

MODÉLISATION DE MAINTENANCE EN RÉALITÉ AUGMENTÉE

Killian RICHARD^{1,2}, Vincent HAVARD², Benoit JEANNE David BAUDRY²

¹ EXIA.CESI, killian.richard@viacesi.fr

² LINEACT Laboratoire du CESI, vhavard@cesi.fr, bjeanne@cesi.fr, dbaudry@cesi.fr

Mots clés : Réalité augmentée, Modélisation, Édition de contenu, Usine numérique et Industrie 4.0.

Résumé

La réalité augmentée appliquée aux opérations de maintenance industrielle peut permettre de réduire les coûts et d'améliorer la qualité. Il reste cependant à démocratiser son usage, particulièrement pour la création de contenu. Cet article présente tout d'abord un modèle UML permettant de décrire une procédure de maintenance en réalité augmentée (RA). Ce modèle est ensuite utilisé pour créer une procédure de maintenance de 28 étapes sur une ligne de production de téléphone mobile. Les premiers résultats montrent que le modèle permet d'améliorer le temps de création d'une procédure de maintenance en RA.

1 INTRODUCTION

La maintenance industrielle est un point important dans l'amélioration de la productivité dans le secteur industriel. Ainsi, la démocratisation de la réalité augmentée (RA), qui permet d'afficher du contenu virtuel dans le monde réel, pourrait être en mesure de réduire la durée du processus de maintenance et d'en améliorer la qualité. Et cela car l'utilisation de cette technologie permettrait d'offrir une aide contextualisée et pertinente à l'opérateur effectuant la procédure.

Le terme « Réalité augmentée » est introduit par [1] en 1992. L'auteur prototype un casque de type « Head-up display » permettant de connaître la position de la tête dans le monde réel et d'afficher des contenus virtuels à travers un système see-through en temps réel.

Cinq ans après, [2] propose une définition plus structurée de la réalité augmentée qui ne dépend pas de la technique d'affichage employée. Tout système de réalité augmentée doit posséder ces 3 caractéristiques :

- Combiner le réel et le virtuel
- Être interactif en temps réel
- Être synchronisé en 3 dimensions

Le but principal pour faire fonctionner un système de réalité augmentée est de connaître la position et l'orientation de la caméra filmant la scène par rapport à l'objet réel que l'on souhaite « augmenter ».

La réalité augmentée, permettant de mixer du contenu réel et virtuel trouve de nombreux domaines d'applications (divertissement, médecine, éducation, jeux vidéo et maintenance...) [3] [4].

Plus particulièrement, plusieurs projets ont déjà montré l'intérêt de la RA pour la maintenance [5] [6] [7] [8]. Par exemple, les travaux d'Henderson [6] qui consistaient à développer une application permettant d'effectuer une maintenance en réalité augmentée à l'intérieur d'un char. Ce-dernier en a conclu que l'opérateur trouvait plus rapidement où intervenir mais que le temps de maintenance était plus long, cela étant dû à la configuration invasive du casque de RA qui empêchait une vision naturelle. Cet inconvénient peut maintenant être pallié avec les lunettes intelligentes qui peuvent aujourd'hui être légères et moins imposantes. Ces travaux et l'arrivée de ces nouveaux appareils nous permettent de voir qu'en effet il y a un avantage à utiliser la réalité augmentée.

Cependant, le résultat final de ces travaux est souvent un prototype d'application de maintenance qui est développé pour un cas précis et n'est donc pas réutilisable. Afin de répondre à la problématique

de création de contenu adaptable aux différents métiers et réutilisable, il faut travailler sur les modèles permettant de décrire une maintenance en RA. Bien qu'il existe une première formalisation s'appelant ARML [9], celle-ci n'est que purement descriptive et ne permet pas de décrire une maintenance. C'est ce manque qui est comblé par les différents travaux suivants.

Lee [10] propose un système de RA sensible au contexte. Il permet ainsi l'affichage du système pour la réparation d'une voiture en fonction de l'appareil utilisé (lunettes, tablette etc...) et de ses performances. Ceci permet d'améliorer la réactivité du système et permet d'éditer une maintenance qui sera nativement utilisable sur différents types d'appareils.

Su [11] propose un modèle UML pour expliquer la procédure de maintenance. La force de son modèle est qu'il utilise une ontologie, adaptant le vocabulaire utilisé en fonction du métier. Cependant, le modèle ne distingue pas l'action de l'objet sur lequel il doit agir. Il est donc nécessaire de décrire deux fois la même procédure si la même action est faite sur deux objets différents.

Plus tard, Zhu [12], améliore le modèle de Lee en proposant un modèle d'édition. Pour lui, le défi consiste à développer un outil de création sensible au contexte qui peut être utilisé par les développeurs, les opérateurs et les experts. Cependant son modèle ne permet pas de définir comment reconnaître l'entité du système. Il n'est donc pas possible de configurer différents algorithmes de reconnaissance.

Enfin, Martinez [13] travaille sur un modèle plus abouti sur ce sujet et répond d'ores et déjà à cette problématique de modularité. Cependant celui-ci demande toujours des compétences en développement informatique pour créer du contenu, ce dont ne disposent pas la plupart des experts en maintenance.

Ces travaux démontrent que dans le cadre de la maintenance industrielle, La RA permet d'améliorer la qualité et de partager l'expertise de manière visuelle auprès des opérateurs de maintenance. Cependant, la création d'un tel contenu nécessite encore de forte compétence en développement informatique. D'après cette analyse et dans la continuité des travaux de [14] [15], nous avons dégagé la problématique suivante :

Comment permettre à un expert en maintenance de créer/éditer du contenu pour une procédure de maintenance en réalité augmentée et cela de façon simple, réutilisable et sans connaissance en développement informatique?

Il sera alors possible à l'expert de créer une procédure de maintenance sans toujours devoir passer par un développeur et ainsi éviter un long processus de développement à chaque nouvelle maintenance. Et ainsi de rendre cette technologie plus accessible et contribuer à son transfert vers l'industrie.

2 LE MODELE PROPOSE

Tout d'abord, il faut définir les deux principaux métiers dans le secteur de la maintenance industrielle :

- **L'expert en maintenance** qui connaît le système et sait le faire fonctionner. Il va préparer les procédures, indiquer les étapes à suivre, les outils à utiliser.
- **L'opérateur** qui va exécuter la maintenance, en respectant la procédure mise en place par l'expert.

Nous avons tout d'abord modélisé à l'aide du standard « Business Process Modeling Notation » le workflow permettant de produire une procédure en RA pour un système industriel. Ce workflow prend en compte les différents métiers intervenants dans ce processus (Figure 1). Le point de départ est une prise de décision stratégique de la direction de l'entreprise qui choisit de passer leurs maintenances en RA.

Le modèle proposé suppose que des modèles 3D/CAO soient disponibles : soit directement par le fournisseur de la machine à maintenir, soit par le service design qui scanne la pièce ou crée la version 3D de celle-ci (Figure 1 – Serv design). Ensuite, le département IT crée une bibliothèque d'actions en accord avec la demande de l'expert en maintenance (Figure 1 – Serv. IT). Ainsi, les actions sont adaptées au métier et seront réutilisables pour toutes les maintenances. C'est pourquoi toutes ces actions de base viennent alimenter la bibliothèque d'actions RA. Ainsi, l'expert en maintenance est autonome pour créer chaque maintenance en utilisant l'outil auteur basé sur le modèle proposé (Figure 1 – Maintenance expert). Enfin, l'opérateur récupère les maintenances créées par l'expert et les joue sur le lecteur de RA respectant le modèle proposé (Figure 1 – Maintenance opérateur).

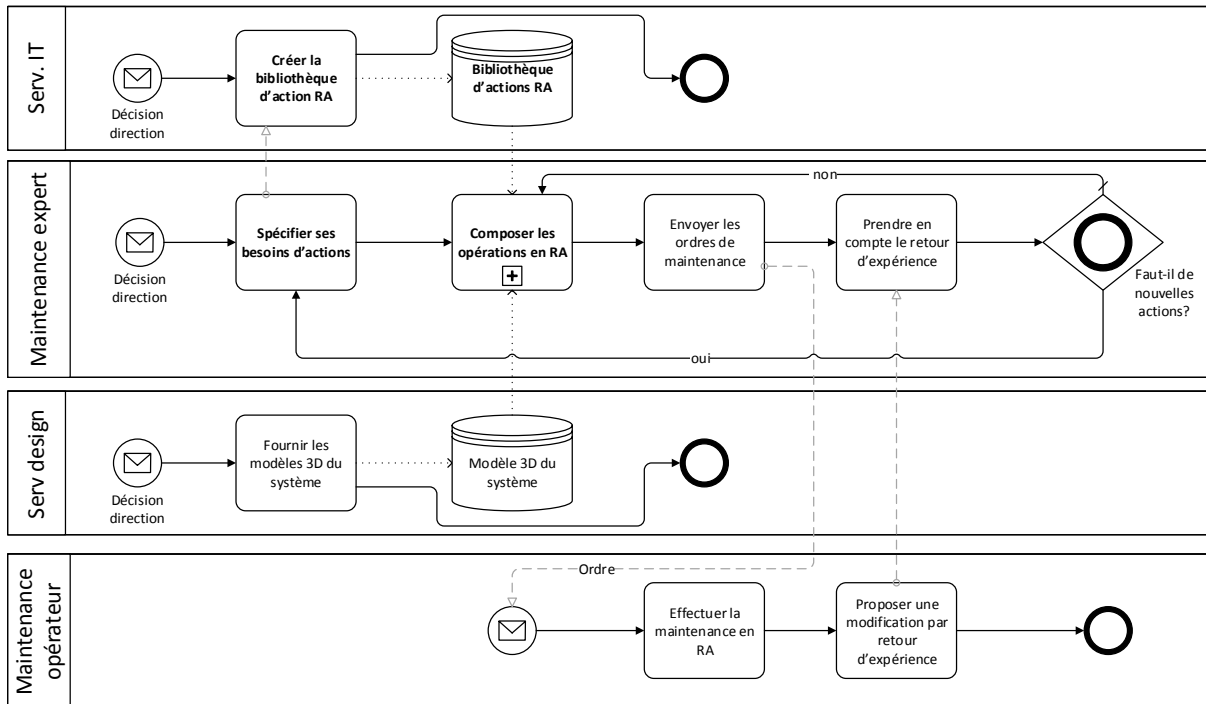


Figure 1 : Workflow de la conception à la création d'une procédure de maintenance en réalité augmentée

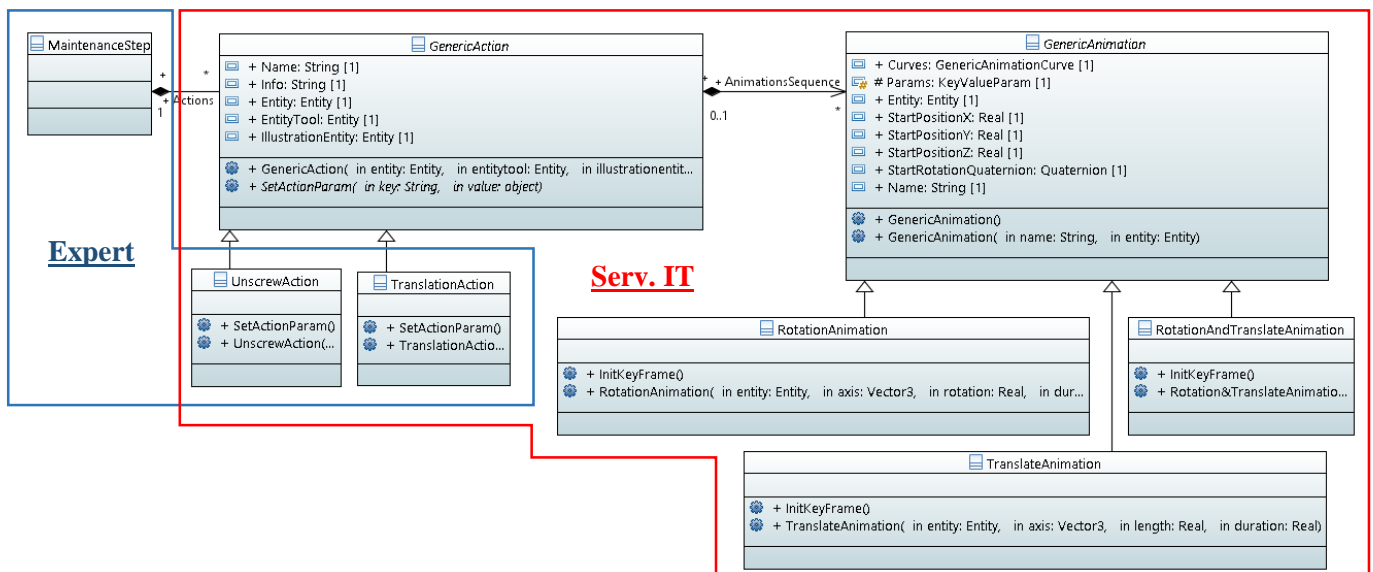


Figure 2: Modélisation UML d'une étape de maintenance en RA.

Ce workflow BPMN a permis de séparer notre modèle UML en deux parties, avec d'un côté l'éditeur de contenu (Figure 2 - UncrewAction et TranslationAction) et de l'autre le lecteur (Figure 3). Les deux parties peuvent communiquer entre elles par un fichier d'export respectant le modèle proposé.

Au niveau de la conception du modèle UML, nous avons défini que chaque étape d'une maintenance contenait une ou plusieurs actions, se jouant les unes après les autres (Figure 2 - GenericAction).

Chaque action se compose de plusieurs animations jouées en même temps (et/ou les unes à la suite des autres). Par exemple, une action « UncrewAction » est composée de 3 animations. La première est l'animation « RotationAndTranslateAnimation », qui agit sur l'entité du système (Figure 1 - Entity), la seconde est aussi l'animation « RotationAndTranslateAnimation » représentant l'outil permettant d'agir sur l'entité du système (Figure 1 - EntityTool). Enfin la dernière animation est

l'animation TranslateAnimation permettant d'afficher une information indiquant le nom de l'outil à utiliser (Figure 1 - IllustrationEntity). Ce sont ces actions paramétrables qui sont définies entre l'expert et le Serv. IT. Ces actions viennent alimenter la bibliothèque d'actions RA. L'expert n'a plus qu'à utiliser ces actions pour composer les opérations de maintenance.

Une animation, quant à elle, représente le plus petit élément, c'est un mouvement passant par plusieurs points clés en un temps défini. Notre modèle inclut ainsi 3 animations de bases : RotationAnimation, TranslationAnimation et RotationAndTranslateAnimation. Ces animations sont paramétrables. Il est ainsi possible de créer une action en manipulant et paramétrant ces 3 animations. L'intérêt de ce modèle réside dans le fait qu'une action peut être utilisée sur toutes les entités du système. De plus la bibliothèque d'action RA peut évoluer en créant d'autres Animation et d'autres Actions en fonction des besoins métiers.

Ensuite, le modèle UML décrit le fonctionnement du lecteur de RA (Figure 3) permettant de jouer chaque animation au bon moment. Tout d'abord, une animation est un mouvement passant par plusieurs points clés en un temps défini. C'est-à-dire qu'une animation se crée en indiquant une série de points clés par lequel l'objet 3D doit passer. Dans cette logique, on retrouve dans notre modèle de lecteur qu'une animation est constitué de courbes d'animations (Figure 3 - GenericAnimationCurve) qui sont elles-mêmes constituées de points clés (Figure 3 – GenericKeyFrame).

Le modèle définit aussi que chaque action possède une séquence d'animations. Cela permet, entre autres, de gérer les animations devant être jouées en même temps ou à la suite lors d'une action.

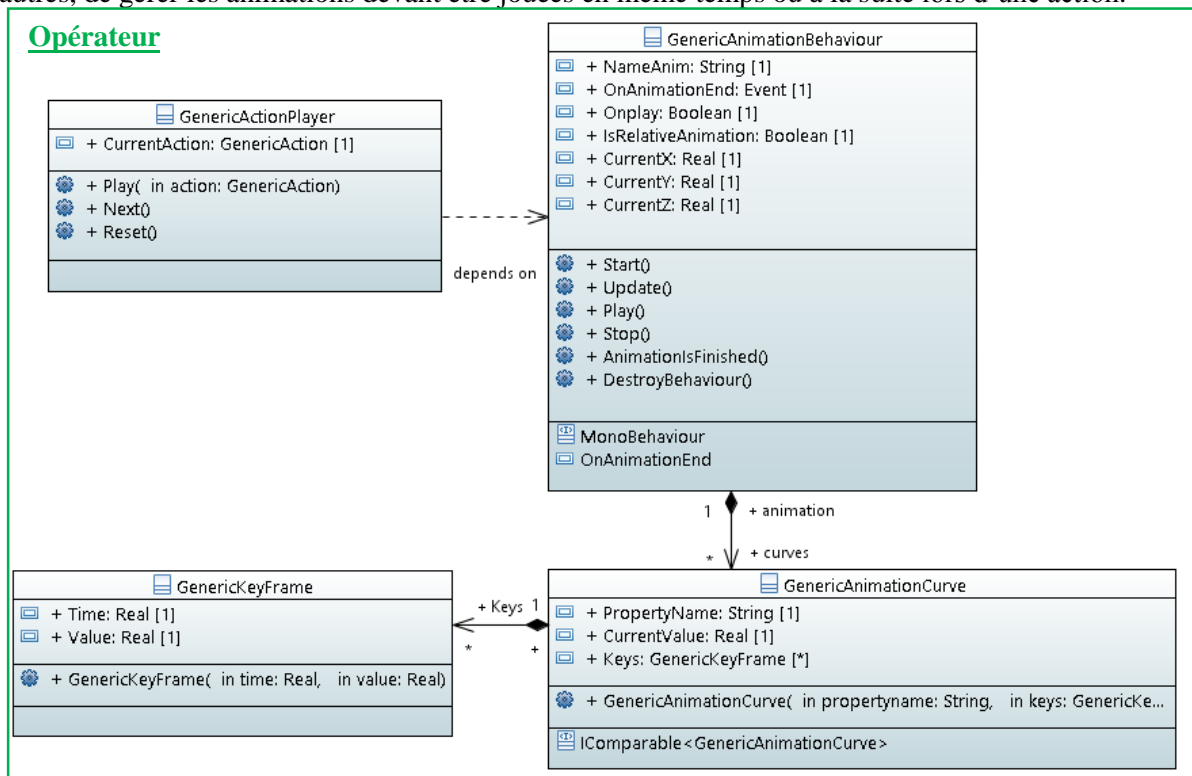


Figure 3: Modélisation UML du lecteur de maintenance en RA.

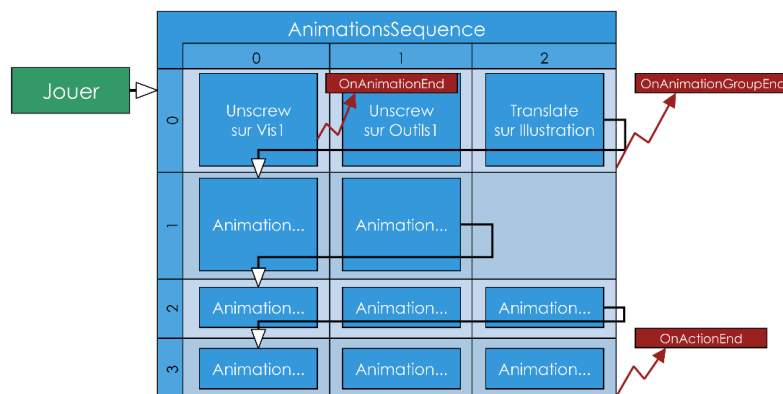


Figure 4: Déroulement d'une séquence d'animation

En effet, chaque action étant constituée de plusieurs d'animations, le lecteur doit permettre de jouer ces animations dans le bon ordre et au bon moment. Ainsi la séquence d'animation a été pensée sous la forme d'un tableau. Les animations sur la même ligne sont donc jouées en même temps puis la lecture se fait ensuite ligne par ligne. Le modèle d'AnimationsSequence fonctionne avec un pattern d'EventDispatcher. Par conséquent, il est possible de distinguer quand l'action a terminé de jouer une animation unique (Figure 4 - OnAnimationEnd), une série d'animations jouées en même temps (Figure 4 - OnAnimationGroupEnd), et lorsque l'action est entièrement terminée (Figure 4 - OnActionEnd),

3 CREATION DE CONTENU

Après avoir conçu notre modèle UML d'éditeur et de lecteur, nous avons donc développé l'application inhérente à celui-ci. Pour cela nous avons utilisé le logiciel Unity 3D avec le SDK de Vuforia. Une des améliorations effectuée par rapport au modèle et au prototype de maintenance, exposé par Havard [15], réside dans la création de contenu en se basant sur le modèle proposé. En effet le modèle ayant évolué, il est maintenant possible de créer une étape de maintenance simplement en utilisant les actions mise à disposition et en les paramétrant. Ainsi, nous avons réalisé une deuxième procédure de maintenance en RA plus complexes permettant le remplacement d'un ressort usagé sur un bloc perceuse d'une chaîne de production (Figure 5).



Figure 5: Façade chaîne de production



Figure 6: Processus de création d'une étape avec l'ancien modèle



Figure 7: Processus de création d'une étape avec le nouveau modèle

En comparant la procédure de création de contenu précédente et la nouvelle, il est possible de trouver un gain significatif. En effet, avec l'ancien modèle, la création d'une étape se déroulait comme dans la Figure 6 : il était nécessaire de renseigner les différentes informations relatives à l'étape, comme l'instruction écrite par exemple. Ensuite, l'expert devait placer les modèles 3D et créer les animations pour chaque entité du système. Or ces animations n'étaient pas réutilisables. Il fallait donc à chaque fois reproduire ces animations pour chaque étape.

Le nouveau processus permet la création d'actions et d'animations réutilisables, ce qui simplifie grandement la procédure de création (Figure 7). En effet, les deux premières étapes du processus sont similaires, mais la 3^{ème} étape nécessite uniquement du paramétrage d'action, comme par exemple définir la distance de translation de l'entité du système. Le paragraphe suivant présente la procédure de maintenance créée et la compare avec la méthode précédente.

4 RESULTATS

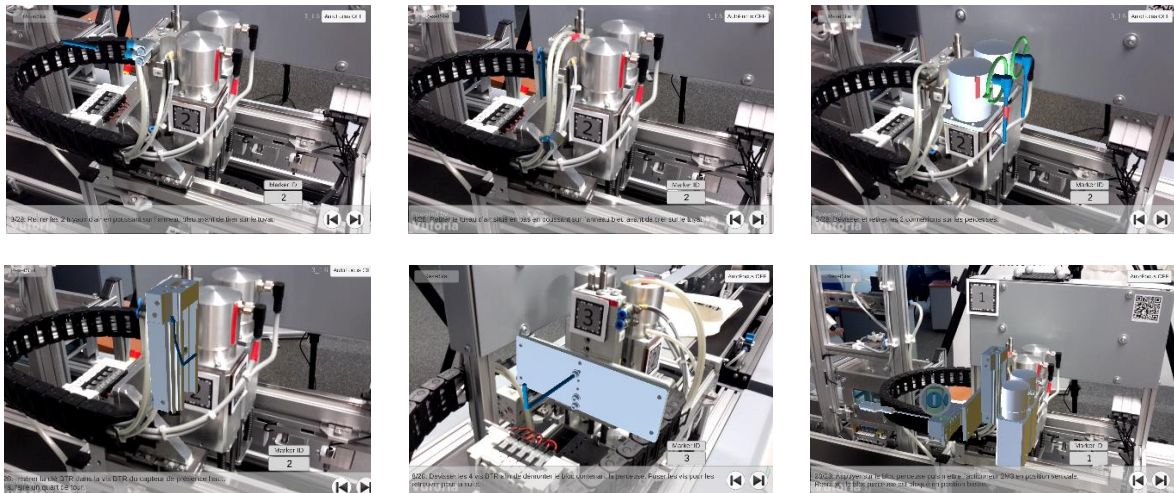


Figure 8 : Maintenance créée, basée sur le modèle UML

Le modèle défini précédemment, nous a permis de créer une application de maintenance sur le module perceuse de la chaîne de production (Figure 8). En comparant l'ancienne méthode de création et cette nouvelle méthode, nous apercevons que le gain est significatif. En effet, l'ancienne méthode, obligeant, un utilisateur à créer chaque animation et à les enchaîner correctement nécessitait 3 jours pour réaliser 5 étapes, soit 288 minutes par étape. Avec la nouvelle procédure basée sur le modèle UML présenté, il a été possible de créer les 28 étapes en 3 jours, soit 51 minutes par étape. Ce qui permet d'aller plus de 5 fois plus rapidement pour la création des étapes. Il sera cependant nécessaire d'évaluer ce gain de temps sur une cohorte d'utilisateurs plus grande, car ces résultats ne sont que préliminaires.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons proposé un modèle UML permettant de définir une bibliothèque d'actions RA basée sur une logique de métiers. L'expert peut alors créer du contenu de RA de manière autonome et sans compétence spécifique en développement informatique. En se basant sur ce modèle, nous avons produit une application de maintenance en RA de 28 étapes. Les résultats préliminaires montrent que le temps de création de contenu de procédure de maintenance en RA est diminué.

Actuellement le modèle est utilisable grâce à des lignes de script C# permettant de paramétrer les actions. Il est cependant nécessaire de développer un éditeur « user-friendly » permettant de paramétrer chaque action. Une fois cela effectué, les travaux futurs porteront sur une évaluation industrielle de la création de maintenance en RA en se basant sur le modèle et l'éditeur conçu.

REMERCIEMENTS

Ces travaux se déroulent dans le cadre du projet de mise en œuvre d'une plateforme de recherche et d'innovation en performance industrielle soutenu par le fonds FEDER et la Région Normandie.

REFERENCES

- [1] T. P. Caudell et D. W. Mizell, «Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes,» chez *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on*, 1992.
- [2] R. T. Azuma et others, «A survey of augmented reality,» *Presence*, vol. 6, n° 14, pp. 355-385, 1997.
- [3] J.-M. Cieutat, «Quelques applications de la réalité augmentée: Nouveaux modes de traitement de l'information et de la communication. Effets sur la perception, la cognition et l'action,» 2013.
- [4] S. Crowle, M. Boniface, B. Poussard et S. Asteriadis, «A Design and Evaluation Framework for a Tele-Immersive Mixed Reality Platform,» chez *Augmented and Virtual Reality*, Springer, 2014, pp. 151-158.

- [5] W. Friedrich, D. Jahn et L. Schmidt, «ARVIKA-Augmented Reality for Development, Production and Service.,» chez *ISMAR*, 2002.
- [6] S. Henderson et S. Feiner, «Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair,» *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 17, n° % 110, pp. 1355-1368, 2011.
- [7] S. Bottecchia, «Système TAC: Télé-Assistance Collaborative. Réalité augmentée et NTIC au service des opérateurs et des experts dans le cadre d'une tâche de maintenance industrielle supervisée.,» 2010.
- [8] T. Yang, «Effects of display position on guided repair and maintenance assisted by head-mounted display (HMD),» 2015.
- [9] OGC, *ARML 2.0 SWG*, 2015.
- [10] J. Y. Lee et G. Rhee, «Context-aware 3D visualization and collaboration services for ubiquitous cars using augmented reality,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 37, n° % 15-6, pp. 431-442, 2008.
- [11] C.-J. Su, P.-T. Liu, Y.-C. Lin et others, «Automatic generation of Augmented Reality enabled pedagogical system using Object-Oriented Analysis and Design in Process Modeling,» *Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, 2012.
- [12] J. Zhu, S. Ong et A. Nee, «An authorable context-aware augmented reality system to assist the maintenance technicians,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 66, n° % 19-12, pp. 1699-1714, 2013.
- [13] H. Martínez, S. Laukkanen et J. Mattila, «A New Flexible Augmented Reality Platform for Development of Maintenance and Educational Applications,» *Journal ISSN: pending*, vol. 2, n° % 11, 2014.
- [14] D. Boulc'h, V. Havard, D. Baudry, A. Louis et B. Mazari, «La réalité augmentée appliquée à la maintenance,» chez *CONFERE*, 2015.
- [15] V. Havard, D. Baudry, X. Savatier, B. Jeanne, A. Louis et B. Mazari, «Augmented Industrial Maintenance (AIM): a case study for evaluating and comparing with paper and video media supports,» chez *IEEE Virtual Reality 2016, June 15-18. Proceedings., IEEE*, 2016.

CONTACT PRINCIPAL

Vincent HAVARD

Cesi Rouen

1 Rue Guglielmo Marconi 76130 Mont St Aignan

vhavard@cesi.fr