

Sujet de thèse

Réalité augmentée pour l'assistance à la maintenance sur des pièces de structure : Manuel intelligent de maintenance en RA

1 - Contexte

Ce sujet de thèse de doctorat se situe dans le domaine de la réalité augmentée pour l'assistance à la maintenance sur des pièces de structure.

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 maintenance par l'utilisation de technologies de réalité augmentée.

2 - Problématique

Les pièces de structures sur les trains d'atterrissage d'avion nécessitent des opérations de maintenance régulières. Lors de ces opérations, les opérateurs sont amenés à inspecter les pièces (vérification de corrosion par exemple), prendre une décision sur les mesures à prendre en suivant un manuel de maintenance (CMM pour « components maintenance manual ») et faire la réparation (il peut s'agir d'un enlèvement de matière léger de l'ordre de quelques dizaines de micron).

Ces opérations nécessitent une expertise qu'il n'est pas facile de retranscrire (en plus du CMM) car faisant appel à l'expérience acquise. De plus, les différentes opérations sont souvent réalisées par une équipe d'opérateurs qui doivent échanger au cours de la chaîne d'opérations.

Par ailleurs, la pièce à réparer a déjà subi de nombreuses heures d'utilisation et revient souvent avec des dimensions qui peuvent être différentes de celles théoriques.

In fine, les recueils d'opérations de maintenance devraient pouvoir aider les bureaux d'études dans la prise de décision sur les pièces en réparation et dans la conception de certaines pièces (capitalisation des informations sur les dommages apparus).

Un système de réalité augmentée adaptatif permettrait d'assister au mieux les opérateurs lors d'opérations de maintenance et de diagnostic de pièces de structure.

Le groupe SAFRAN travaille également à améliorer sa connaissance de l'état de santé de ses équipements, en particulier des trains d'atterrissage. La digitalisation du recueil d'information au cours des opérations de maintenance soutiendra cet effort en fournissant au groupe SAFRAN des informations exploitables pour, à la fois connaître l'état de santé d'une pièce mais aussi celui de l'ensemble des pièces en service.

3 - Etat de l'art

Des projets récents ont montré l'intérêt de l'utilisation de la réalité augmentée (RA) lors d'activités de maintenance industrielle ([1],[2], [3], [4], [5], [6], [7]) dans divers domaines d'application dont l'aéronautique ([8], [9], [10], [11],

[5], [12], [13], [14]) qui représente 17% du champ d'application de la RA dans la maintenance industrielle ([1]). La RA peut alors être un outil de formation ou d'assistance aux opérations de démontage/assemblage de réparation ou de diagnostic ([1], [15]). Ces dernières représentent 26% des activités de maintenance industrielle en RA.

Il a été démontré ([5]) que ces techniques sont destinées à devenir dans quelques années un équipement standard au service de la maintenance et pourraient repenser la manière de fournir les prestations de service. Ces techniques sont avant tout utilisées pour visualiser des informations sur le système réel en temps réel mais aussi pour saisir des informations sur un système et générer des rapports de maintenance [26].

Le bénéfice de la RA pour la maintenance a été montré à travers plusieurs études ([9], [16], [17]) dont certaines se sont efforcées à identifier des critères d'évaluation de RA pour la maintenance ([18]). Ces études montrent que la RA permet avant tout un gain de temps lors d'opérations de maintenance ([8], [16], [21], [17]) et de la formation ([19], [20], [6], , [12] [14]) grâce à la suppression ou la réduction de temps de formation rendues inutiles grâce à la RA ([22]). ([23]) montre également que la RA facilite le transfert de connaissances. Quelques études montrent que la RA permet également d'améliorer la qualité en réduisant les erreurs humaines ([8], [24], [25], [12]).

Il reste un ensemble de challenges à relever pour parfaire l'implantation de la RA dans la maintenance industrielle. [27] a identifié et qualifié les attentes des industriels lors de l'implantation d'un système de RA pour la maintenance. Ces principales attentes sont relatives à l'amélioration de l'efficacité des opérations, à l'ergonomie et à l'acceptabilité du système par les opérateurs. [28] a identifié les principaux challenges et verrous scientifiques relatifs à la création du contenu des applications de RA, au contexte et aux techniques d'interactions. Ces verrous portent essentiellement sur l'automatisation du transfert de données et sur la création automatique de contenu grâce à l'utilisation de règles de connaissances métiers. La création automatique de contenu permettrait en effet de capitaliser les connaissances des opérateurs et d'adapter le contenu au profil de l'utilisateur. [24] propose déjà un système haptique placé sur le poignet de l'opérateur qui permet d'adapter le contenu de l'application de RA en fonction des mouvements de l'opérateur.

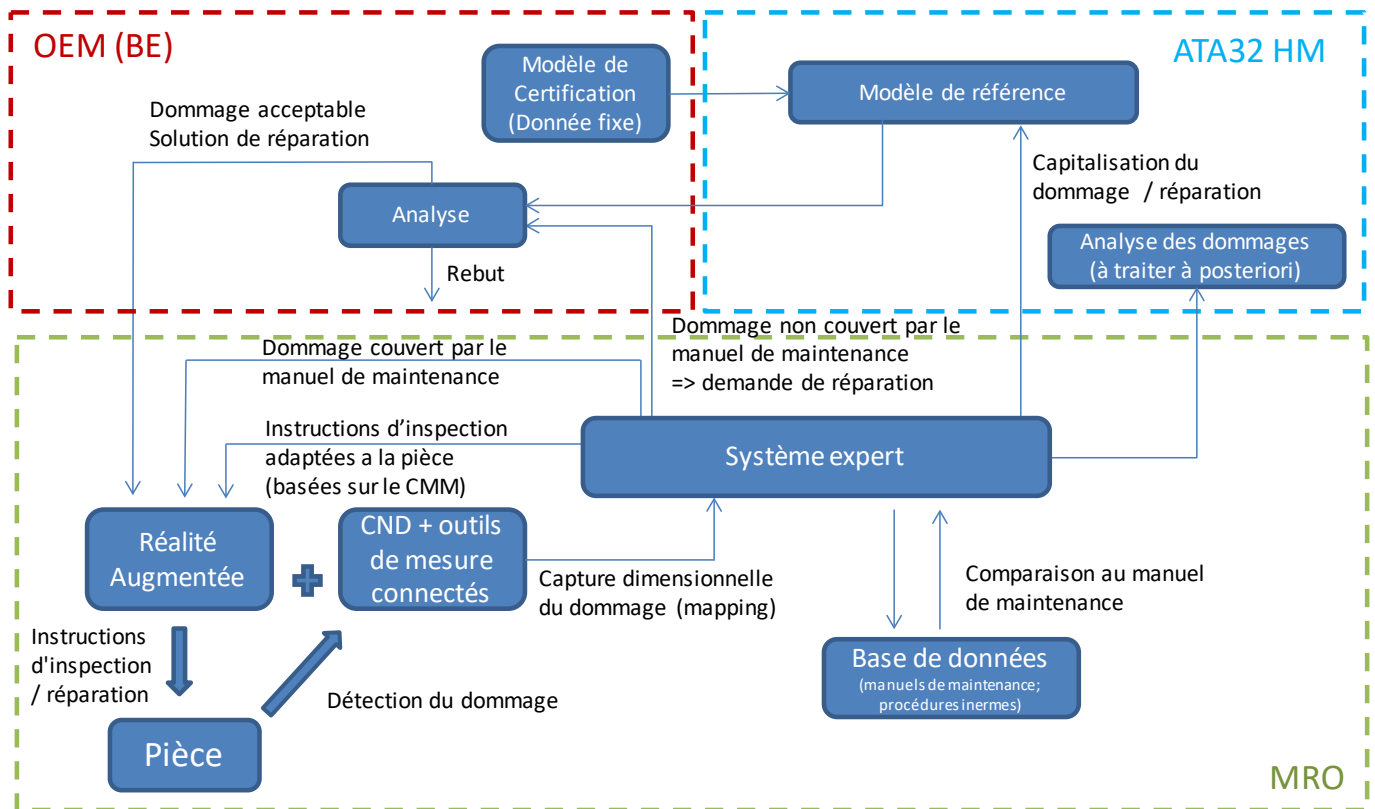
Aujourd'hui, l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle et des systèmes experts facilitent le transfert de connaissance et la prise de décision. Il pourrait être envisageable d'utiliser ces techniques en vue de faciliter le diagnostic en RA sur des pièces de structure pour l'aéronautique.

4 - Verrous scientifiques

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

- Le manuel de maintenance (CMM) est disponible de façon interactive auprès des opérateurs
- Un système de réalité augmentée permet à l'opérateur de :
 - o Annoter et/ou visualiser les dommages suite à une inspection visuelle
 - o Guider l'opérateur dans ses opérations de réparations (enlèvement de matière)
- Un système expert permettant de :
 - o Capitaliser les dommages (pour l'analyse de la réparation en cours et pour une analyse statistique des dommages)
 - o Guider l'opérateur dans ses choix d'actions de réparation
- Une maquette numérique représentant la pièce telle qu'en l'état :
 - o Des instruments de mesures adaptés seront utilisés (comme un pied à coulisse connecté par exemple)
 - o Le système expert alimentera la maquette numérique pour qu'elle soit représentative de l'état réel de la pièce.
 - o La maquette supportera les décisions du BE vis-à-vis des demandes de réparation

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



L'étude devra proposer une méthode pour visualiser et adapter le contenu d'un manuel de maintenance en RA en fonction du profil de l'utilisateur (inspection, réparation...) et des dommages à observer.

Pour parvenir à cela, les verrous scientifiques suivants sont identifiés :

1. Manuel de maintenance interactif

En raison de la complexité des opérations de maintenance, il n'est pas fait de retour d'expériences de la maintenance sur les bureaux des études et/ou des méthodes qui conçoivent les pièces et les manuels de maintenance. Il existe ainsi un verrou pour la capitalisation des expériences acquises, le traitement des informations et une restitution permettant à la fois aux opérateurs d'être guidés dans leurs tâches et également aux concepteurs d'améliorer leurs produits et manuels.

Pour cela, il est envisagé d'utiliser les techniques d'intelligence artificielle avec comme données d'entrée, une représentation du produit tel qu'il a été avant et après la réparation et le phasage des opérations qu'il a subies. Il sera nécessaire de formaliser les connaissances métier.

2. Système de réalité augmentée pour l'aide à la maintenance :

Ce verrou s'attachera à proposer un système adapté de réalité augmentée permettant de mettre en évidence les dommages qui sont constatés sur la pièce par l'opérateur au cours d'une inspection visuelle, de restituer les différents dommages sur la pièce et d'assister l'opérateur lors de ses choix de réparation. Le système permettra également de guider l'opérateur réalisant la tâche de réparation.

3. Adaptabilité au niveau des différents acteurs :

En raison de la diversité des expertises présentes sur le site, le système devra s'adapter à la tâche et au dommage pour fournir à l'opérateur la juste information requise.

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 augmentée pour la maintenance et le diagnostic
 - o Intelligence artificielle, systèmes experts pour le diagnostic
 - o Intelligence artificielle, systèmes experts pour l'adaptation de manuels d'instructions
- Proposition de méthode pour la visualisation de dommages en RA
- Proposition d'une méthode pour capitaliser les connaissances utiles au diagnostic
- Proposition d'un modèle pour l'évaluation d'une application de RA pour l'aide au diagnostic
- Proposition de méthode pour l'adaptation intelligente d'un manuel en RA à l'activité de diagnostic et de maintenance
- Proposition de méthode pour l'adaptation intelligente d'un manuel en RA au profil de l'utilisateur
- Définition d'un cahier des charges
- Construction de différents scénarios
- Développement de démonstrateurs technologique
- Expérimentations des différents scénarios, démonstrateurs, et supports
- Evaluation du dispositif lors des opérations de maintenance cabine selon les critères identifiés
- Publications scientifiques

6 - Résultats attendus

- Démonstrateurs technologiques
- Initiation d'une base de données de recensement des dommages
- 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 - Institut Image, Chalon-sur-Saône :

- Florence Danglade (florence.danglade@ensam.eu)
- Christophe Guillet (christophe.guillet@ensam.eu)
- Frédéric Merienne (frederic.merienne@ensam.eu)

Safran :

- Antoine Guidoux (antoine.guidoux@safrangroup.com)

8 - Bibliographie

- [1] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, et H. Torabmostaedi, « A systematic review of augmented reality applications in maintenance », *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 49, p. 215-228, 2018.
- [2] M. Abramovici, M. Wolf, S. Adwernat, et M. Neges, « Context-aware Maintenance Support for Augmented Reality Assistance and Synchronous Multi-user Collaboration », *Procedia {CIRP}*, vol. 59, p. 18-22, 2017.
- [3] R. Masoni *et al.*, « Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality », *Procedia Manufacturing*, vol. 11, p. 1296-1302, 2017.
- [4] A. Martinetti, M. Rajabalinejad, et L. van Dongen, « Shaping the Future Maintenance Operations: Reflections on the Adoptions of Augmented Reality Through Problems and Opportunities », *Procedia CIRP*, vol. 59, p. 14-17, 2017.
- [5] I. Porcelli, M. Rapaccini, D. B. Espíndola, et C. E. Pereira, « Technical and Organizational Issues about the Introduction of Augmented Reality in Maintenance and Technical Assistance Services », *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, n° 7, p. 257-262, 2013.
- [6] L. E. Garza *et al.*, « Augmented Reality Application for the Maintenance of a Flapper Valve of a Fuller-kynion Type M Pump », *Procedia Computer Science*, vol. 25, p. 154-160, 2013.
- [7] D. B. Espíndola, C. E. Pereira, R. V. B. Henriques, et S. S. Botelho, « Using Mixed Reality in the Visualization of Maintenance Processes », *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 43, n° 3, p. 30-35, 2010.

- [8] A. Ceruti, P. Marzocca, A. Liverani, et C. Bil, « Maintenance in Aeronautics in an Industry 4.0 Context: The Role of Augmented Reality and Additive Manufacturing », *Journal of Computational Design and Engineering*, févr. 2019.
- [9] H. Eschen, T. Kötter, R. Rodeck, M. Harnisch, et T. Schüppstuhl, « Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry », *Procedia Manufacturing*, vol. 19, p. 156-163, 2018.
- [10] F. Suárez-Warden, E. G. Mendívil, A. F. Ramírez, et S. García-Lumbreras, « Profit Model for Incorporating AR Technology in Assembly Tasks of Aeronautical Maintenance », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 113-122, 2015.
- [11] F. Suárez-Warden, M. Rodriguez, N. Hendrichs, S. García-Lumbreras, et E. G. Mendívil, « Small Sample Size for Test of Training Time by Augmented Reality: An Aeronautical Case », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 17-27, 2015.
- [12] F. De Crescenzo, M. Fantini, F. Persiani, L. Di Stefano, P. Azzari, et S. Salti, « Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support », *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 31, n° 1, p. 96-101, janv. 2011.
- [13] M. Hincapie, A. Caponio, H. Rios, et E. Gonzalez Mendivil, « An introduction to Augmented Reality with applications in aeronautical maintenance », 2011, p. 1-4.
- [14] T. Haritos et N. D. Macchiarella, *A mobile application of augmented reality for aerospace maintenance training*, vol. 1. 2005.
- [15] R. Ghimire, K. R. Pattipati, et P. B. Luh, « Fault diagnosis and augmented reality-based troubleshooting of HVAC systems », 2016, p. 1-10.
- [16] F. Suárez-Warden, E. G. Mendívil, C. A. Rodríguez, et S. Garcia-Lumbreras, « Assembly Operations Aided by Augmented Reality: An Endeavour toward a Comparative Analysis », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 281-290, 2015.
- [17] S. Henderson et S. Feiner, « Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, n° 10, p. 1355-1368, oct. 2011.
- [18] J. Jetter, J. Eimecke, et A. Rese, « Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits? », *Computers in Human Behavior*, vol. 87, p. 18-33, oct. 2018.
- [19] M. Mendoza, M. Mendoza, E. Mendoza, et E. González, « Augmented Reality as a Tool of Training for Data Collection on Torque Auditing », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 5-11, 2015.
- [20] F. Quint, K. Sebastian, et D. Gorecky, « A Mixed-reality Learning Environment », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 43-48, 2015.
- [21] D. Segovia, M. Mendoza, E. Mendoza, et E. González, « Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring », *Procedia Computer Science*, vol. 75, p. 291-300, 2015.
- [22] V. Chimienti, S. Iliano, M. Dassisti, G. Dini, et F. Failli, « Guidelines for Implementing Augmented Reality Procedures in Assisting Assembly Operations », in *Precision Assembly Technologies and Systems*, vol. 315, S. Ratchev, Éd. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, p. 174-179.
- [23] S. Webel, U. Bockholt, T. Engelke, N. Gavish, M. Olbrich, et C. Preusche, « An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills », *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, n° 4, p. 398-403, avr. 2013.
- [24] C. Y. Siew, S. K. Ong, et A. Y. C. Nee, « A practical augmented reality-assisted maintenance system framework for adaptive user support », *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 59, p. 115-129, oct. 2019.
- [25] X. Wang, S. K. Ong, et A. Y. C. Nee, « Multi-modal augmented-reality assembly guidance based on bare-hand interface », *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, n° 3, p. 406-421, août 2016.
- [26] M. Neges, M. Wolf, et M. Abramovici, « Secure Access Augmented Reality Solution for Mobile Maintenance Support Utilizing Condition-Oriented Work Instructions », *Procedia CIRP*, vol. 38, p. 58-62, 2015.
- [27] T. Masood et J. Egger, « Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors », *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 58, p. 181-195, août 2019.
- [28] I. Fernández del Amo, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, R. Palmarini, et D. Onoufriou, « A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications », *Computers in Industry*, vol. 103, p. 47-71, déc. 2018.