



T.A.C: Système de réalité augmentée pour la Télé-Assistance Collaborative dans le domaine de la maintenance

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel

► To cite this version:

Sébastien Bottecchia, Jean-Marc Cieutat, Jean-Pierre Jessel. T.A.C: Système de réalité augmentée pour la Télé-Assistance Collaborative dans le domaine de la maintenance. Association Française de Réalité Virtuelle, Oct 2008, Bordeaux, France. pp.133, 2008. <hal-00431807>

HAL Id: hal-00431807

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00431807>

Submitted on 13 Nov 2009

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.

T.A.C: Système de réalité augmentée pour la Télé-Assistance Collaborative dans le domaine de la maintenance .

Sébastien Bottecchia*
ESTIA-LIPSI-IRIT

Jean-Marc Cieutat†
ESTIA-LIPSI

Jean-Pierre Jessel‡
IRIT

RÉSUMÉ

Nous présentons dans ce papier le système T.A.C dont le but est d'allier collaboration à distance et maintenance industrielle. T.A.C permet de "simuler" à distance la coprésence des interlocuteurs dans le cadre d'une tâche de maintenance supervisée, et cela grâce à la réalité augmentée (RA) et à la communication audio-vidéo. Pour soutenir une telle coopération, nous proposons un moyen simple d'interagir à travers notre paradigme P.O.A et les lunettes de RA spécialement développée pour l'occasion. Manipulation d'éléments 3D pour reproduire le geste et outil complémentaire de la gestion de connaissance (e-portfolio, feed back...) en font également une solution en réponse aux nouveaux besoins de l'industrie. Nos tests préliminaires nous encouragent quant à la viabilité d'un tel système.

Mots Clés: Télé-Assistance ; Collaboration ; Réalité Augmentée ; Maintenance

1 INTRODUCTION

On assiste ces dernières années une attente forte du monde industriel à intégrer de nouveaux outils d'assistance technologique à travers la réalité augmentée. Ce besoin exprime les difficultés rencontrées par les techniciens en maintenance actuellement confrontés à la grande variété de systèmes mécaniques/électroniques de plus en plus complexes et au renouvellement des gammes de plus en plus rapide.

La compression des durées de formations et la multiplicité des procédures de maintenance favorisent l'apparition de nouvelles contraintes liées à l'activité des opérateurs. On peut citer par exemple le manque de "visibilité" du système à maintenir et l'incertitude des opérations à réaliser. Ces constatations tendent à obliger les mécaniciens à se former "sur le tas", ce qui peut à terme impliquer un accroissement des erreurs de procédures et par ce biais augmenter les coûts de maintenance et engendrer des pertes de temps considérables.

Dans ce contexte mondial fortement concurrentiel, la demande des industriels à augmenter l'efficacité des tâches du support technique et de maintenance passe par l'intégration de nouvelles technologies de communication. En effet, lorsqu'un opérateur travaillant seul a besoin d'aide, il n'est pas forcément évident de trouver la personne à travers le monde avec le niveau de compétence et de connaissance qui puisse l'assister. Grâce à l'explosion des débits de communication et du World Wide Web, la téléassistance temps réel devient accessible. Cette collaboration entre un expert et un opérateur engendre de multiples bénéfices comme le contrôle qualité ou le retour d'information. Encore faut-il avoir un système permettant de supporter des interactions à distance. Avec la RA, nous pouvons désormais envisager un système de collaboration à distance permettant à l'expert d'être virtuellement coprésent avec

l'opérateur. En permettant à l'expert de voir ce que voit l'opérateur, il peut en temps réel interagir avec lui via un paradigme d'interaction adéquat.

2 R.A POUR LA MAINTENANCE ET LA TÉLÉASSISTANCE

Nous allons premièrement faire un tour d'horizon des systèmes existants et nous apercevoir qu'il en existe deux grands types assez cloisonnés. Nous étudierons en suite les aspects essentiels qui nous conduisent à construire notre solution.

2.1 Les systèmes actuels

Parmi les systèmes de RA dévolus à l'assistance des tâches de maintenance, le prototype KARMA [8] est certainement le plus connu, car à l'origine d'un tel concept dès 1993. Cet outil avait pour but le guidage d'un opérateur dans la réalisation de tâches de maintenance sur des imprimantes laser. Ont suivi plus tard d'autres systèmes comme en 1998 ceux de l'Institut Fraunhofer et Boeing. Le premier [20] avait pour objectif d'apprendre des gestes spécifiques à un ouvrier afin d'insérer correctement un verrou de portière automobile, le second [18] d'aider au montage des câbles électriques dans les avions. Après ces systèmes, l'industrie s'est intéressée de plus près à l'insertion de ces dispositifs de RA dans leur activité. On voit alors naître des projets plus importants comme ARVIKA [1], Starmate [22] ou plus récemment ARMA [7]. Encore plus récemment, Platonov [19] présente à notre sens un système complet et fonctionnel destiné à la réparation dans le secteur automobile. Ce système se démarque des autres de par le fait qu'il propose une technique efficace permettant de se passer de marqueurs visuels.

Tous ont pour vocation d'accompagner un opérateur dans l'accomplissement de sa tâche en fournissant de l'information contextualisée (visuelle ou sonore) et en temps réel. Ces deux conditions réduiraient les risques d'erreur d'exécution d'après les travaux de Neumann [18].

Autre point commun, c'est l'accent mis sur la transparence dans l'interaction avec la machine. Il s'agit effectivement d'un point clé de la RA dans ce domaine. L'utilisateur doit pouvoir porter son attention sur la tâche à réaliser et non sur l'utilisation de l'outil lui-même, d'où les différentes stratégies de chaque projet dans l'élaboration des prototypes. Aussi, le choix du dispositif d'affichage est important, car l'objectif peut être de pouvoir minimiser le recours aux supports classiques (papier) et laisser ainsi les mains de l'opérateur libres [24]. Cependant, certaines études contradictoires [25][10] ne permettent pas de conclure quant à l'efficacité de la RA face au support type papier.

Enfin, tous ces systèmes sont particulièrement pertinents lorsque les tâches sont régies par des règles attribuant une action à une situation précise, c'est-à-dire dans le cadre d'une procédure opérationnelle standard. On parle alors de connaissance explicite. L'accès à cette connaissance n'est pas forcément suffisant pour savoir comment l'utiliser. Ce savoir, dit tacite (ou implicite), appartient au domaine de l'expérience, des aptitudes ou du savoir-faire. Ce type de connaissance est personnel et difficile à traduire en termes de représentation.

Ainsi, les systèmes actuels de RA pour la maintenance sont impuissants lorsque survient une situation imprévue. Il est alors par-

*e-mail: s.bottecchia@estia.fr

†e-mail: j.cieutat@estia.fr

‡e-mail: jessel@irit.fr

fois nécessaire d'avoir recours à personne distante ayant le niveau de qualification requis.

Ce n'est que très récemment que les systèmes supportant le travail collaboratif à distance pour la maintenance industrielle sont apparus. Toutefois, l'accent est davantage porté sur l'aspect collaboratif que sur la maintenance. Dans [26], Zhong présente un prototype qui permet à un opérateur, équipé d'un dispositif d'affichage de RA, de pouvoir "partager" sa vue avec un expert à distance. L'opérateur peut manipuler des objets virtuels pour s'entraîner à une tâche qui est supervisée par un expert. Cependant, l'expert ne peut que donner des indications audio pour guider l'opérateur. En ce qui concerne [21], Sakata propose à l'expert de pouvoir interagir à distance dans l'espace physique de l'opérateur. Cet opérateur est équipé d'une caméra surmontée d'un dispositif de pointage laser, le tout motorisé et téléguidé à distance par l'expert. Celui-ci peut donc voir l'espace de travail de l'opérateur à sa guise et pointer un objet d'intérêt grâce au laser. L'interaction ici est donc limitée qu'à la possibilité de désignation (en plus des capacités audio). Il existe d'autres systèmes comme [6] qui permettent à l'expert de donner des indications visuelles à l'opérateur équipé d'un dispositif d'affichage de RA surmonté d'une caméra. Ce que voit la caméra est envoyé à l'expert, celui-ci peut "capturer" une image du flux vidéo, ajouter des annotations puis renvoyer l'image ainsi enrichie sur le dispositif d'affichage de l'opérateur. Ici, l'expert a donc la possibilité d'enrichir des images du réel pour assurer une meilleure compréhension de l'action à accomplir envers l'opérateur.

2.2 Motivations/Problématique

Nous avons pu constater dans le paragraphe précédent que les systèmes existants sont soit très orientés vers la maintenance avec un opérateur seul face à son dispositif, soit orientés vers la collaboration avec des possibilités ne permettant pas forcément d'apporter une assistance directe de la tâche à accomplir.

Nos travaux s'axent donc sur la possibilité d'avoir un système de collaboration à distance permettant d'interagir de façon aussi efficace et naturelle qu'en situation de coprésence, tout en profitant des possibilités offertes par la RA dans la maintenance. Même si dans [14], Kraut nous montre qu'une tâche peut être réalisée plus efficacement quand l'expert est physiquement présent, son étude montre également qu'une aide à distance apporte de meilleurs résultats que de travailler seul, ce que confirme Siegel dans [23]. D'autres études comme [15] montrent même qu'une tâche peut être exécutée plus rapidement et contenir moins d'erreurs avec une assistance que seul avec un manuel. Toutefois, les mécanismes de communications et le contexte jouent un rôle important lorsque deux interlocuteurs visent à atteindre un même but :

- ils partagent le même espace visuel. Dans la collaboration à distance, l'expert n'a pas forcément de relation spatiale avec les objets [14]. Celui-ci doit donc pouvoir disposer d'un espace visuel périphérique afin de faciliter la prise de conscience de la situation. Ceci aura un effet direct sur la coordination avec les actions de l'opérateur, et de connaître en permanence le statut des travaux [9]. Le manque de vision périphérique dans la collaboration à distance fait donc perdre l'efficacité de la communication dans l'accomplissement d'une tâche [11].
- ils ont la possibilité d'utiliser des références ostensives, c'est-à-dire des Deixis ("ça!", "là!") associés à des gestes de désignation. De nombreuses recherches comme dans [14] [4] suggèrent l'importance de la désignation d'objet dans un travail collaboratif ou non. Ce type d'interaction est directement en rapport avec la notion d'espace visuel partagé cité ci-dessus.

Ces caractéristiques offertes par une relation de collaboration en coprésence sont symétriques [2], c'est-à-dire que les interlocuteurs ont les mêmes possibilités. Au contraire, les systèmes de collaboration à distance introduisent des asymétries dans la communication. Billinghurst [3] fait ressortir trois principales asymétries qui peuvent empêcher la collaboration :

- l'asymétrie d'implémentation : les propriétés physiques du matériel ne sont pas identiques (ex : différentes résolutions dans les modes d'affichages)
- l'asymétrie fonctionnelle : un déséquilibre dans les fonctions (ex : une personne a la vidéo, l'autre pas)
- l'asymétrie sociale : les capacités de communication entre les personnes sont différentes (ex : seulement une personne voit le visage de l'autre)

En fait, la collaboration à distance entre un opérateur et un expert doit être considérée d'un point de vue du rôle de chaque intervenant, donc introduisant nécessairement des asymétries, par exemple du fait que l'opérateur n'a pas besoin de voir ce que voit l'expert. Cependant, Legardeur [16] montre que le processus de collaboration est imprévisible et indéterminé, ce qui implique que l'expert puisse avoir à sa disposition des possibilités d'interactions apparentées à celles de l'opérateur et à celles qui lui sont disponibles dans le réel. On pense notamment à la désignation ou à la capacité de pouvoir mimer des actions. Enfin, l'élément sous-jacent à la collaboration dans le cadre de la téléassistance est la notion de synchronisme. Une collaboration peut être soit synchrone, soit asynchrone. On comprend alors tout l'intérêt d'une méthode d'interaction en temps réel entre les interlocuteurs.

3 LE SYSTÈME T.A.C

3.1 Principe

Pour proposer une solution permettant d'allier collaboration à distance et maintenance grâce à la réalité augmentée, nous avons retenu deux aspects fondamentaux :

- Le mode d'interaction entre les interlocuteurs ; c'est la façon qu'aura l'expert de pouvoir "simuler" sa présence au côté de l'opérateur.
- L'espace visuel partagé ; il s'agit de pouvoir rendre compte à l'expert de l'environnement de l'opérateur ET la façon que l'opérateur a de visualiser les informations de l'expert.

De par ces aspects, nous sous-entendons également que notre système puisse supporter une collaboration synchrone entre les intervenants.

Pour mettre en œuvre cela, nous proposons le principe d'utilisation suivant (figure 1) ; l'opérateur est équipé d'un dispositif particulier d'affichage de RA. De par sa conception, celui-ci permet de capturer un flux vidéo de ce que voit exactement l'œil du porteur (flux A) et un flux vidéo grand angle (flux B). Parmi les deux flux que recevra l'expert, il aura la possibilité d'augmenter le flux A grâce à notre paradigme d'interaction (voir paragraphe 3.3). Les augmentations sont alors envoyées en temps réel sur l'afficheur de RA de l'opérateur.

Ainsi nous allons voir plus en détail dans les paragraphes suivants le paradigme d'interaction que nous proposons puis le système de visualisation qui le supporte et enfin les autres fonctionnalités.

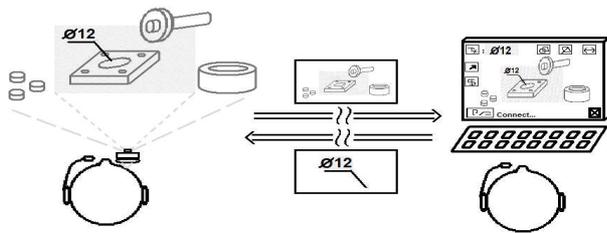


FIG. 1: Principe de fonctionnement du système T.A.C. La vue de l'opérateur est envoyée à l'expert qui l'augmente en temps réel en cliquant simplement sur celle-ci.

3.2 Percevoir l'environnement

Pour chaque système de RA développé, il convient de choisir son type d'affichage de façon spécifique. Dans le cadre de la maintenance, il faut donc tenir compte des contraintes qu'impose le travail de l'opérateur. En effet, la multiplicité des différents aspects de l'utilisation d'un système de RA en condition de travail lié à une activité manuelle pose des problèmes. Qui plus est, il faut tenir compte du rendu de la situation à l'expert. Celui-ci doit effectivement appréhender l'environnement de l'opérateur comme s'il était en situation de co-présence. Dans [5], nous avons présenté notre système de visualisation que porte l'opérateur et qui est en charge de fournir la vision exacte d'une partie de ce qu'il voit à l'expert. Cet HMD particulier, nommé MOVST (Monocular Orthoscopic Video See-Through) répondait aux critères de notre application. Le premier de ces critères était que l'opérateur devait pouvoir appréhender facilement son environnement, donc ne pas être en immersion et maintenir un champ visuel le plus naturel possible, c'est-à-dire avoir l'impression de voir ce qu'il aurait du voir à l'œil nu (e.g orthoscopique). Ensuite, afin de ne pas surcharger son champ visuel d'éléments virtuels, le choix d'un système monoculaire apporte l'avantage de ne pouvoir augmenter qu'une partie de celui-ci. Enfin, le principe du "Video See-Through (VST)" a été retenu pour deux raisons ; la première est que pour avoir un système orthoscopique, un VST est plus facile à mettre en œuvre pour acquérir le point de vue du porteur. La seconde est que l'on peut basculer soit en affichage orthoscopique, soit en affichage classique (figure 2). Tout l'intérêt de l'affichage classique réside dans le fait que l'on puisse l'utiliser comme n'importe quel écran. On peut ainsi présenter des vidéos, des plans techniques...

Cette information dite classique reste indispensable à fournir car elle caractérise la "visibilité" du système à maintenir dans sa globalité. Mayes dans [17] distingue entre autres l'importance pour l'utilisateur de conceptualiser la tâche grâce à ce type d'information. Toutefois, le précédent modèle de notre MOVST ne permettait à l'expert que de voir la partie "augmentable" du champ visuel de l'opérateur, soit environ 30°. Afin de tenir compte du manque de vision périphérique comme évoqué en 2.2, l'ajout d'une seconde caméra grand angle sur le MOVST permet de remédier au problème (figure 3).

Du côté de l'interface de l'expert (figure 4), cela se traduit par une vidéo panoramique de la scène dans laquelle est incrustée la vidéo orthoscopique (principe PiP ou Picture in Picture).

3.3 Le paradigme d'interaction P.O.A

Dans [5], nous avons présenté un nouveau paradigme d'interaction basé sur les capacités d'une personne à en assister une autre dans sa tâche. Généralement, en situation de co-présence, l'expert montre comment réaliser la tâche avant que l'opérateur essaie de le faire à son tour (apprentissage par l'expérience). Pour cela, il ne divulgue pas uniquement ces informations de manière orale comme on pourrait les trouver dans les manuels, mais il fait usage

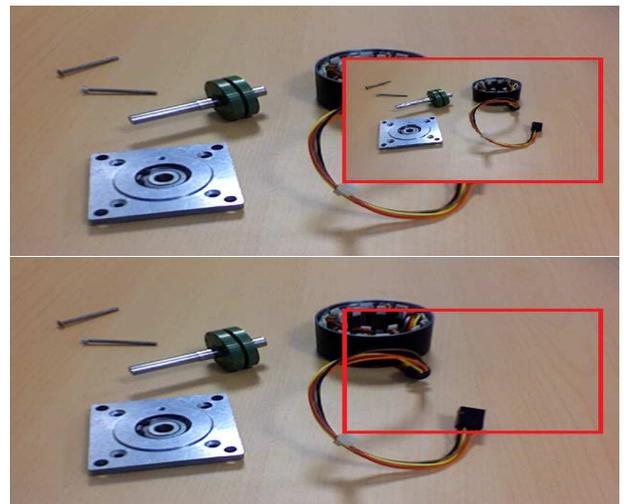


FIG. 2: Simulation du champ visuel de l'opérateur portant notre MOVST. En haut un affichage classique (intérieur du rectangle rouge). En bas un affichage orthoscopique.



FIG. 3: Prototypé de nos lunettes de RA nommée MOVST.

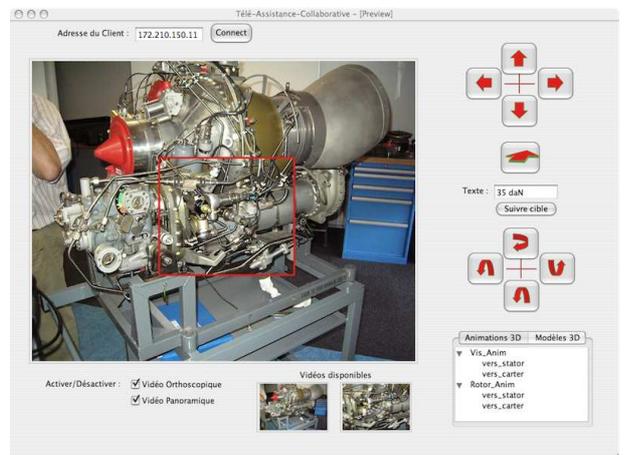


FIG. 4: Interface de l'expert. La vue orthoscopique (intérieur du rectangle rouge) est placée dans la vue panoramique.

plus naturellement de références ostensives (étant donné que lui et l'opérateur ont conscience du contexte). Notre paradigme P.O.A (Picking Outlining Adding) s'inspire de cela en se basant sur trois points :

- "Picking" ; le moyen le plus simple de désigner un objet.

- "Outlining"; la façon de maintenir l'attention sur l'objet de la discussion tout en ayant la possibilité de donner des informations adéquates sur celui-ci.
- "Adding"; ou comment illustrer des actions habituellement exprimées par les gestes.

Afin d'implémenter ces principes, nous proposons d'effectuer de simple clic directement dans le flux vidéo reçu de l'opérateur.

Le premier mode, nommé "Picking", permet donc la désignation rapide d'un élément constituant une scène de travail. Il s'agit de l'équivalent du geste "monter du doigt". La représentation visuelle peut être modélisée de différentes façons comme de simples éléments iconographiques (cercles, flèches...). Ainsi l'expert, par un simple clic de souris sur l'élément d'intérêt de la vidéo, permet à l'opérateur de voir l'augmentation associée (figure 5). Il dispose alors d'un moyen efficace lui permettant de simuler à distance un acte de co-présence pour de façon plus habituelle s'exprimer ainsi : "prend cet objet et...".

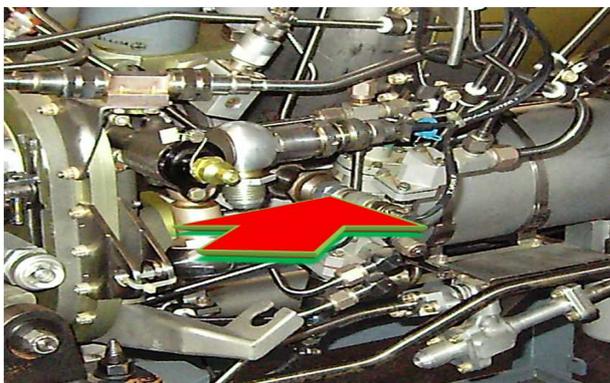


FIG. 5: Vue augmentée de l'opérateur après une opération de "Picking". Ici on comprend clairement l'utilité de pouvoir discriminer l'élément important en le montrant plutôt qu'en le décrivant.

Le second mode, nommé "Outlining", reprend l'idée qui consiste à vouloir esquisser avec les mains des éléments de la scène pour les mettre en avant. On effectue alors des gestes soutenant le discours. Les principes de la RA font que nous avons la possibilité de retranscrire cela visuellement pour l'opérateur. La mise en valeur des éléments de la scène qui doivent requérir l'attention de l'opérateur le sera en détournant soit les contours ou la silhouette desdits objets (figure 6).

Côté expert, cela se traduit par le fait de cliquer sur les parties intéressantes dont la modélisation 3D est connue par le système. La possibilité nous est alors offerte de pouvoir rajouter des annotations caractéristiques (ex. : température d'une pièce, diamètre d'un perçage).

Le dernier mode, nommé "Adding", substitue le fait de pouvoir mimer une action en utilisant des animations 3D adéquates. L'expert dispose d'un catalogue d'animations directement en rapport avec le système à maintenir. Suivant l'avancement de la tâche et le besoin, il peut alors sélectionner l'animation désirée et pointer l'élément auquel elle se rapporte. Par exemple (figure 7), l'élément virtuel vient directement se placer là où il doit être.

3.4 Autres fonctionnalités

D'un point de vue interaction fournie par le système pour soutenir la collaboration, l'interaction P.O.A peut être complétée par la capacité de manipuler des éléments virtuels par l'expert. L'"Adding" permet d'illustrer les actions exprimées par les gestes via des animations, mais cela a un sens uniquement dans le cadre d'un

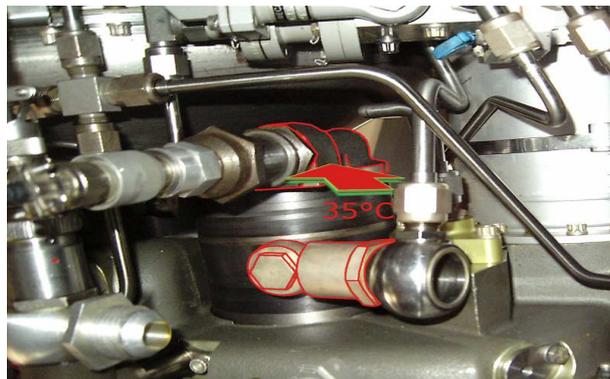


FIG. 6: Vue augmentée de l'opérateur après un "Outlining". L'expert a sélectionné les éléments d'intérêt et indiqué la température d'un objet.



FIG. 7: Vue augmentée de l'opérateur après un "Adding". L'expert montre par une animation virtuelle 3D calée sur l'élément réel le montage final.

processus formel et donc modélisé. Il en va différemment quand la situation devient imprévue. Pour cela, nous sommes en train de profiter du formidable essor des centrales inertielle miniaturisées. Le principe d'utilisation se base alors sur la manipulation de cet interacteur associé à un élément virtuel 3D de l'interface expert. La position-orientation de la centrale est alors retranscrite sur l'élément 3D. L'opérateur voit ainsi la pièce virtuelle manipulée comme si l'expert avait pu le faire avec la pièce réelle alors qu'il se sert d'une interface tangible. Toutefois se pose le problème que l'expert ne puisse manipuler en même temps les interacteurs 3D et le clavier pour promulguer des informations importantes. Pour supporter le transfert de connaissances implicites entre l'expert et l'opérateur, il est plus efficace d'ajouter un mode d'interaction homme-machine de type reconnaissance vocale des messages à transmettre, un mode type "speech to text".

Le système T.A.C, de par son principe de simuler la coprésence, nous permet de soutenir un outil en plein développement dans le monde du travail ; l'e-portfolio. Cet outil a pour vocation la gestion d'un cursus professionnel, la validation des acquis. En somme, il s'agit d'une base de données permettant la capitalisation des compétences d'une personne. Ainsi, le système T.A.C peut être vu sous l'angle d'un système monitoré offrant la possibilité d'enregistrer les images des différentes opérations effectuées en vue d'une e-qualification. Le travail et la qualification peuvent donc être combinés plus facilement.

Du côté de l'expert, l'enregistrement des images des différentes opérations effectuées est tout d'abord un dispositif de contrôle qua-

lité. Une tâche de maintenance étant qui plus est très formalisée dans l'industrie (suite d'opérations élémentaires), sa supervision en cas de problème grâce à la vue synoptique des opérations effectuées permet d'en analyser la cause. C'est aussi une capitalisation de retours d'expérience qui peut être utilisée pour la conception des produits futurs et celle de nouvelles procédures de maintenance.

4 PREMIERS RÉSULTATS

4.1 Tests préliminaires

Nous avons testé le système T.A.C à travers deux exemples pour vérifier son utilisation dans le cadre d'une assistance à distance. L'opérateur est une personne n'ayant pas de connaissance particulière dans le domaine de la maintenance mécanique. Dans le rôle de l'expert, une personne ayant été sensibilisée durant une journée de formation à l'entretien de turbomoteur d'hélicoptère. Le premier exemple ne constitue pas de réel problème. En effet, il s'agit simplement de pouvoir assembler dans un ordre préétabli par l'expert un moteur de commande électrique (A,B,C,D de la figure 8). Cet exemple simple a été choisi dans un premier temps, car la modélisation 3D et les animations associées ont été aisées à élaborer. A l'heure actuelle, l'implémentation de notre système est basée sur les bibliothèques ARToolKit [13] et OpenCV [12] en ce qui concerne la reconnaissance 3D.

Le deuxième exemple quant à lui concerne la mesure de l'usure des ailettes d'un turbomoteur d'hélicoptère (E,F,G de la figure 9). Cela nécessite d'utiliser un instrument particulier à insérer dans un endroit précis. La vérification des mesures est supervisée par l'expert (cette opération s'avère délicate pour les débutants).

4.2 Discussion

Durant les expérimentations, il est ressorti que notre système permettait une interaction facilitée et bien plus naturelle comparée aux systèmes fournissant des communications audio et vidéos traditionnelles. Les possibilités d'interactions synchrones de l'expert vis-à-vis de l'opérateur stimulent les échanges et offrent un fort sentiment de coprésence qui se traduit au final par plus d'efficacité. Cela est à imputer à la capacité de pouvoir agir sur des situations imprévues grâce au "Picking" et à l' "Outlining" et à des processus bien déterminés grâce à l' "Adding". La faisabilité technique joue grandement avec la montée en puissance des capacités de calculs des ordinateurs portables et à l'explosion des débits des réseaux de communication. Toutefois dans les conditions d'expérimentation, il est ressorti un meilleur sentiment de présence pour l'expert quand la vidéo offre une résolution d'au moins 640x480, ce qui n'a pas toujours été possible à cause de la limitation de la bande passante de notre réseau. Le plus souvent, nous avons été obligés suivant les périodes d'activités de la journée à présenter une résolution de 320x240, ce qui nous a permis de faire ainsi ressortir ce problème. Il faudrait donc actuellement s'orienter vers une solution de communication exclusive entre l'expert et l'opérateur. Il est ressorti également que l'expert aurait aimé pouvoir lui-même contrôler les objets virtuels supportés par l' "Adding" au lieu de simples animations. Nos travaux vont actuellement dans ce sens en s'inspirant des modes d'interaction de la réalité virtuelle. Enfin, l'opérateur a soumis le souhait de pouvoir contrôler lui-même la possibilité de basculer de l'affichage classique à l'affichage orthoscopique de son MOVST et plus généralement de pouvoir étendre ses possibilités de contrôle sur le système d'affichage.

5 CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce papier un système permettant à deux interlocuteurs distants de pouvoir collaborer en temps réel afin de mener à bien une tâche de maintenance mécanique. Ce système est basé sur notre paradigme d'interaction P.O.A permettant de simuler la coprésence de l'expert auprès d'un opérateur en situation

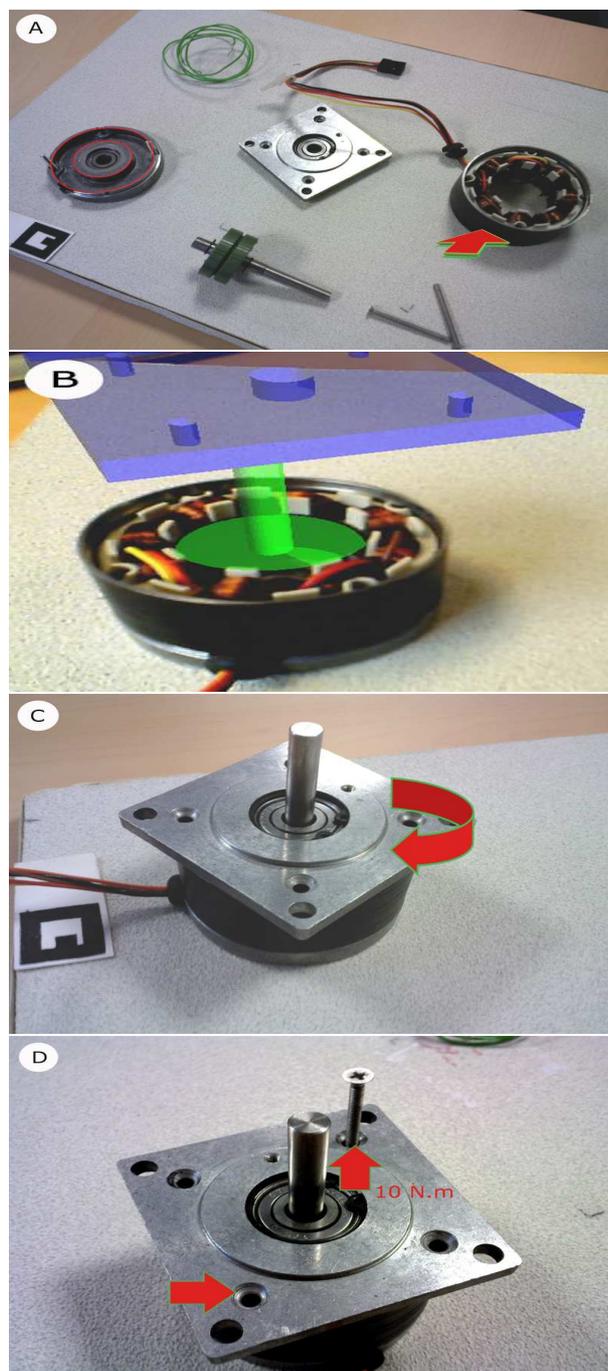


FIG. 8: Exemple de collaboration.

- A : "Prends ce stator et mets le sur le support en rouge".
- B : "Voilà comment viennent ensuite le rotor et le carter".
- C : "Tourne le carter dans ce sens jusqu'à entendre le clic".
- D : "Mets les vis ici et ici avec ce couple de serrage".

d'assistance. Ce prototype a été testé sur des cas simples, mais représentatifs de certaines tâches réelles de maintenance et il a montré qu'il pouvait supporter des processus d'interactions définis ou non. Cependant, nous devons étendre les moyens d'interactions entre les interlocuteurs et mener une étude plus approfondie sur les réels bénéfices d'un tel système.

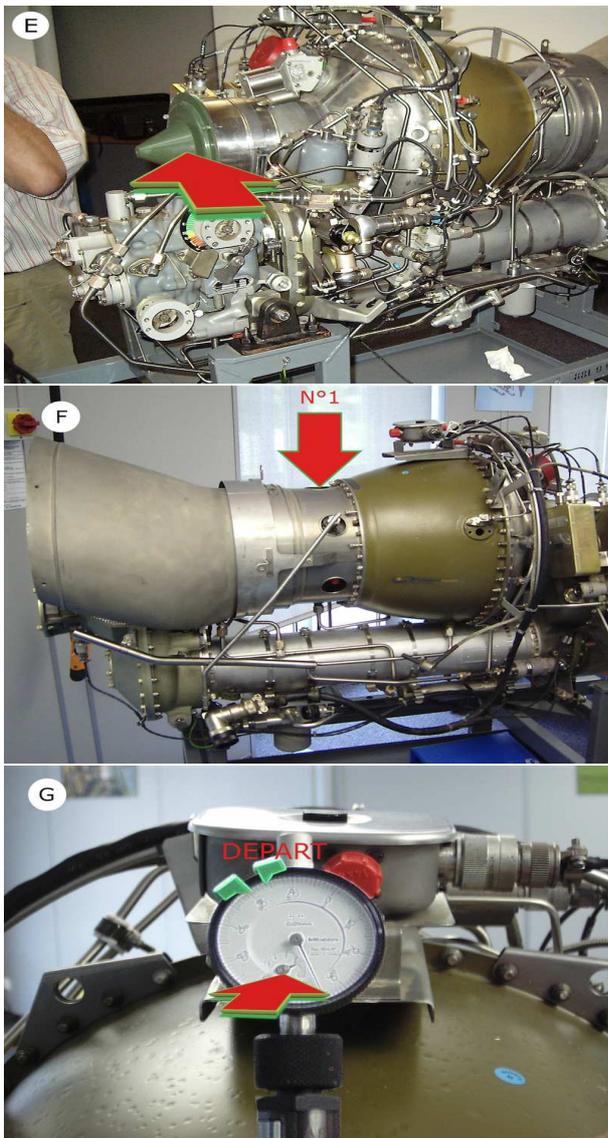


FIG. 9: Autre exemple d'assistance.

E : "Défais ce capuchon pour pouvoir tourner l'arbre ensuite".

F : "Mets l'instrument dans le trou n°1, ça doit être celui-là".

G : "Regarde ici, la petite aiguille indique 2 dixièmes, c'est bon".

ACKNOWLEDGEMENTS

Merci à la société LCI spécialiste en maintenance sur les turbomoteurs, à Christophe Merlo pour son aide sur la connaissance des processus collaboratifs et à Olivier Zéphir pour ses divers apports en psychologie cognitive.

RÉFÉRENCES

- [1] Arvika. Augmented reality for development, production, servicing. <http://www.arvika.de>, URL.
- [2] M. Bauer and T. Heiber. A collaborative wearable system with remote sensing. *ISWC '98 : Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers*, page 10, 1998.
- [3] M. Billinghurst and S. Bee. Asymmetries in collaborative wearable interfaces. *ISWC*, pages 133–140, 1999.
- [4] R. Bolt. 'put-that-there' : Voice and gesture at the graphics interface. *SIGGRAPH '80 : Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 262–270, 1980.
- [5] S. Bottecchia, J. Cieutat, and C. Merlo. A new ar interaction paradigm for collaborative teleassistance system : The p.o.a. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, A paraître, 2008.
- [6] P. Couedelo. Camka system. <http://www.camka.com>, URL.
- [7] J. Didier and D. Roussel. Amra : Augmented reality assistance in train maintenance tasks. *Workshop on Industrial Augmented Reality (ISMAR'05)*, October 5th 2005.
- [8] S. Feiner and B. Macintyre. Knowledge-based augmented reality. *Commun. ACM*, 36(7) :53–62, 1993.
- [9] S. Fussell and L. Setlock. Effects of head-mounted and scene-oriented video systems on remote collaboration on physical tasks. *CHI '03 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 513–520, 2003.
- [10] D. Haniff and C. Baber. User evaluation of augmented reality systems. *IV '03 : Proceedings of the Seventh International Conference on Information Visualization*, page 505, 2003.
- [11] C. Heath and P. Luff. Disembodied conduct : Communication through video in a multi-media office environment. *CHI 91 : Human Factors in Computing Systems Conference*, pages 99–103, 1991.
- [12] INTEL. Opencv. <http://sourceforge.net/projects/opencv/>, URL.
- [13] H. Kato and M. Billinghurst. Artoolkit. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>, URL.
- [14] R. Kraut and S. Fussell. Visual information as a conversational resource in collaborative physical tasks. *Human-Computer Interaction*, 18 :13–49, 2003.
- [15] R. Kraut and M. Miller. Collaboration in performance of physical tasks : effects on outcomes and communication. *CSCW '96 : Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 57–66, 1996.
- [16] J. Legardeur and C. Merlo. *Empirical Studies in Engineering Design and Health Institutions*, chapter Methods and Tools for Co-operative and Integrated Design, pages pp. 385–396. KLUWER Academic Publishers, 2004.
- [17] J. Mayes and C. Fowler. Learning technology and usability : a framework for understanding courseware. *Interacting with Computers*, 11 :485–497, 1999.
- [18] U. Neumann and A. Majoros. Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance. *VRAIS '98 : Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*, page 4, 1998.
- [19] J. Platonov and H. Heibel. A mobile markless ar system for maintenance and repair. *Mixed and Augmented Reality (ISMAR'06)*, pages 105–108, 2006.
- [20] D. Reiners and D. Stricker. Augmented reality for construction tasks : doorlock assembly. *IWAR '98 : Proceedings of the international workshop on Augmented reality : placing artificial objects in real scenes*, pages 31–46, 1999.
- [21] N. Sakata and T. Kurata. Visual assist with a laser pointer and wearable display for remote collaboration. *CollabTech06*, pages 66–71, 2006.
- [22] B. Schwald. Starmate : Using augmented reality technology for computer guided maintenance of complex mechanical elements. *eBusiness and eWork Conference (e2001)*, Venice, 2001.
- [23] J. Siegel and R. Kraut. An empirical study of collaborative wearable computer systems. *CHI '95 : Conference companion on Human factors in computing systems*, pages 312–313, 1995.
- [24] K. Ward and D. Novick. Hands-free documentation. *SIGDOC '03 : Proceedings of the 21st annual international conference on Documentation*, pages 147–154, 2003.
- [25] S. Wiedenmaier and O. Oehme. Augmented reality for assembly processes-design an experimental evaluation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16 :497–514, 2003.
- [26] X. Zhong and P. Boulanger. Collaborative augmented reality : A prototype for industrial training. *21th Biennial Symposium on Communication, Canada*, 2002.