



BL.MixedR : Adapter les procédures de maintenance traditionnelles pour une utilisation en environnements immersifs

Houssem Eddine Saidi, Laetitia Carreteros, Stéphanie Rey, Youssef Miloudi,
Laurent Truscello, Christophe Bortolaso

► To cite this version:

Houssem Eddine Saidi, Laetitia Carreteros, Stéphanie Rey, Youssef Miloudi, Laurent Truscello, et al.. BL.MixedR : Adapter les procédures de maintenance traditionnelles pour une utilisation en environnements immersifs. 33e conférence internationale francophone sur l'Interaction Humain-Machine (IHM'22), AFIHM, Apr 2022, Namur, Belgique. hal-03835659

HAL Id: hal-03835659

<https://hal.science/hal-03835659>

Submitted on 4 Nov 2022

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.

BL.MixedR : Adapter les procédures de maintenance traditionnelles pour une utilisation en environnements immersifs

BL.MixedR: Augmenting traditional maintenance procedures to better exploit the capabilities of Head-Worn AR

HOUSSEM SAIDI

Berger-Levrault, France, houssemeddine.saidi@berger-levrault.com

LAETITIA CARRETEROS

Berger-Levrault, France, laetitia.carreteros@berger-levrault.com

STEPHANIE REY

Berger-Levrault, France, stephanie.rey@berger-levrault.com

YOUSSEF MILOUDI

Berger-Levrault, France, youssef.miloudi@berger-levrault.com

LAURENT TRUSCELLO

Berger-Levrault, France, laurent.truscello@berger-levrault.com

CHRISTOPHE BORTOLASO

Berger-Levrault, France, christophe.bortolaso@berger-levrault.com

This paper presents the design and implementation of BL.MixedR, a maintenance assistance system that leverages the capabilities of augmented reality (AR) to assist technicians during their maintenance processes. BL.MixedR re-imagines work orders to take full advantage of the contextualization of digital data and maintenance information using the spatial and hands-free capabilities offered by augmented reality headsets. The prototype provides technicians with relevant information at the right time and place. This allows them to focus solely on the maintenance work, reducing unnecessary cognitive load and improving their performance. Moreover, the architecture of the BL.MixedR system allows for a simplified integration with existing maintenance systems, which we believe is one of the main barriers to the industrial adoption of AR maintenance systems. We present in this paper the result of several iterations of user-centered design and multiple evaluations by maintenance experts in real field conditions. These in-situ observations lead us to identify several empirical design principles to maximize the adoption of augmented reality systems during maintenance operations.

CCS CONCEPTS • Human-centered computing~Human computer interaction (HCI)~Interaction paradigms~Mixed / augmented reality

Additional Keywords and Phrases: Augmented Reality, Maintenance, Assistance System, Head-Mounted Displays

Cet article présente la conception et la mise en œuvre de BL.MixedR, un système d'assistance à la maintenance qui exploite les capacités de la réalité augmentée (RA) pour aider les techniciens lors de leurs processus de maintenance. BL.MixedR réimagine les gammes d'intervention pour profiter pleinement de la spatialisation et des capacités mains libres offerts par les casques de réalité augmentée en contextualisant les données numériques et les informations nécessaires à la réalisation des opérations de maintenance. Le prototype fournit aux techniciens des informations pertinentes, au bon moment et au bon endroit. Ils peuvent ainsi se concentrer uniquement sur le travail de maintenance, réduisant la charge cognitive superflue et améliorant leurs performances. De plus, l'architecture du système BL.MixedR permet une intégration logicielle simplifiée avec les systèmes de maintenance existants, ce qui selon nous, est l'un des

obstacles principaux à l'adoption de la RA par les industriels. Nous présentons dans ce papier le résultat de plusieurs itérations de conception centrée utilisateur et de multiples évaluations par des experts en maintenance dans des conditions réelles sur le terrain. Ces observations in-situ nous conduisent à identifier plusieurs principes de conception empirique pour maximiser l'adoption des systèmes de réalité augmentée lors des opérations de maintenance.

Mots-clés additionnels : Réalité Augmentée, Maintenance, Systèmes d'assistance, Environnement Immersif

1 INTRODUCTION

Le secteur de la maintenance est continuellement à la recherche de nouveaux moyens de s'améliorer. Cela inclut l'exploration de nouvelles technologies susceptibles de simplifier les procédures ou d'améliorer les performances des techniciens sur le terrain grâce à des données additionnelles telles que des instructions situées, des conseils de sécurité ou encore de la documentation [9]. Avec une valeur de marché qui devrait atteindre 70 milliards de dollars US d'ici 2025¹, la réalité augmentée (RA) est à la tête de ces nouvelles technologies. La recherche académique a prouvé qu'elle permet de réduire les erreurs humaines, le temps de réalisation des interventions, et d'améliorer les performances des techniciens [2,4,9,10,14]. Les récentes avancées technologiques de la RA, portées par des dispositifs tels que le HoloLens de Microsoft, ont permis à la communauté de recherche, tant universitaire qu'industrielle, de se concentrer sur l'utilisation de la RA dans les activités in-situ, plutôt que sur l'amélioration de la technologie en elle-même.

En plus de leurs capacités spatiales et 3D, les casques de réalité augmentée permettent à l'utilisateur d'accéder aux informations tout en gardant les mains libres, une fonctionnalité recherchée pour la maintenance. Cette combinaison unique de caractéristiques a été exploitée pour concevoir des systèmes avancés d'assistance à la maintenance [1,3,5,7,8,13] dans l'industrie aéronautique, la technologie grand public, l'industrie nucléaire ou la maintenance des usines [12]. Cependant, la plupart des solutions proposées sont ad-hoc et ne tiennent pas compte des systèmes de maintenance existants. L'effort d'intégration est donc plus important, ce qui rend leur déploiement dans un contexte de production difficile.

Dans cet article, nous soutenons que l'adoption des systèmes d'assistance à la maintenance utilisant la RA passe par une intégration simple, rapide et sans effort aux systèmes de maintenance existants. Nous expliquons d'abord la méthodologie utilisée pour concevoir le prototype (CCU : Conception Centrée sur l'Utilisateur [6,11]) et faire émerger les exigences. Nous présentons ensuite une approche permettant d'intégrer le prototype aux systèmes existants afin d'utiliser et d'exploiter les informations de maintenance déjà créées (instructions, procédures, fichiers de support, etc.). Puis, nous présentons le prototype BL.MixedR, un système d'assistance à la maintenance qui tient compte du contexte d'intervention. Nous expliquons comment il assiste les techniciens sur le terrain en exploitant les capacités de la RA et nous décrivons les nouveaux concepts introduits pour adapter les gammes d'interventions traditionnelles à une utilisation en RA. Enfin, nous présentons les enseignements tirés des multiples évaluations in-situ réalisées avec des experts du domaine.

2 CONCEPTION ET IMPLEMENTATION DE BL.MIXEDR

En tant qu'acteur du secteur de la maintenance, nous possédons une bonne connaissance du contexte d'utilisation du prototype. De plus, nous avons travaillé en étroite collaboration avec l'un de nos clients (un des leaders mondiaux de l'automatisation des ouvertures de l'habitat et du bâtiment) que nous avons impliqué tout au long du processus de

¹ <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1032620-augmented-reality-in-industrial-application>

conception. Nous avons appliqué une approche de CCU (Conception Centrée sur l'Utilisateur) pour concevoir et construire le prototype. Cette approche nous a permis de faire émerger des directives de conception à partir d'observations empiriques dans l'environnement réel d'utilisation et des commentaires d'experts. Cette conception itérative a abouti aux exigences suivantes : le système d'assistance à la maintenance doit aider les techniciens à accéder facilement aux informations pertinentes pour effectuer une tâche de maintenance, au bon moment et au bon endroit ; il doit en outre s'intégrer de la manière la plus rapide possible au processus existant. Cela participe à réduire la charge cognitive superflue, et donc, à améliorer les performances pendant les travaux de maintenance, et ainsi réduire le temps nécessaire pour effectuer le travail. Afin de respecter ces exigences, la notion de gamme d'intervention « traditionnelle » doit ainsi être améliorée.

2.1 Extension de la gamme d'intervention

Une gamme d'intervention est un moyen de fournir tous les détails nécessaires à la réalisation d'une intervention de maintenance. Il peut s'agir d'informations générales sur la tâche (type, durée, lieu, etc.), d'instructions, de documentations techniques ou d'éléments supplémentaires tels que du contenu multimédia (images, vidéos). Elle est généralement créée par le gestionnaire de maintenance et ensuite attribuée à un ou plusieurs techniciens de maintenance. La création peut se faire de différentes manières : en utilisant un logiciel GMAO (Gestion de maintenance assistée par ordinateur), ou manuellement, dans un format électronique ou papier. Les gammes d'intervention générées sont soit imprimées, si elles sont au format papier, ou consommées sur un appareil mobile (tablette ou smartphone).

Gamme d'intervention augmentée

Les capacités spatiales et temps réel des environnements RA offrent de vastes possibilités pour étendre l'assistance au-delà de la simple diffusion d'informations de gestion de maintenance au technicien. Une gamme augmentée décrit le comportement des éléments virtuels composant la gamme traditionnelle. Par exemple, le technicien peut non seulement consulter le manuel de l'équipement, mais celui-ci s'ouvre directement à la bonne page pour la tâche en cours et surligne la bonne information au bon moment. Il peut ainsi se concentrer uniquement sur la tâche de maintenance à accomplir. Chaque élément d'une gamme d'intervention traditionnelle peut ainsi être étendu dans une gamme augmentée, le gestionnaire de maintenance peut par exemple : 1) modifier les images (annotations, rotation, ajout de rectangles et flèches) ; 2) choisir la page d'ouverture d'un document, et surligner des passages ; 3) associer simplement des opérations à des portions d'une vidéo et préciser si la vidéo doit être lue automatiquement, à la demande du technicien ou en boucle.

2.1.1 Gamme d'intervention ancrée

Les techniciens doivent régulièrement se déplacer d'un endroit à l'autre, d'une partie d'équipement à une autre. Dans un contexte de réalité augmentée, cela implique de repositionner constamment les éléments virtuels affichés (fenêtres, images, vidéos, modèles 3D). Les gammes d'intervention ancrées permettent au gestionnaire de maintenance de prédéfinir la position de chaque élément affiché dans l'espace de travail du technicien. Celui-ci peut ainsi se déplacer et trouver les instructions et les fichiers de support nécessaires déjà positionnés dans le prochain emplacement de travail.

2.2 Intégration avec un outil de GMAO existant

L'une des exigences de notre client était que la création et la modification de gammes étendues soient aussi efficaces que dans leur processus actuel. De nombreux systèmes de GMAO existent sur le marché, la plupart propriétaires et accessibles par API pour des opérations de base (lecture et modification d'une gamme d'intervention, téléchargement de fichiers, etc). Nous avons développé un module supplémentaire qui s'appuie sur la GMAO existante, récupère les données de la gamme d'intervention et permet au gestionnaire de maintenance de les compléter (augmenter et ancrer) sans avoir à la recréer pour

le prototype de maintenance augmentée (Figure 1). Cela réduit considérablement le temps nécessaire à la création de gammes d'intervention.

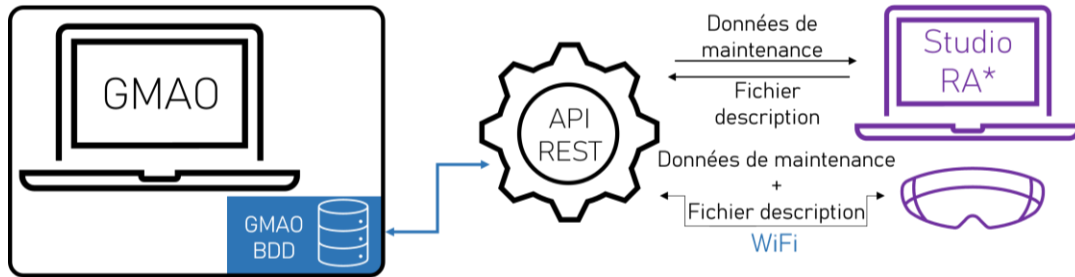


Figure 1 : Description haut-niveau de l'écosystème de BL.MixedR

2.3 Maintenance augmentée

Au démarrage de l'application, le technicien est accueilli par un panneau d'information (Figure 2 – a). Le démarrage de l'intervention fait apparaître deux fenêtres principales : La liste des opérations (Figure 2 – b) et les supports multimédias (Figure 2 – c). La liste d'opération permet aux techniciens de spécifier si une opération est faite ou non, de filtrer les médias et d'afficher les étapes d'une opération le cas échéant.

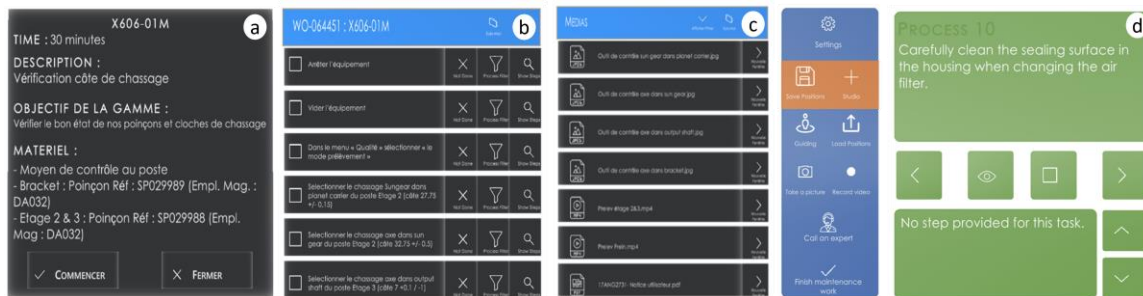


Figure 2 : a) Panneau d'information ; b) fenêtre de la gamme d'intervention ; c) fichiers multimédias ; d) tableau de bord

Le technicien peut afficher un tableau de bord en levant la main gauche. Il lui permet d'accéder aux commandes et informations principales (Figure 2 – d) : processus en cours, étapes et navigation précédentes/suivantes (vert), activation du guidage, enregistrement audio/vidéo, appel à un expert. La partie orange est uniquement accessible au gestionnaire de maintenance en mode ancrage.

Les techniciens ne sont pas toujours familiers avec l'équipement concerné (travaux peu fréquents, nouveau technicien, ou astreinte). Dans ces situations, ils perdent du temps à chercher l'endroit de la prochaine opération. Nous proposons deux approches pour remédier à cela : une vue d'ensemble de l'espace de travail sous la forme d'une mini-map et un mode boussole. La mini-map est un plan horizontal sur lequel le technicien peut voir sa position actualisée (flèche blanche) et les opérations. Cela lui permet de déterminer sa position par rapport aux tâches qu'il doit réaliser (Figure 3 - gauche). Pour activer le mode boussole, le technicien appuie sur l'une des icônes bleues représentant les opérations à réaliser (Figure 3 -

centre). Une flèche s'affiche devant lui et pointe vers l'emplacement de la tâche sélectionnée (Figure 3 - droite). Le prototype affiche aussi la distance afin d'éviter toute confusion avec une autre tâche positionnée entre les deux.



Figure 3 : guidage du technicien : mini-map et mode boussole.

3 EVALUATION IN-SITU

Nous avons réalisé trois itérations de CCU et effectué quatre évaluations in-situ sur une période de 12 mois dans deux contextes différents : les services de maintenance d'une usine de production et d'un grand hôpital. Trois expérimentateurs étaient présents : un pour présenter le prototype et les nouvelles fonctionnalités ainsi que pour mener l'expérience tandis que les deux autres s'occupaient des entretiens et de la collecte des données. Dans chaque évaluation, au moins deux techniciens étaient présents ainsi qu'un responsable de maintenance. Seul un technicien avait une expérience préalable avec l'HoloLens. Plusieurs réunions ont eu lieu avant l'évaluation in-situ pour préparer les données : choisir des travaux de maintenance couvrant toutes les caractéristiques à évaluer et créer les gammes d'intervention sur la GMAO. Une partie de l'augmentation de la gamme d'intervention a été faite en amont, l'autre partie par le responsable de maintenance pendant l'évaluation. Nous avons utilisé deux HoloLens 2 et trois ordinateurs portables. Chaque évaluation a duré une journée divisée en deux parties. Le matin les responsables de maintenance testaient l'augmentation de la gamme d'intervention. L'après-midi, les techniciens utilisaient le prototype pour simuler l'intervention de maintenance choisie au préalable. Les données collectées comprennent des notes écrites, des enregistrements vidéo du casque RA et des enregistrements audios des entretiens semi-structurés. Trois des quatre évaluations ont été menées dans une usine de production de systèmes motorisés pour volets roulants, tandis que la dernière a été réalisée dans une salle de stérilisation d'un hôpital. Les enseignements principaux de ces évaluations sont détaillés dans la prochaine section.

4 ENSEIGNEMENTS ET DISCUSSION

Dans l'ensemble, les experts en maintenance ont trouvé le prototype « *très utile* », « *attrayant et original* », « *facile à apprendre* » et « *ayant un grand potentiel pour améliorer le travail de maintenance* ». Aucune observation n'a été faite sur le confort d'utilisation du casque RA. Les techniciens ont trouvé les informations affichées « *pertinentes* ». Les fonctions de réalisation de compte rendu (prise de photos, enregistrement vidéo et enregistrement audio) ont été jugées « *utiles* ». De plus, tous les experts ont apprécié avoir les mains libres en permanence. Dans la suite de cette section, nous présentons et discutons les principaux enseignements tirés de ces évaluations.

Faciliter l'accès aux informations de maintenance en rendant la gamme d'intervention plus intelligente

Dans la version initiale du prototype, les techniciens devaient configurer leur espace de travail manuellement. Cela impliquait de positionner les fenêtres principales à l'aide des gestes standard de l'HoloLens. Cette liberté avait pour but de permettre aux techniciens de mettre en place la configuration de l'espace de travail la plus adaptée à leur style de travail.

Dans la pratique, nous avons observé que le positionnement manuel des fenêtres virtuelles était jugé « frustrant », surtout dans les espaces étroits ou encombrés. En outre, en raison des difficultés d'interaction avec le contenu virtuel dans ce contexte, l'accès à la bonne information était tout aussi frustrant. Durant les entretiens semi-structurés, les techniciens et les responsables de maintenance ont reconnu que les approches manuelles ainsi que les gammes d'intervention traditionnelles ne convenaient pas à une utilisation en réalité augmentée. Après plusieurs itérations de conception, nous avons convergé vers le concept de gamme d'intervention augmentée et ancrée (section 2.1). Globalement, les techniciens et experts qui ont testé ces nouvelles gammes d'intervention y ont trouvé une valeur ajoutée. Ils ont particulièrement apprécié la lecture de la partie utile d'une vidéo au lieu de toute la vidéo. Ils ont également apprécié la mise en évidence de la partie pertinente des documentations techniques, car *« parfois, il faut beaucoup de temps pour trouver la bonne information, les documentations techniques peuvent compter des centaines de pages »*.

Les gammes d'intervention ancrées permettent aux responsables de maintenance de configurer la position de chaque outil virtuel que le technicien peut utiliser. L'ancrage se fait une seule fois, par le responsable de maintenance, et peut ensuite être réutilisé sans limite par les techniciens pour l'intervention concernée. Lors des évaluations, les techniciens ont apprécié l'apport des gammes d'intervention ancrées, car ils *« n'avaient pas à réfléchir au positionnement des fenêtres, ils se contentaient de réaliser les opérations de maintenance »*. Cependant, ils nous ont signalé que l'apport de ces gammes ancrées était moins évident quand le technicien n'est pas familier avec le travail de maintenance, à moins qu'il ne soit guidé vers l'emplacement de l'opération suivante.

Guider le technicien durant les travaux de maintenance

Nous avons proposé deux systèmes de guidage qui permettent aux techniciens de connaître l'emplacement des opérations suivantes (section 2.1.1). La vue d'ensemble a beaucoup été appréciée. Cependant, les techniciens ont indiqué que la mini-map peut être *« difficile à utiliser lors d'une intervention complexe avec beaucoup d'opérations »*, où elle se retrouverait surchargée avec des tâches superposées. L'un des techniciens a suggéré que *« le prototype n'affiche que la tâche en cours ainsi que les deux tâches précédentes et les deux tâches suivantes »* comme amélioration potentielle.

Simplifier la création de gamme d'intervention augmentée

Après avoir évalué les gammes d'interventions augmentées et ancrées, les responsables de la maintenance et les cadres supérieurs ont souligné que, quels que soient les avantages de ces nouvelles gammes d'interventions, s'ils *« ne peuvent pas les créer aussi facilement et aussi rapidement que les gammes d'intervention traditionnelles, il serait difficile pour eux d'imaginer l'utilisation d'un tel système »*. Les GMAO traditionnelles n'offrent pas de moyen de créer ces nouvelles gammes d'intervention. Nous avons donc proposé un outil de création qui s'appuie sur des informations de maintenance déjà existantes sur la GMAO (décrit en section 2.2). Les responsables de maintenance ont apprécié la structure de l'écosystème proposée (Figure 1) qui *« leur a permis d'augmenter les gammes d'intervention sans modifier leurs procédures de maintenance existantes »*, ce qui facilite l'intégration du prototype de RA.

Améliorer l'interface utilisateur

Au cours de la quatrième évaluation, l'un des techniciens participants était gaucher et a souligné le fait que le prototype *« semblait avoir été conçu pour des techniciens droitiers »*. Cela est particulièrement vrai pour le tableau de bord qui s'affiche en levant la main gauche, ce permet d'utiliser la main droite pour l'interaction. Il faudrait donc l'adapter aux gauchers. Ce tableau de bord a été conçu pour permettre un accès rapide aux commandes en tout lieu. Bien que la disposition en grille soit suffisante pour son utilisation actuelle, nous nous attendons à ce qu'elle soit insuffisante lorsque

d'autres commandes y seront ajoutées. De plus, l'interaction avec le tableau de bord est difficile dans les espaces étroits ou encombrés. Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires pour le rendre compatibles avec ces nouvelles exigences. D'autres améliorations de l'interface utilisateur ont été proposées, comme l'ajout de commentaires et l'extension de la bibliothèque d'objets 3D avec des objets personnalisés.

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un prototype de maintenance augmentée conçu pour assister les techniciens pendant les travaux de maintenance sur le terrain. Nous avons décrit la méthodologie utilisée pour concevoir le prototype, qui met l'accent sur la nécessité de s'appuyer sur les systèmes de maintenance existants. Nous avons proposé une approche simplifiée pour intégrer le prototype aux outils de maintenance existants. Nous avons aussi illustré le principe général du prototype et les concepts (gamme d'intervention augmentée, ancrée, et guidage) introduits pour adapter les gammes traditionnelles (instructions et fichiers de support) à la réalité augmentée, pour une exploitation optimale des capacités offertes par cette technologie. Nous avons mené quatre évaluations in-situ avec des experts en maintenance afin d'informer la conception du prototype et d'évaluer les fonctionnalités implémentées. Dans l'ensemble, les commentaires des experts sur le prototype étaient positifs. Cependant, à ce stade de notre recherche, il est encore prématuré de tirer une quelconque conclusion concernant le retour sur investissement du prototype, car cela nécessite des expérimentations empiriques évaluant les performances des techniciens avec le prototype par rapport aux outils traditionnels et dans différentes conditions. Les deux entreprises qui ont utilisé le prototype se sont déclarées prêtes à l'évaluer sur une plus longue période, dans différentes conditions, et à comparer ses performances à celles de leurs outils de maintenance existants.

REFERENCES

- [1] J. Azpiazu. 2011. Remote support for maintenance tasks by the use of Augmented Reality: the ManuVAR project Author (s) Azpiazu, J.; Siltanen. (2011).
- [2] Pasquale Daponte, Luca De Vito, Francesco Picariello, and Maria Riccio. 2014. State of the art and future developments of the Augmented Reality for measurement applications. *Measurement* 57, (November 2014), 53–70. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.07.009>
- [3] Dragoş Datcu, Marina Cidota, Stephan Lukosch, David Martinez Oliveira, and Mikael Wolff. 2014. Virtual co-location to support remote assistance for inflight maintenance in ground training for space missions. In *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Systems and Technologies*, 134–141.
- [4] G. Dini and M. Dalle Mura. 2015. Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services. *Procedia CIRP* 38, (January 2015), 14–23. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.044>
- [5] T. Haritos and N. Macchiarella. 2005. A mobile application of augmented reality for aerospace maintenance training. 24th Digital Avionics Systems Conference (2005). DOI:<https://doi.org/10.1109/DASC.2005.1563376>
- [6] W Hudson. 2000. User-Centered Survey Results. email posting to CHI-WEB@ACM.ORG.
- [7] Geun-Sik Jo, Kyeong-Jin Oh, Inay Ha, Kee-Sung Lee, Myung-Duk Hong, Ulrich Neumann, and Suya You. 2014. A unified framework for augmented reality and knowledge-based systems in maintaining aircraft. In *Twenty-Sixth IAAI Conference*.
- [8] Jean-Yves Didier David Roussel Malik, Mallem Samir Othmane, Sylvie Naudet Quoc-Cuong Pham, Steve Bourgeois, Christine Mégard, Christophe Leroux, and Arnaud Hocquard. AMRA: Augmented Reality assistance in train maintenance tasks.
- [9] Héctor Martínez, Seppo Laukkanen, and Jouni Mattila. 2013. A New Hybrid Approach for Augmented Reality Maintenance in Scientific Facilities. *International Journal of Advanced Robotic Systems* 10, 9 (September 2013), 321. DOI:<https://doi.org/10.5772/56845>
- [10] A. Y. C. Nee, S. K. Ong, G. Chryssolouris, and D. Mourtzis. 2012. Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals* 61, 2 (January 2012), 657–679. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
- [11] Donald A. Norman and Stephen W. Draper. 1986. *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*. L. Erlbaum Associates Inc., USA.
- [12] Riccardo Palmarini, John Ahmet Erkoyuncu, Rajkumar Roy, and Hosein Torabmostaedi. 2018. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 49, (February 2018), 215–228. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- [13] Holger Regenbrecht, Gregory Barattoff, and Wilhelm Wilke. 2005. Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *IEEE computer graphics and applications* 25, 6 (2005), 48–56.
- [14] Sabine Weibel, Uli Bockholt, Timo Engelke, Nirit Gavish, Manuel Olbrich, and Carsten Preusche. 2013. An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. *Robotics and Autonomous Systems* 61, 4 (April 2013), 398–403. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.robot.2012.09.013>