

Institut Image – lispen

Sujet de thèse

Réalité virtuelle et augmentée pour l'aide à la rénovation de cabines d'avion

1 - Contexte

Ce sujet de thèse de doctorat se situe dans le domaine de la réalité virtuelle et augmentée pour l'assistance à la maintenance des cabines chez Safran Seats (Cabin Refresh) avec des enjeux de développement de nouveaux services de la personnalisation de la maintenance.

Le projet a pour cadre une collaboration entre les Arts et Métiers et le groupe SAFRAN. Le groupe SAFRAN est engagé dans une stratégie de développement d'outils numériques dans le but d'apporter de nouveaux services aux compagnies aériennes et aux acteurs de la MRO « Maintenance, repair and overhaul ».

Ce projet s'inscrit dans cette démarche. L'objectif principal est de proposer une aide aux opérations de « Cabin Refresh » par l'utilisation de technologies de réalité virtuelle et augmentée utilisant une maquette numérique interactive, via une interface intuitive.

Au final, l'étude devra estimer la valeur que peut apporter un système de réalité virtuelle et augmentée dans l'usage des besoins du « Cabin Refresh » pour tous les acteurs de la maintenance aéronautique (fabricant d'équipement d'origine OEM, MRO et exploitants).

2 - Problématique

Le suivi individualisé de la maintenance cabine des avions implique des procédures de maintenance complexe et spécifique à chaque cabine/siège décrite par des documents de type PDF ou S1000D qui manquent d'interactivité avec les opérateurs. Il est également constaté que :

- Les maquettes numériques créées par les OEM ne sont pas directement exploitées.
- Le format actuel des notices de maintenance est peu adapté aux activités de Cabin refresh pour :
 - identifier les PNs des pièces customisées,
 - la formation du personnel de maintenance pour détecter les défauts/usures des pièces des sièges/cabine,
 - les nombreuses configurations des sièges d'une même cabine multiplient les risques/besoins d'avoir les bons documents de maintenance.
- L'arrivée sur le marché de jeunes techniciens non formés fait que les techniciens expérimentés sont de moins en moins nombreux, la documentation disponible peut être difficile à comprendre.
- La disponibilité de la cabine pour l'inspection est couteuse pour l'exploitant (avion immobilisé), donc réduire le temps d'immobilisation est stratégique
- La solution proposée (remettre à neuf la cabine/sièges) n'est pas visible lors de l'inspection et de l'engagement de l'exploitant, donc risques de confusion sur le niveau de mise à jour attendue.

3 - Etat de l'art

L'état de l'art est relativement bien documenté pour ce qui concerne les usages (très nombreux et variés) de la réalité virtuelle et la réalité augmentée pour la perception de produits [Azu97].

Le domaine de la vente s'intéresse depuis de nombreuses années à l'apport de la réalité virtuelle pour la perception des usagers [Her16]. Ainsi, Schnack et al. montrent que la réalité virtuelle permet d'améliorer grandement l'expérience des acheteurs comparé à un poste de travail [Sch19]. Pizzi et al. ont comparé les comportements des acheteurs entre un magasin réel et son équivalent virtuel [Piz19]. Les résultats font état de comportements similaires.

Dans le domaine du tourisme, Xiaoyan et al. ont comparé les expériences de voyage et de visite de musées dans des configurations réelles et virtuelle [Xia18]. En fonction de l'implication dans l'expérience, la réalité virtuelle apporte une réelle plus value dans la découverte médiatisée par l'environnement virtuel. Teisl et al. ont étudié l'apport de la réalité virtuelle pour l'évaluation d'implantation d'éoliennes sur un site touristique [Tei18]. Les sujets réalisaient une tâche d'évaluation de meilleure manière en réalité virtuelle que sur la base de photos ou plans.

Dans le domaine agricole, des études ont montré que la réalité virtuelle pouvait aider dans le choix des opérations agricoles de semage, arrosage et récolte. Pour cela, les indicateurs les plus pertinents en terme de paramètres visuels ont été évalués pour permettre une simulation visuelle adéquate [Meu19].

Dans le domaine industriel, la réalité virtuelle est utilisée depuis de nombreuses années pour la revue de projet. Wolfartsberger montre que l'utilisation de la réalité virtuelle lors de la conception de produits par conception assistée par ordinateur réduit fortement les erreurs de conception [Wol19].

De nombreux travaux ont été réalisés dans les domaines croisés de la psychologie cognitive et des sciences de l'ingénieur afin de comprendre comment s'opère l'immersion virtuelle (du point de vue du sujet) et quels sont les facteurs qui permettent de l'optimiser [Lom97] [Fla18] [Mil94] [Bio97] [Bow99] [San05] [Ste92].

Pour ce qui concerne le réalisme visuel, de nombreuses études ont été réalisées dans le domaine de l'informatique graphique en particulier pour le domaine de la production de films et de jeux vidéo, l'architecture, le patrimoine historique. Quelques travaux ont confronté des restitutions synthétiques avec les cas réels [Fou93] de manière assez générale. Dans le domaine de la réalité augmentée pour le patrimoine, quelques travaux ont donné lieu à des études [Dur14], [Vla02]. Plus récemment, Perroud et al. ont proposé un score de réalisme adapté au contexte d'utilisation et aux technologies mises en œuvre [Per17], [Per19]. Les travaux sur la qualité perçue sont relativement récents car les technologies ne sont pas encore tout à fait à maturité [Per17] [Per19] [Bra17] [Kwon13].

Pour ce qui concerne la réalité augmentée, les technologies de la réalité augmentée sont utilisées principalement pour la formation et la maintenance pour ce qui concerne le milieu industriel [Azu97] [Kre10]. Des projets récents ont montré l'intérêt de l'utilisation de la RA dans l'industrie tout au long du cycle de vie du produit [Eli16] [Ong08] lors des processus de conception [Nee12], de production [Rod15] et de maintenance [Por13]. Plus particulièrement, lors des processus de maintenance, la réalité augmentée peut être un outil d'assistance pour les techniciens au cours des opérations de maintenance et de formation [Gar13] [Men15] [Qui15].

4 - Verrous scientifiques et technologiques

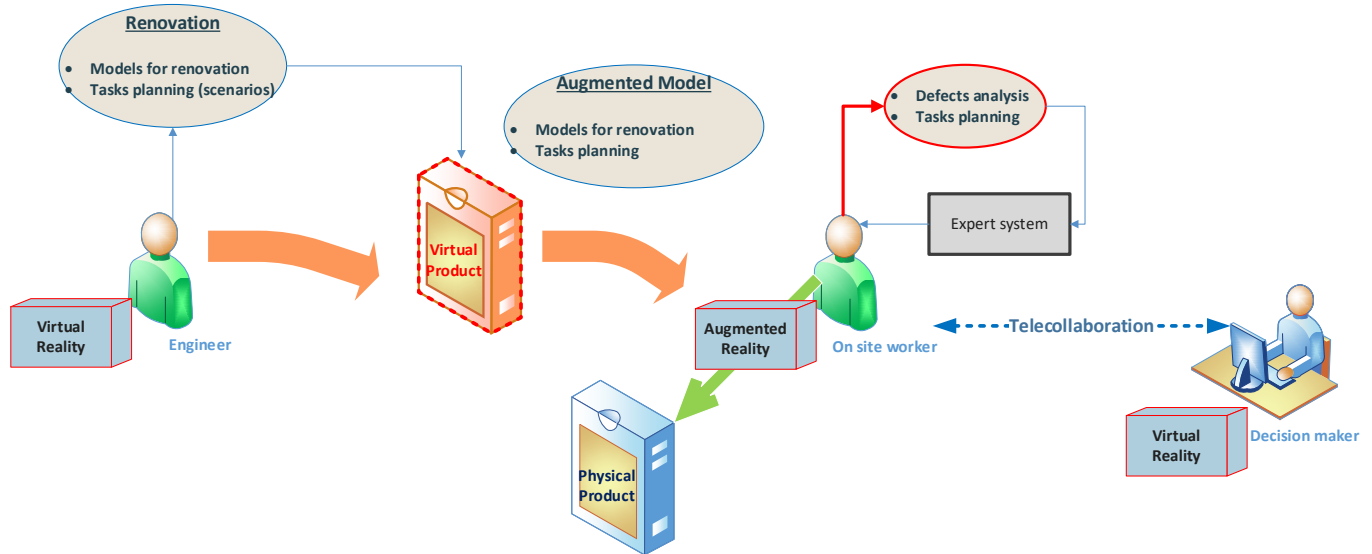
Compte tenu du contexte industriel de l'étude, il est envisagé plusieurs scénarios d'usage faisant intervenir les éléments suivants :

- Un catalogue des composants de la cabine (par exemple siège, accoudoirs, vide poche, moquette...) est disponible dans un système d'informations qui peut renseigner voire nourrir une maquette numérique d'une cabine proposée pour la rénovation. Les informations de coûts associées à la rénovation pourront être indiquées en temps réel en fonction des options choisies.
- Des scénarios préparatoires à la revue de projet de rénovation devront pouvoir être joués en réalité virtuelle (afin de limiter le temps d'immobilisation de l'avion).
- Les opérations de mise en rénovation de la cabine virtuelle devront pouvoir se faire de manière interactive dans la cabine physique à rénover. Une interface intuitive de réalité augmentée sera mise en œuvre dans ce cadre (de type tablette ou autre) permettant (à définir en fonction du besoin et/ou de la difficulté technique) de superposer la vue réelle avec la vue augmentée (rénovée), d'être localisée correctement

(adéquation entre la localisation dans la cabine réelle et la localisation dans la maquette numérique en rénovation), et de prendre des images de l'état de la cabine à rénover pour une analyse (manuelle ou supervisée) du niveau d'usure.

- Une télécollaboration distante entre le groupe de personnes réalisant l'inspection sur le site de la cabine et utilisant la réalité augmentée pour pré-visualiser l'état potentiel de la cabine rénovée avec une personne à distance souhaitant apporter son expertise ou sa décision. Cette personne délocalisée pourrait utiliser une interface de réalité virtuelle et aurait soit une vision en réalité virtuelle de la cabine rénovée virtuellement, soit une vision en réalité augmentée avec la superposition de l'état actuel de la cabine et l'état rénové. Des modalités d'échanges entre les deux sites devront être proposées.

La figure suivante propose un schéma regroupant les éléments listés dans un fonctionnement d'ensemble.



Pour parvenir à cela, il existe des verrous d'ordre scientifiques et technologique.

Le verrou scientifique sur lequel il est proposé de focaliser les efforts de recherche est le suivant :

Verrou Scientifique – Qualité perçue en réalité virtuelle et en réalité augmentée :

Une question importante qui existe dans le contexte de ce sujet est celle relative à la perception de l'état rénové virtuel. Quels sont les indicateurs et les paramètres qui permettent de garantir que la perception de la maquette virtuelle en rénovation soit équivalente à celle de la cabine réelle dans son état rénové ? Actuellement, la solution proposée au niveau de Safran-Zodiac n'est pas visible lors de l'inspection et de l'engagement de l'exploitant. Il subsiste donc des risques d'écarts importants sur la qualité attendue de la remise à niveau de la cabine (avec les conflits potentiels que cela peut engendrer entre le fournisseur et son client).

Il sera nécessaire de s'attacher aux critères les plus importants qui guident l'expertise de l'analyse de l'état d'usure et les propositions de rénovation (travail à réaliser en interaction étroite avec les métiers) afin d'en dégager les paramètres visuels qui seront pris en compte pour les simulations visuelles. Il est important de bien distinguer la qualité perçue du réalisme. En effet, on peut être amené à faire l'erreur de vouloir confondre les deux. Le réalisme n'est pas une condition ni nécessaire ni suffisante pour assurer que la qualité perçue sera fidèlement (au sens du besoin de l'application) restituée. Les critères de perception visuelle humaine les plus pertinents pour ce contexte seront bien entendu pris en compte. L'ensemble des critères (métiers et de perception) devront permettre de guider les propositions de systèmes de rendu (technologies d'affichage) et de techniques de rendu réaliste (informatique graphique sous la contrainte du temps interactif). Des expérimentations seront réalisées afin d'éprouver les solutions proposées au regard des comparaisons entre réel et virtuel en ce qui concerne la qualité perçue et l'expérience de l'utilisateur.

Les verrous technologiques suivants sont identifiés :

Verrou Techno 1 - Jeux de scénarios pour la réduction du temps d'immobilisation de la cabine/avion :

Les études antérieures ne proposent pas de méthode pour la construction de scénarios dédiés au « cabin refresh ». Le manque d'expérience dans ce domaine ne permet pas de connaître a priori quelles sont les tâches qui devront être guidées par un système de RA et celles qui ne le seront pas. Le coût d'immobilisation d'un avion étant un « key driver » dans la stratégie de l'exploitation d'un avion, il sera nécessaire de réaliser un ensemble d'expérimentations pour identifier les tâches (manipulation, visualisation des défauts/évolutions/propositions, navigation dans la cabine...) et enchaînement de celles-ci pour lesquelles l'utilisation de la réalité augmentée apporte une réelle plus-value directement liée à la réduction de l'immobilisation de l'avion.

La construction de scénarios pourrait s'appuyer sur la connaissance des opérateurs experts et faciliter ainsi la capitalisation et la transmission des connaissances au sein des organisations de clients.

Un dispositif de réalité virtuelle immersive pourra être mis en place. Ce dispositif devra être en capacité de simuler le cas d'usage d'une revue de cabine intégrant l'utilisation de la réalité augmentée. On fera ainsi une préparation en virtuel de la revue de projet de rénovation dans la cabine réelle.

Verrou Techno 2 - Diagnostics, contrôles et proposition :

Lors de l'étape de diagnostic, il est parfois difficile de capitaliser l'expérience acquise (sur les niveaux d'usure par exemple). Les OEM disposent d'une banque d'images relatives au processus de diagnostic ; or celle-ci n'est pas exploitée pour l'instant. Le verrou est relatif à l'analyse de l'état de la cabine. Il pourrait être proposé de permettre des annotations sur la maquette numérique lors du diagnostic associant des captures de photographies et de mettre en œuvre un système expert (via des techniques de traitement de grandes bases de données utilisant l'intelligence artificielle) s'appuyant sur une base de données des cas précédemment traités pour apporter une aide lors du diagnostic et du contrôle. En fonction des boîtes à outils disponibles, ces travaux pourront être relativement poussés.

Verrou Techno 3 - Télécollaboration :

Une collaboration distante entre le système de réalité augmentée (sur le site de la cabine à rénover) et le système de réalité virtuelle (distant) nécessite des techniques d'interaction adaptées pour garantir une bonne collaboration. Des études seront faites sur l'interaction entre le système et la maquette numérique et sur l'interaction entre les deux personnes distantes (point de vue partagé, compréhension des zones d'intérêt de l'autre, prise de parole, prise de contrôle sur la maquette, prise de contrôle sur la navigation...).

5 - Démarche proposée

La démarche proposée suivra les étapes suivantes :

- Etat de l'art :
 - o Méthodes et techniques pour le développement de système de réalité virtuelle et augmentée pour le contrôle
 - o Qualité perçue en réalité virtuelle et réalité augmentée
 - o Télécollaboration entre systèmes de réalité augmentée et réalité virtuelle
- Identification des questions de recherche
- Identification des critères visuels en fonction du contexte (métier et de perception visuelle)
- Proposition de solutions technologiques et scientifiques
- Développement de démonstrateurs technologiques
- Expérimentations (sur des scénarios de revue de projet cabine)
- Analyse de résultats
- Publications scientifiques

6 - Résultats attendus

- Démonstrateurs technologiques
- Publication dans des conférences internationales et dans des journaux à comité de lecture
- Communication en séminaires internes, réunions avec les acteurs de l'ingénierie.

7 - Contacts

Arts et Métiers - Ispen (Chalon sur Saône) :

- Florence Danglade (florence.danglade@ensam.eu)
- Jean-Philippe Farrugia (jean-philippe.farrugia@univ-lyon1.fr)
- Frédéric Merienne (frederic.merienne@ensam.eu)

Safran – Seats :

- Sébastien Sancho (Sebastien.Sancho@safrangroup.com)

8 - Bibliographie

- [Azu97] Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- [Bio97] Biocca, F. (1997). The cyborg's dilemma: Progressive embodiment in virtual environments. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2).
- [Bow99] Bowman, D. A., & Hodges, L. F. (1999). Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10(1), 37–53.
- [Bra17] Jennifer Brade, Mario Lorenz, Marc Busch, Niels Hammer, Manfred Tscheligi, Philipp Klimant, Being there again – Presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task, *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 101, 2017, Pages 76-87, ISSN 1071-5819.
- [Dur14] Durand, E., Merienne, F., Père, C., Callet, P. 2014. “Ray-on: An On-Site Photometric Augmented Reality Device.” *Journal of Computing and Cultural Heritage* 7.2: 1–13.
- [Eli16] V. Elia, M. G. Gnoni, and A. Lanzilotto, “Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An {AHP} based model,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 63, pp. 187 – 197, 2016.
- [Fla18] Carlos Flavián, Sergio Ibáñez-Sánchez, Carlos Orús, The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience, *Journal of Business Research*, 2018, ISSN 0148-2963.
- [Fou93] Fournier, A., Gunawan, A. S., Romanzin, C. 1993. “Common Illumination between Real and Computer Generated Scenes.” *Proc. Graphics Interface '93*, Toronto, 254–62. Canadian Information Processing Society.
- [Gar13] L. E. Garza et al., “Augmented Reality Application for the Maintenance of a Flapper Valve of a Fuller-kynion Type M Pump,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 154 – 160, 2013.
- [Her16] Erica van Herpen, Eva van den Broek, Hans C.M. van Trijp, Tian Yu, Can a virtual supermarket bring realism into the lab? Comparing shopping behavior using virtual and pictorial store representations to behavior in a physical store, *Appetite*, Volume 107, 2016, Pages 196-207, ISSN 0195-6663.
- [Kre10] van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1–20.
- [Kwon13] Jung Huem Kwon, John Powell, Alan Chalmers, How level of realism influences anxiety in virtual reality environments for a job interview, *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 71, Issue 10, 2013, Pages 978-987, ISSN 1071-5819.
- [Lom97] Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2).
- [Men15] M. Mendoza, M. Mendoza, E. Mendoza, and E. González, “Augmented Reality as a Tool of Training for Data Collection on Torque Auditing,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 75, pp. 5 – 11, 2015.

- [Meu19] Chase Meusel, Chase Grimm, Jordan Starkey, Stephen B. Gilbert, Brian Gilmore, Greg Luecke, Don Kieu, Timothy Hunt, The importance of operator knowledge in evaluating virtual reality cue fidelity, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 160, 2019, Pages 179-187, ISSN 0168-1699.
- [Mil94] Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.
- [Nee12] A. Y. C. Nee, S. K. Ong, G. Chryssolouris, and D. Mourtzis, "Augmented reality applications in design and manufacturing," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 657 – 679, 2012.
- [Ong08] S. K. Ong, M. L. Yuan, and A. Y. C. Nee, "Augmented reality applications in manufacturing: a survey," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 46, no. 10, pp. 2707–2742, 2008.
- [Per17] B. Perroud, S. Régnier, A. Kemeny, and F. Merienne, "Model of realism score for immersive VR systems," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2017. ISSN 1369-8478.
- [Per19] B. Perroud, S. Regnier, A. Kemeny and F. Merienne, "Application of the Relative Visual Performance Model in a Virtual Reality Immersive System," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2019. doi: 10.1109/TVCG.2019.2909881
- [Piz19] Gabriele Pizzi, Daniele Scarpi, Marco Pichierri, Virginia Vannucci, Virtual reality, real reactions?: Comparing consumers' perceptions and shopping orientation across physical and virtual-reality retail stores, *Computers in Human Behavior*, Volume 96, 2019, Pages 1-12, ISSN 0747-5632.
- [Por13] I. Porcelli, M. Rapaccini, D. B. Espíndola, and C. E. Pereira, "Technical and Organizational Issues about the Introduction of Augmented Reality in Maintenance and Technical Assistance Services," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 46, no. 7, pp. 257 – 262, 2013.
- [Qui15] F. Quint, K. Sebastian, and D. Gorecky, "A Mixed-reality Learning Environment," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 75, pp. 43 – 48, 2015.
- [Rod15] L. Rodriguez, F. Quint, D. Gorecky, D. Romero, and H. R. Siller, "Developing a Mixed Reality Assistance System Based on Projection Mapping Technology for Manual Operations at Assembly Workstations," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 75, pp. 327 – 333, 2015.
- [San05] Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 332–339.
- [Sch19] Alexander Schnack, Malcolm J. Wright, Judith L. Holdershaw, Immersive virtual reality technology in a three-dimensional virtual simulated store: Investigating telepresence and usability, *Food Research International*, Volume 117, 2019, Pages 40-49, ISSN 0963-9969.
- [Ste92] Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93.
- [Tei18] Mario F. Teisl, Caroline L. Noblet, Richard R. Corey, Nicholas A. Giudice, Seeing clearly in a virtual reality: Tourist reactions to an offshore wind project, *Energy Policy*, Volume 122, 2018, Pages 601-611, ISSN 0301-4215.
- [Vla02] Vlahakis, V., Ioannidis, N., Karigiannis, J., Tzotros, M., Gounaris, M., Stricker, D., Gleue, T., Daehne, P., Almeida, L. 2002. "Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites." *IEEE Computer Graphics and Applications* 22.5: 52–60.
- [Wol19] Josef Wolfartsberger, Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review, *Automation in Construction*, Volume 104, 2019, Pages 27-37, ISSN 0926-5805.
- [Xia18] Xiaoyan Deng, H. Rao Unnava, Hyojin Lee, "Too true to be good?" when virtual reality decreases interest in actual reality, *Journal of Business Research*, 2018, ISSN 0148-2963.