré FlighTeam s'inscrit dans les travaux du sous-projet EdUTeam Jeux Vidéo du projet pédagogique et de recherche en ludopédagogie EdUTeam¹. Avec ce projet, nous cherchons à savoir si la simulation de vol peut être un outil pertinent dans l'apprentissage de la gestion de la sécurité. L'objectif est ainsi d'imaginer des cours de management en s'appuyant sur des notions et du matériel aéronautiques. En effet, alors que les simulateurs de vol sont utilisés pour former les futurs membres d'équipage, nous pensons que la simulation peut également être un bon moyen d'acquérir de nombreuses connaissances liées au management comme le *Crew Resource Management*. Notre article présente le concept de notre cours ainsi que les résultats des trois expérimentations. L'ensemble de nos activités sera détaillé dans un rapport et présenté lors d'une soutenance finale au mois de mai 2023. L'équipe FlighTeam est constituée de huit étudiants de divers Masters et Licence de l'IAE Paris-Est, l'école universitaire de management de l'Université Paris-Est Créteil (UPEC). Dans une première partie, nous présentons les éléments contextuels de notre projet. Puis, dans un deuxième et troisième temps, nous détaillons nos trois expérimentations et leurs résultats².

2 ÉLÉMENTS CONTEXTUELS

2.1 DEFINITION DU *CREW RESOURCE MANAGEMENT*

Le *Crew Resource Management* (CRM) provient du domaine des facteurs humains. En effet, il existe un lien étroit entre ces deux termes apparaissant de nos jours dans de nombreux domaines d'activité tels que l'aéronautique, l'industrie, la santé, les transports, la sécurité et la défense (Wiener, 1989). Selon l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), les facteurs humains « *encompasses knowledge from a range of scientific disciplines that support human performance (HP) through the design and evaluation of equipment, environments and work, in order to improve system performance* » (2021, p.13). L'importance des facteurs humains dans les environnements de travail à haut risque a été reconnue depuis les années 1940 lorsque l'armée américaine a commencé à étudier les erreurs humaines dans les opérations militaires. À partir de ce moment, les facteurs humains sont devenus une partie intégrante de la formation et de la conception dans de nombreux domaines. Le CRM peut se définir comme « *a management system, which makes optimum use of all available resources (equipment, procedures and*

¹ Site Internet du projet EdUTeam : <https://eduteam.fr/>.

² Le projet FlighTeam existe depuis deux années. Un autre groupe d'étudiants s'est chargé de tout le déploiement technique et des premiers essais pédagogiques durant l'année universitaire 2021-2022 (Altombokshi & Hu, 2022).

people) to promote safety and enhance the efficiency of flight operations » (European Aviation Safety Agency - EASA, 2017, p.3). Il touche donc à l'amélioration de nombreux facteurs comme la communication, la prise de décision, la résolution de problèmes et la gestion des ressources. Cette approche vise à perfectionner les performances de l'équipage en se concentrant sur la coordination de ses membres plutôt que sur les compétences individuelles de chacun (LeSage et al., 2009). Le CRM a été développé dans les années 1970 par la NASA et l'United States Air Force, principalement à cause des nombreux accidents d'avions causés par des erreurs humaines (Marcellin, 2014). À l'époque, la plupart des accidents étaient affectés à des erreurs de pilotage. Des études ont depuis montré que ces erreurs étaient souvent le résultat de problèmes de communication et de coordination entre les membres de l'équipage. Depuis, cette approche a été adoptée dans d'autres industries, notamment dans le secteur médical, les opérations de maintenance et les opérations de sauvetage. Depuis les années 1970, le CRM a évolué pour inclure des techniques de formation plus avancées et des pratiques qui soulignent l'importance de la culture de sécurité, de la prise de décision et de la gestion des erreurs (Martinussen & Hunter, 2017). Le CRM est maintenant une partie intégrante de la formation des pilotes et des équipages dans toutes les compagnies aériennes ainsi que dans d'autres industries à haut risque. La mise en pratique du CRM est, d'après l'ouvrage *Crew Resource Management - Third edition* de Kanki (2019), un processus complexe qui nécessite une formation et une application régulière pour être efficace. En effet, les compagnies aériennes fournissent une formation continue à leur personnel navigant en utilisant des simulateurs de vol pour simuler des situations d'urgence et en effectuant des débriefings après chaque vol pour identifier les points à améliorer. La mise en pratique du CRM permet également la création d'une culture de la sécurité comprenant la formation régulière du personnel, l'utilisation de procédures normalisées, la promotion d'une communication ouverte et la mise en place de systèmes de signalement des incidents et des erreurs. Désormais, le CRM ne cesse d'évoluer au fil du temps pour s'adapter à de nombreux changements dans l'unique but de renforcer la sécurité aéronautique.

2.2 LA PEDAGOGIE PAR LA SIMULATION

La simulation est un outil de plus en plus important en matière de pédagogie. En effet, on utilise la simulation afin de reproduire un environnement et/ou une situation réelle pour permettre aux apprenants d'assimiler des concepts et des compétences de manière interactive sans les risques réels. La simulation aide les apprenants à améliorer leurs performances en bénéficiant de commentaires immédiats de la part du formateur et cela optimise également la prise de décision.

Ainsi, nous pouvons bénéficier de la pédagogie par la simulation pour examiner la capacité des apprenants à appliquer des compétences apprises à travers une activité de simulation à un environnement d'application réel (Kappers & Cutler, 2016). Selon le Department of Defense (DOD) américain (2018, p.10), la simulation est une « *method for implementing a model over time* ». En ce qui concerne notre thématique, nous utilisons un type de simulation : la simulation virtuelle. Cette dernière est définie comme une simulation interactive, temps réel, de niveau système (plate-forme opérée par des humains), « *utilisant des interfaces homme-machine qui reproduisent plus ou moins fidèlement les matériels réels* » (Cantot, 2009, p.63). La simulation virtuelle a été développée et adaptée aux évolutions jusqu'à devenir une partie intégrante du processus de formation des pilotes, de l'entraînement des équipages de cabines mais également pour valider de nouveaux systèmes et procédures (Lee, 2005). L'EASA, la Federal Aviation Administration (FAA) et l'OACI publient régulièrement des textes et normes pour la formation des équipages de cabine sur simulateur. Cependant, déployer un simulateur requiert de suivre des étapes préalablement définies et précises couvrant la phase de la conception jusqu'à l'analyse des résultats. En effet, il est important de définir les objectifs de la simulation et de choisir les modèles appropriés pour représenter les systèmes ou les phénomènes à simuler. Après la formation, il est indispensable d'analyser et de comparer les résultats de la simulation afin de régler certains paramètres et de garantir la crédibilité du processus (Law, 2015).

2.3 LES SIMULATEURS DE VOL DU GAMIXLAB

Le GamiXlab est le FabLab de l'IAE Paris-Est³. Il compte trois simulateurs de vol sur lesquels sont installées les dernières versions de Microsoft Flight Simulator 2020⁴ (Figure 1). Chacun des postes est muni d'un joystick ou d'un volant, de palonniers, d'une manette des gaz ainsi que de nombreux autres dispositifs. Microsoft Flight Simulator permet aux joueurs de piloter une variété d'avions dans des environnements réalistes, recréant des paysages du monde entier à partir de données satellite. Le jeu propose différents modes de jeu, tels que des vols libres, des défis d'atterrissage et des missions guidées. Les quatre membres de notre équipe de Licence assurent la partie technique des simulateurs et sont présents lors des expérimentations en assistance. Les étudiants en Master 1 se consacrent aux objectifs d'ingénierie pédagogique du projet.

³ Actualités du GamiXlab : <https://www.facebook.com/gamixlab>.

⁴ Site Internet de Microsoft Flight Simulator : <https://www.flightsimulator.com/>.



Figure 1. Les 3 simulateurs de vol du GamiXlab

3 EXPERIMENTATIONS

Nos expérimentations ambitionnent d'étudier la faisabilité de la mise en place de cours de management grâce à l'usage de simulateurs de vol. Les publics visés sont des étudiants de Masters. Cette approche est aussi intéressante que surprenante. En effet, l'immersion dans le monde de l'aéronautique vient avec son lot d'émotions et d'expériences. Cela déclenche un effet psychologique particulièrement intéressant à déchiffrer. Selon une définition de Linternaute en 2021, un effet psychologique est la « caractéristique de ce qui concerne ou de ce qui est en rapport avec la psychologie, c'est-à-dire l'analyse scientifique de phénomènes psychiques qui ont trait à la pensée ». En aéronautique, un effet mental peut se référer à un certain nombre de phénomènes qui ont un impact sur les performances ou le comportement d'un membre de l'équipage de l'avion. L'aéronautique est un milieu professionnel où la gestion de stress est primordiale, tout comme la qualité de l'information et de la communication. Le modèle mental de l'équipe est également important car un élément clé sera décisif : la confiance mutuelle. Dans ce sens, nous suggérons que la simulation de vol peut apporter un apprentissage efficace à de futurs managers en formation. Nous aspirons ainsi à apprécier les comportements et les attitudes des étudiants afin d'améliorer les prochaines sessions de simulation de vol. Plusieurs compétences managériales pourraient être étudiées. Nous pouvons citer la gestion du stress, le leadership, la collaboration et le travail en équipe, la gestion du temps et des priorités, la prise de décision ou encore l'adaptabilité. Cette année, nous avons décidé de diriger nos expériences vers le *Safety Management* ou gestion de la sécurité qui « vise à atténuer de manière proactive les risques de sécurité avant que ceux-ci n'entraînent des accidents et des incidents d'aviation » (OACI, 2018, p.11). En effet, nous estimons que la gestion de la sécurité

est une thématique à laquelle les collaborateurs d'une entreprise sont peu formés bien qu'elle soit primordiale. La gestion de la sécurité vise à protéger la vie, la santé et le bien-être des personnes. Elle met en place des protocoles, des procédures et des mesures de prévention pour éviter les accidents, les incidents et les blessures sur le lieu de travail, dans les installations, les transports ou tout autre environnement. De plus, la gestion de la sécurité permet de protéger les biens physiques tels que les équipements ou les infrastructures, mais elle protège également les informations, qu'elles soient confidentielles ou stratégiques. Pour ce projet de recherche, nous avons choisi de détailler notre thématique en trois notions : le management de la menace, le management de l'erreur et la promotion à la sécurité. Afin que ces notions soient bien assimilées, nous avons créé des scénarios sur mesure comprenant des briefings et des debriefings (Figure 2). Trois scénarios ont été réalisés par journée et chaque scénario a été décomposé en deux parties : le pratique sur simulateur puis la théorie. Cela constitue une durée approximative d'une heure et demie par scénario.



Figure 2. Apports théoriques par les animateurs de la journée.

3.1 SCENARIO N°1

Pour le premier scénario, nous avons décidé de travailler sur le management de la menace, 1^e sous-concept (avec celui de l'erreur) du *Threat and Error Management* ou TEM : « TEM

provides a way for pilots to look for potential threats to flight operations in a structured way. They actively manage these threats and any errors that may lead to undesired aircraft states and therefore to the safety of the flight. TEM encompasses training, briefings, checklists, standard operating procedures, and human factors principles for single-pilot and multi-crew operations » (Civil Aviation Safety Authority, 2019, p.4). Toujours selon le Civil Aviation Safety Authority (2019, p.4), la menace se définit comme « *a threat as a situation or event that has the potential to have a negative effect on flight safety, or any influence that promotes an opportunity for pilot error/s* ». Certaines menaces peuvent être anticipées comme les conditions météorologiques par exemple. Alors que d'autres peuvent parvenir de façon imprévue. Il existe également les menaces latentes. Celles-ci sont impossibles à identifier ou à observer directement par l'équipage et cela peut être la fatigue ou au stress d'un membre de l'équipage, par exemple (Dahlström & Bergström, 2008). Au début de chaque session, les étudiants de l'équipe technique présentent les fonctions principales des simulateurs aux participants. Dans le premier scénario, nous programmons les simulateurs au préalable selon certains paramètres tels que les aéroports de départ et d'arrivée, les modèles d'avions et les conditions météorologiques. Ensuite, les binômes se répartissent les rôles entre le pilote et le co-pilote et procèdent à la vérification de la *checklist*. Pour ce premier scénario, nous avons décidé de simuler une situation de danger exacerbée par la dégradation des conditions météorologiques. Au premier abord, les équipes se montrent calmes et commencent à prendre en main le simulateur (Figure 3). Puis, à l'émergence des mauvaises conditions météorologiques, on observe un changement de comportement : la communication semble être obstruée. Les enjeux de ce scénario résident dans le fait que les binômes apprennent à s'écouter, à garder leur sang-froid et à trouver des solutions dans une situation de crise. Après une trentaine de minutes de simulation, nous réunissons les étudiants et procédons à un tour de table. Nous retenons de ce premier scénario que les étudiants se rendent bien compte du manque de communication. La plupart estime s'être perdue ; ce qui a mené au *crash* de leur aéronef. Nous sommes ensuite passés à la phase théorique pour présenter le TEM ; concept qui est d'ailleurs maintenant étudié dans d'autres secteurs d'activité tels que la santé, les services d'urgence ou encore la sécurité maritime (Wilson & Binnema, 2014).



Figure 3. Équipage lors du 1^{er} scénario.

3.2 SCENARIO N°2

Le deuxième scénario porte sur le management de l'erreur. Le management de l'erreur est une approche visant à comprendre et à gérer les erreurs qui se produisent dans une organisation. On cherche ainsi à minimiser leurs impacts et à améliorer la performance de l'organisation en prenant en compte les erreurs passées (MacLeod, 2021). Les erreurs sont des actions définies ou des inactions de l'équipage de conduite qui entraînent des écarts par rapport aux intentions, aux attentes de l'organisation ou de l'équipage de conduite. En amont du démarrage de la simulation, nous avons pris les co-pilotes en aparté. Nous avons demandé à chacun d'induire son pilote en erreur⁵. En établissant ce contexte, nous visons à évaluer les comportements et les réactions des pilotes face aux erreurs de leurs binômes (erreurs de procédure, de compétence ou de communication). Après la session de simulation, nous avons clôturé par un débriefing et une phase théorique. Les debriefings des étudiants ont relevé l'importance d'anticiper les erreurs mais aussi de les accepter avec une posture positive. Le but de ce scénario est également de leur rappeler que nous sommes constamment susceptibles de commettre des erreurs. L'intérêt est d'apprendre de celles-ci pour éviter qu'elles se réitèrent.

⁵ Afin d'avoir la réaction la plus naturelle possible par les pilotes, nous avons isolés les co-pilotes avant le début du second scénario pour leur demander d'induire en erreur leur partenaire (les distraire, ne pas prendre en compte leurs commandes ou en touchant le manche du simulateur...).

3.3 SCENARIO N°3

Le troisième scénario porte sur la promotion de la sécurité ou *safety promotion*. D'après l'OACI (2018, p.9-26), « *la promotion de la sécurité encourage une culture de la sécurité et contribue à réaliser les objectifs de sécurité du prestataire de services par le biais de compétences techniques sans cesse renforcées par la formation, la sensibilisation, une communication efficace et le partage d'informations. La haute direction joue un rôle de chef de file dans la promotion d'une culture de sécurité dans toute l'organisation* ». La promotion de la sécurité devient indispensable pour créer et maintenir une culture saine de sécurité (Kanki & Helmreich, 2010). Pour ce troisième scénario, nous avons décidé de mettre en compétition les binômes. L'objectif est d'inciter les participants à tenir compte des apports théoriques des deux premiers scénarios – le management de la menace et le management de l'erreur – de sorte qu'ils mettent en place des solutions afin d'anticiper d'éventuels risques. Pour cela, nous avons mis les trois simulateurs en réseau afin que l'environnement soit compétitif (Figure 4). Nous avons également déterminé des paramètres précis tels qu'un avion lourd, de la pluie et du vent. Cela a permis d'évaluer leur aptitude à anticiper les menaces et à communiquer de manière claire avec leurs binômes tout en étant dans un environnement stressant. Ce dernier scénario est le point culminant de ces expérimentations étant donné que l'on évalue la compréhension de ces futurs managers vis-à-vis de l'enjeu du danger. En effet, la sécurité est essentielle dans un avion comme dans une entreprise.



Figure 4. L'un des équipages lors du 3^e scénario.

4 RESULTATS

À la fin de chaque journée d'expérimentation, les participants ont répondu à un questionnaire à chaud et anonyme. Nous avons questionné les dix-sept étudiants selon une échelle de Likert à quatre niveaux : 1. Pas du tout ; 2. Plutôt non ; 3. Plutôt oui et 4. Tout à fait (Tableau 1). Nous avons ainsi mesuré les deux premiers niveaux du modèle d'évaluation des formations de Kirkpatrick et Kirkpatrick (2016) : réaction (satisfaction, implication et pertinence) et apprentissage (connaissances, compétences, valeur / utilité, confiance et motivation).

Item	Valeur (sur 4)
[Satisfaction] Je suis satisfait du cours (plaisir, ressources suffisantes, environnement, etc.).	3,9
[Implication] Ce cours m'a permis de m'impliquer et de m'engager dans l'apprentissage du <i>safety management</i> .	3,5
[Pertinence] Je trouve le cours pertinent pour apprendre le <i>safety management</i> .	3,6
[Connaissances] Je connais dorénavant les concepts et outils théoriques du <i>safety management</i> vus durant le cours.	3,7
[Compétences] Je suis capable de mettre en œuvre ce que j'ai appris dans d'autres contextes de <i>safety management</i> .	3,5
[Valeur / Utilité] Je pense que les concepts et outils vus en cours vont me permettre de mieux gérer le <i>safety management</i> (j'ai compris leur importance).	3,6
[Confiance] Je suis convaincu que je serai en mesure d'appliquer ce que j'ai appris dans mes autres situations de <i>safety management</i> .	3,7
[Motivation] Je m'engage à essayer d'appliquer ce que j'ai appris dans mes futures activités de <i>safety management</i> .	3,3

Tableau 1. Réponses aux questionnaires anonymes.

Par ailleurs, nous avons adopté une approche qualitative en interrogeant les participants sur le format du cours ainsi que sur les qualificatifs qu'ils jugent pertinents pour le décrire. Nous avons recueilli les mots choisis par les répondants (Tableau 2). Tous ont indiqué préférer cette méthode pédagogique plutôt qu'un cours plus classique de type transmissif.

N° de répondant	Qualificatifs		
1	Créatif	Amusant	Riche
2	Dynamique	Original	Simple
3	Enrichissant	Amusant	Intéressant
4	Interactif	Participatif	Collaboratif
5	Ludique	Interactif	Inclusif
6	Captivant	Intéressant	Nouveau
7	Ludique	Pertinent	Accessible

8	Différent	Pertinent	Ludique
9	Amusant	Intéressant	Ludique
10	Innovant	Intéressant	Bien fait
11	Super	Divertissant	Intelligent
12	Intéressant	Découverte	Bienveillant
13	Fun	Libre	Instructif
14	Intéressant	Original	Amusant
15	Intéressant	Ludique	Instructif
16	Ludique	Décalé	Collectif
17	Intuitif	Découverte	Surprise

Tableau 2. Qualificatifs donnés par les participants concernant le cours.

5 ANALYSE ET DISCUSSION

Les résultats de notre étude recensent les observations du comportement des équipes pendant différentes situations complexes. D’abord, le management de la menace matérialisé dans le premier scénario montre que l’incorporation de circonstances difficiles, plus précisément les conditions météorologiques non-favorables, perturbent la collaboration. La communication s’est avérée être un élément clé même auprès d’une équipe de deux personnes uniquement. Ensuite, en testant l’impact du management de l’erreur à travers le deuxième scénario, nous avons trouvé que la posture du pilote face aux erreurs du co-pilote est décisive. D’une part, elle contribue au bon déroulement du reste de l’exercice. D’autre part, elle prévient la répétition de ces erreurs. Dans un cadre managérial, ce binôme représente le manager et le collaborateur. Les expérimentations ont démontré que l’acceptation et la posture positive des erreurs à un effet favorable. Dans le troisième scénario, nous avons testé l’impact de la promotion de la sécurité. Nous précisons que le positionnement de ce scénario permet aux étudiants de mettre en place ce qu’ils ont appris durant les deux premiers scénarios ainsi que les sessions théoriques associées. Il est également caractérisé par un aspect compétitif qui nous rapproche des conditions réelles des entreprises. Il a ainsi une dimension de synthèse.

6 CONCLUSION

Nous avons démarré ce projet de recherche avec l’hypothèse que la simulation de vol a le potentiel d’être un outil pédagogique efficace auprès des étudiants. Cette idée a été nourrie par les points de similitudes partagés entre une situation de vol et une situation managériale. En effet, les conditions de réussite pour la gestion d’un vol appellent à des compétences interpersonnelles requises dans un rôle managérial. Les expérimentations ont eu lieu entre décembre 2022 et février 2023. Leurs résultats apportent une compréhension des

comportements des étudiants face à l'erreur et à la menace grâce aux observations, d'une part. D'autre part, ils amènent un retour d'expérience par les participants. Cette méthode ludopédagogique a été appréciée par les étudiants l'ayant décrit par des qualificatifs positifs. Il y a également une préférence exprimée par rapport à un cours traditionnel ou classique. Ainsi, nous pourrions mettre en place dès la prochaine rentrée universitaire un cours expérimental appuyé par nos travaux de recherche. En conclusion, nous aspirons à ce que résultats présentés dans cet article servent comme point de départ aussi bien pour l'implémentation d'un cours semblable que pour d'autres travaux de recherche sur la ludopédagogie. Toutefois, nous sommes conscients de certaines limites que nous souhaitons exposer. D'abord, le nombre de participants est limité. Nous estimons important d'agrandir l'échantillon pour les prochaines expérimentations. Cette contrainte devra être prise en compte dans l'agencement pédagogique finale par la prochaine équipe du projet FlightTeam⁵. De plus, il est essentiel de relever la connivence entre les participants à nos expérimentations issus d'un même parcours académique. Nous suggérons ainsi d'élargir le champ de recherche avec des participants qui ne se connaissent pas étant donné l'éventuel apport scientifique d'étudier une équipe au modèle mental différent. Enfin, nous pensons que l'approche théorique du TEM peut encore être développée par la prise en compte de modèles de systèmes de gestion de la sécurité comme ceux présentés par Yeun et al. (2014).

7 REFERENCES

- Altombokshi, R., Hu, I. (2022), *Voler, c'est aussi manager, 6^e Colloque International Game Evolution*, en ligne.
- Cantot, P. (2009). « La simulation : historique, concepts et exemples » dans P. Cantot & D. Luzeaux, *Simulation et modélisation des systèmes de systèmes, vers la maîtrise de la complexité*, 21-76.
- Civil Aviation Safety Authority (2019). *Safety behaviours: human factors for pilots 2nd edition*.
- Dahlström, N., Bergström, J. (2008). *Crew Resource Management, Threat and Error Management, and Assessment of CRM Skills: Current situation and development of knowledge, methods, and practices*. Report for the Swedish Civil Aviation Authority.
- European Aviation Safety Agency (2017). *Crew Resource Management in practice*.
- Kanki, B. G., Anca, J., & Chidester, T. R. (2019). *Crew Resource Management (3^e édition.)*. Academic Press.

⁵ Un 4^o simulateur de vol sera opérationnel à la rentrée universitaire 2023-2024.

- Kanki, B. G., Helmreich, R., & Anca, J. (2010). *Crew Resource Management (2e édition)*. Academic Press.
- Kappers, W. M., & Cutler, S. (2016). Simulation to application: the use of computer simulations to improve real-world application of learning. *The ASEE Computers in Education (CoED) Journal*, 7(1), 64-74.
- Kirkpatrick, J. D., & Kirkpatrick, W. K. (2016). *Kirkpatrick's four levels of training evaluation*. Association for Talent Development.
- Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis*. Mc Graw Hill Education.
- Lee, A. (2005). *Flight Simulation: Virtual Environments in Aviation*. Routledge.
- LeSage, P., Dyar, J. T., & Evans, B. (2009). *Crew Resource Management: Principles and Practice*. Jones & Bartlett Learning.
- MacLeod, N. (2021). *Crew Resource Management Training: A Competence-based Approach for Airline Pilots*. Amsterdam University Press.
- Marcellin, J. D. (2014). *The Pilot Factor: A Fresh Look Into Crew Resource Management*. Plane & Simple.
- Martinussen, M., & Hunter, D. R. (2017). *Aviation Psychology and Human Factors (2e éd.)*. CRC Press.
- Organisation Internationale de l'Aviation Civile (2018). *Manuel de Gestion de la Sécurité*, document 9859.
- Weber, L. (2021b). *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. Kluwer Law International B.V.
- Wiener, E. L., Nagel, D. C., Friedman, M. P., & Carterette, E. C. (1989). *Human Factors in Aviation (Cognition and Perception)*. Academic Press.
- Wilson, D., Binnema, G., & Nance, J. J. (2014). *Managing Risk: Best Practices for Pilots*. Aviation Supplies & Academics, Inc.
- Yeun, R., Bates, P., & Murray, P. (2014). Aviation safety management systems. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 5(2), 168-196.

8 REMERCIEMENTS

L'équipe FlighTeam tient particulièrement à remercier notre tuteur, M. Lépinard, qui nous accompagne, nous guide et nous conseille depuis le début du projet. De plus, nous souhaitons remercier l'IAE Paris-Est, et surtout le GamiXlab, pour nous avoir prêté le matériel nécessaire à notre recherche. Merci également à tous les étudiants qui se sont portés volontaires pour

participer à nos expérimentations et à Yasmine Allouche, étudiante du M2 Management de la SSI, qui nous a aidé dans la rédaction de l'article dans le cadre de son projet tuteuré. Enfin, même si nous sommes deux auteurs pour cet article, rien n'aurait pu être possible sans l'investissement des autres membres de l'équipe FlighTeam : Mohamed Camara, Yovana Darcy, Louise Grodhomme, Anaëlle Quellec, Lucas Spilotros et Matteo Versyck.