



HAL
open science

Scénario pédagogique pour des opérations d’assemblage assistées par la Réalité Augmentée

Mina Ghobrial, Philippe Seitier, Michel Galaup, Pierre Lagarrigue, Patrick Gilles

► To cite this version:

Mina Ghobrial, Philippe Seitier, Michel Galaup, Pierre Lagarrigue, Patrick Gilles. Scénario pédagogique pour des opérations d’assemblage assistées par la Réalité Augmentée. S-MART 2023 : 18ème Colloque national S.mart, Arts et Métiers Paristech ENSAM Aix-en-Provence, Université de Toulon [UTLN], Apr 2023, Carry-le-Rouet, France. hal-04397916

HAL Id: hal-04397916

<https://hal.science/hal-04397916>

Submitted on 16 Jan 2024

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.

Scénario pédagogique pour des opérations d'assemblage assistées par la Réalité Augmentée

M. Ghobrial ^{a,*}, P. Seitier ^a, M. Galaup ^b, P. Lagarrigue ^b, P. Gilles ^a

^a Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 135 Av. de Ranguel, 31400 Toulouse, FRANCE

^b Institut National Universitaire Champollion, Pl. de Verdun, 81000 Albi, FRANCE

* e-mail : mina.ghobrial@insa-toulouse.fr

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Aujourd'hui, la concurrence oblige les entreprises à produire des pièces de plus en plus rapidement tout en exigeant des intervalles de tolérances de plus en plus strictes. Les impératifs de délais et de coûts ne permettent pas de lancer une présérie et d'apporter des corrections en fonction des défauts constatés. Afin d'améliorer la qualité tout en réduisant le temps d'usinage, les machines sont devenues de plus en plus complexes, entraînant ainsi une augmentation des coûts d'achat et de fonctionnement. En conséquence, la période d'apprentissage plus longue de l'opérateur sur ces machines, combinée à des taux horaires plus élevés, rend désormais la formation des opérateurs particulièrement coûteuse.

En addition, les entreprises de ce secteur concurrentiel subissent des problèmes de recrutement dus à la baisse du nombre d'étudiants dans les filières scientifiques et technologiques. En France, les formations en génie mécanique souffrent d'un problème d'attractivité alors que le secteur offre de bonnes opportunités d'emploi.

Afin de répondre à une véritable demande sociétale, il a paru urgent de faire évoluer les formations vers de nouveaux supports pédagogiques innovants et performants, compatibles avec le haut niveau de connaissances techniques requis dans le domaine.

Cet article représente un retour d'expérience sur le développement d'une méthode pédagogique innovante et il est la suite du travail présenté lors du 17^{ème} colloque national S.mart [1]; c'est également un travail préliminaire en début de thèse qui représente la prise en main de l'enchaînement scénario-expérimentation-analyse.

1.2. Terminologie

Selon Patel *et al.* [2], nous considérerons dans ce document que la Réalité Augmentée (RA), est un ajout d'objets virtuels sur le monde réel. La Réalité Virtuelle (RV) est une immersion complète dans un environnement artificiel créé à l'aide d'un ordinateur. Cet environnement est présenté et accepté par l'utilisateur comme un environnement réel. La RA et la RV sont souvent combinées pour atteindre des objectifs spécifiques. Dans le cadre de la thématique de recherche traitée, la solution déployée est une technique de Réalité Augmentée qui consiste à observer l'environnement d'assemblage via un écran; ce dernier affiche le flux vidéo augmenté d'une webcam qui porte sur l'espace d'assemblage.

Selon Tricot *et al.* [3], concernant un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH), l'utilité concerne l'efficacité pédagogique, l'utilisabilité désigne la possibilité de l'utiliser et l'acceptabilité est une valeur associée conjointement à utilité et l'utilisabilité et concerne la décision d'utiliser cet EIAH". Selon eux, "toute relation observée entre ces trois dimensions est interprétable logiquement selon un degré de précision nécessaire et suffisant à toute évaluation d'un EIAH".

1.3. Etat de l'art

Un grand nombre de travaux sur l'utilisation de la réalité virtuelle et augmentée en formation ont été menés. Ces travaux montrent que ces nouveaux outils permettent de créer des zones de développement focalisées sur les étudiants. Nikhitha *et al.* [4] insistent sur l'augmentation de la motivation chez les étudiants et Gandolfi [5] souligne que ces outils peuvent fournir une opportunité

significative d'immersion et joueront un rôle clé dans les futurs cadres éducatifs. Miltenoff [6] rappelle cependant que "Après l'impact de la "nouveau", seuls les programmes de RV et de RA méthodologiquement bien construits et pédagogiquement bien appliqués continueront à retenir l'attention des clients".

Aujourd'hui les Environnements Numériques pour l'Apprentissage (ENA) nous amènent à reconsidérer les modèles d'analyse des situations d'enseignement-apprentissage. La description des phénomènes didactiques propres aux ENA a conduit à observer des phénomènes numériques pour la compréhension des processus d'apprentissages mis en œuvre par les apprenants [7].

Parmi les outils proposés dans la littérature, aucun à notre connaissance ne permet de former des étudiants sur des postes d'assemblage. Dans cette étude, nous allons donc développer une preuve de concept (PoC) d'un outil permettant d'assister les étudiants dans la prise en main d'un poste d'assemblage de porte-stylos. Cet outil est composé d'un ordinateur fixe, d'un outillage connecté et d'un scénario pédagogique.

L'outil en question est construit à partir de situations professionnelles afin de répondre à l'évaluation des profils de compétences attendus [8]. Dans cette phase de test (PoC), nous nous sommes focalisés sur l'étude des modalités d'usage [3] de ce dispositif pour apporter des éléments de réponse aux problématiques fondamentales d'utilisation de la réalité augmentée. Ainsi, nous cherchons à savoir comment l'utilisateur s'approprie cette nouvelle manière d'agir et de percevoir dans cet espace de travail et comment il peut accomplir des tâches et des activités professionnelles ciblées [9].

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

2.1. Descriptif

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'utilisation de la réalité augmentée pour l'assemblage d'un produit et d'estimer les gains lors de la manipulation. Afin de quantifier la valeur ajoutée de l'outil, un questionnaire System Usability Scale (SUS) est utilisé, il est présenté §2- Le produit à assembler est un porte-stylo (Fig. 1-a). Le poste d'assemblage est muni d'un ordinateur fixe avec écran et d'une Webcam cadrée sur l'espace de travail (Fig. 1-b). Les outils utilisés lors de l'expérience sont un carrousel connecté facilitant la distribution des pièces, un étau de serrage et une clé de serrage (Fig. 1-c). Le carrousel est contrôlé par le logiciel de réalité augmentée ; à chaque étape du scénario qui nécessite une nouvelle pièce, le carrousel tourne et se positionne de sorte à dispenser à l'opérateur un bac rempli de la pièce concernée par l'étape du scénario. De manière concrète, ce carrousel est un plateau tournant sur lequel sont fixés les bacs contenant les pièces à assembler. Il est piloté par le logiciel AugmentedPro de chez Robocortex via un module Arduino. Des capteurs détectent sa position angulaire afin de permettre le pilotage.

Il est important de noter que le dispositif développé dans le cadre de l'action pédagogique est considéré comme une preuve de concept, il est donc important de noter que les résultats obtenus avec un nombre relativement petit d'élèves ne peuvent pas être généralisés à l'ensemble de la population étudiante. Pour obtenir des résultats plus représentatifs, il faudrait tester le dispositif avec un échantillon plus large et diversifié d'élèves. Cela permettrait également de détecter d'éventuelles limitations ou problèmes que le dispositif pourrait rencontrer dans des contextes d'enseignement différents.

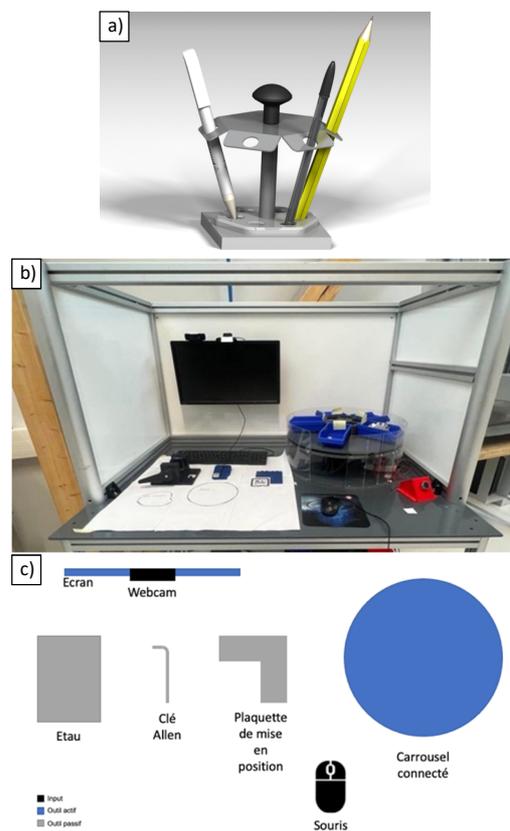


Figure 1 - a) Porte-stylo assemblé, b) Poste d'assemblage, c) Schéma du poste d'assemblage

L'audience ciblée est composée de 27 étudiants d'école d'ingénieur (INSA). La population peut être considérée comme homogène ; tous les étudiants en 4e et 5e année ont des connaissances en assemblage mécanique mais n'ont aucune expérience en assemblage assisté par la Réalité Augmentée. De plus ils n'ont jamais effectué des travaux pratiques portant sur l'assemblage à l'aide d'une gamme. L'ensemble de l'expérimentation a eu lieu sur un même site de travaux pratique.

Le scénario développé considère que les étudiants ont au plus 26 ans et qu'ils sont à l'aise avec les nouvelles technologies ; ils possèdent tous un smartphone. Le scénario proposé a pour but de les guider à assembler le porte-stylo, tout en utilisant l'outillage à disposition. Le test sera considéré comme réussi si l'étudiant arrive à assembler le porte-stylo sans aide extérieure. Le scénario mis en place est globalement linéaire et propose des actions d'assemblage successives. Par exemple, il est

proposé de serrer la vis à l'aide d'une clé après avoir placé la vis dans le trou central du socle (Fig. 2). L'étudiant passe à l'étape suivante en cliquant sur le bouton «suivant» en utilisant la souris. Afin de vérifier l'orientation correcte de la pièce «tôle», une étape d'inspection assistée par ordinateur est réalisée au cours de l'étape 2 de la phase 20.

PHASE 10	1 - Assembler l'axe avec le socle dans l'alésage,	
	2 - Placer la vis dans le trou central en faisant un premier tour,	
	3 - Visser en utilisant une clé Allen de taille 5,	
PHASE 20	1 - Placer le guide en tôle mince sur l'axe à travers le trou central,	
	2 - Ajuster la tôle de sorte à avoir les trous alignés avec les poches du socle,	
	3 - Visser le bouton sur le bout fileté de l'arbre à la main.	

Figure 2 - Gamme d'assemblage du porte-stylo [1]

Une augmentation suggère à l'utilisateur d'orienter la tôle réelle de sorte à la superposer avec l'objet augmenté. Le logiciel inspecte la position de la tôle en temps réel (Fig. 3). Lorsque la position angulaire de la pièce réelle par rapport à celle de son jumeau numérique est au-delà d'une valeur seuil prédéfinie, l'inspection refuse l'état de l'assemblage et l'augmentation devient rouge (Fig. 3-b). Si l'inspection valide l'état de la pièce l'augmentation devient verte (Fig. 3-c).

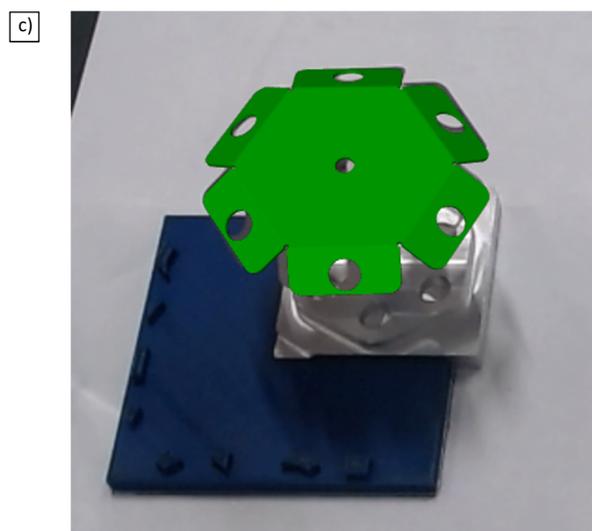
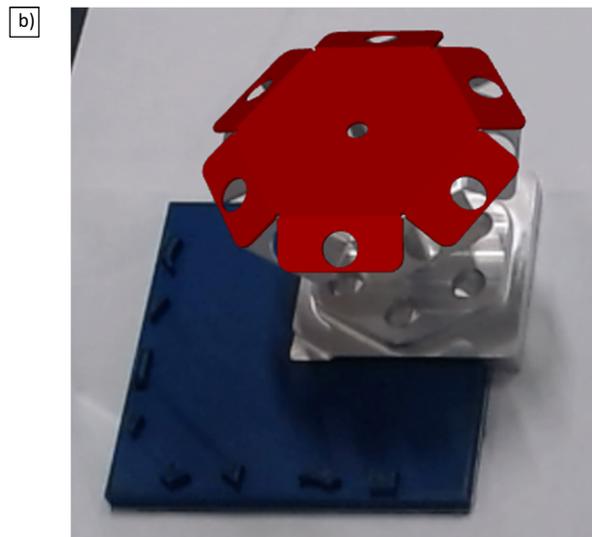


Figure 3 - a) Etape d'inspection, b) Etat refusé, c) Etat accepté

2.2. Evaluation

Le scénario ne pouvant fonctionner sans le poste d'assemblage, il a été décidé d'évaluer l'ensemble {poste d'assemblage + scénario} comme un outil dans son ensemble. L'outil est dans un premier temps évalué sur l'autonomie de l'étudiant. Comme précisé auparavant, le test sera réussi si l'étudiant parvient à assembler le porte-stylo de manière autonome. Les participants effectuent tout d'abord les manipulations d'assemblage du porte-stylo à l'aide du scénario (Fig. 1-b), puis répondent au questionnaire SUS adapté.

Le questionnaire SUS [10] créé par John Brooke en 1986 est utilisé pour évaluer l'utilité et l'utilisabilité de l'outil développé. Il faut noter que c'est la version française [11] qui a été utilisée pour lever toute ambiguïté de langage et que ce questionnaire SUS est normalisé. Cette enquête est censée - comme son nom l'indique - donner rapidement et facilement une idée de l'acceptabilité par les utilisateurs du produit réalisé. Il s'agit d'un questionnaire en 10 points avec cinq options de réponse pour les utilisateurs, de "tout à fait d'accord" à "pas du tout d'accord". Chaque question aura

alternativement des connotations positives et négatives, le but étant d'obtenir les scores les plus élevés pour les questions positives, et les plus bas pour les questions négatives. Le questionnaire a été modifié pour être bien adapté au contexte. Les 10 items du questionnaire utilisé sont :

1. J'ai trouvé l'étau facile d'utilisation
2. Je trouve que la disposition des éléments de montage n'est pas optimale
3. Je trouve que le carrousel est une valeur ajoutée intéressante
4. Je pense que certaines indications ne sont pas nécessaires
5. J'ai trouvé le concept de réalité augmentée intéressant
6. Je pense que l'orientation de l'image n'aide pas à la compréhension des indications.
7. Je pense que c'est une bonne méthode pour faire des TP
8. J'ai ressenti le besoin d'avoir un professeur pour m'aiguiller
9. J'ai trouvé le rapport bien agencé
10. J'ai trouvé le TP mal expliqué

Le score de chaque participant est calculé par la méthode SUS sur une échelle de 100 (Fig. 4).

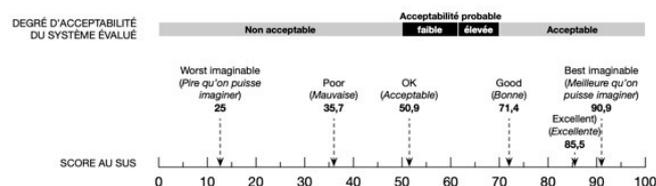


Figure 4 - Signification du score au SUS adaptée de Bangor et al [10] par Gronier [11]

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultat global des manipulations des élèves

Le résultat est positif puisque la totalité des élèves a réussi à assembler correctement le porte-stylo sans aide extérieure ce qui correspond à un taux de réussite de 100%. Ce résultat se justifie par le fait que le porte-stylo est un produit relativement simple à assembler. Un point particulier mérite d'être relevé, sans l'étape d'inspection de l'orientation de la tôle, la majorité des étudiants ne feraient pas attention à la pertinence d'ajuster la pièce « tôle » pour aligner les trous avec ceux du socle.

3.2. Utilisabilité de l'outil

Le score global est de 76,85 sur 100 ; il a été déterminé à partir de la moyenne des notes des participants au questionnaire. On peut déterminer selon Bangor *et al.* (2009) que l'acceptabilité de l'outil est « bonne » (Fig. 4). Il est possible d'extraire une répartition des réponses qui a conduit à ce score global (Fig. 5).

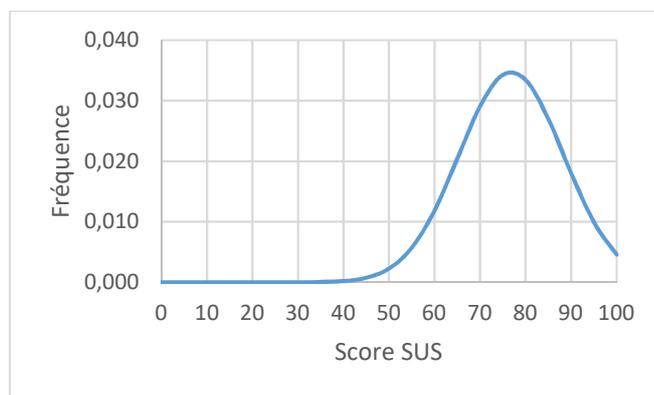


Figure 5 - Répartition des scores associés au questionnaire SUS

En considérant que les résultats obtenus sont assimilables à une loi normale, l'écart-type qui a conduit à cette dernière, présentée (Fig. 5) est de 11,49. Il est important de noter que la totalité des résultats du questionnaire sont supérieurs à 50,9 qui représente le seuil d'acceptabilité selon Bangor et al (Fig. 4).

Deux points importants sont à considérer : A la question "J'ai trouvé le concept de réalité augmentée intéressant", 96,3% des personnes ont choisi "Tout à fait d'accord" ou "D'accord", et aucune n'a choisi "Pas du tout d'accord" ou "Pas d'accord". Cela montre l'intérêt des élèves dans cette technologie, cependant cet intérêt pourrait être lié à la découverte d'une nouvelle technologie.

3.3. Problématiques émergentes

L'utilité et l'acceptabilité de l'outil présenté est prouvé par le résultat du questionnaire. A la suite de ce premier travail, plusieurs questions apparaissent concernant la transmission de compétences et plus généralement la dynamique de transmission :

- Qu'est-ce que les élèves ont appris, quelles sont les compétences transmises ? Faut-il un travail supplémentaire pour quantifier les compétences transmises ?
- Comment introduire une dimension jeu (gamifier) le scénario pour engager encore plus le joueur ?
- Est-ce que ce travail est extrapolable sur un autre assemblage plus complexe ? Une expérimentation va être menée sur une pompe mécanique.
- Est-il possible d'accompagner les étudiants avec un coût global inférieur ?

L'ensemble de ces questions montre qu'il est nécessaire de poursuivre l'étude pour cerner plus précisément les avantages et les limites de l'approche et plus généralement son utilisation potentielle avec d'autres équipements utilisés en enseignement de Génie Mécanique. La suite de l'étude concernera l'utilisation du poste d'assemblage didactisé pour effectuer un assemblage d'une pompe à injection, qui représente un assemblage plus complexe et plus pertinent vis-à-vis l'utilisation des nouvelles technologies déployées sur le poste d'assemblage.

4. CONCLUSION

Dans cette étude, une utilisation de la réalité augmentée et d'un outillage connecté accompagnant l'assemblage d'un produit mécanique a été présentée. L'outil qui a été développé est un poste d'assemblage assisté par une technique de réalité augmentée et d'un scénario d'utilisation. L'expérimentation présentée consiste à faire utiliser cet outil par une population de 27 élèves en différentes années de l'INSA de Toulouse répartis en plusieurs groupes de TP. Cette expérimentation a eu lieu lors d'une séance de TP au cours de laquelle les élèves ont directement pris en main le poste d'assemblage, suivi le scénario et répondu individuellement à un questionnaire SUS.

Les résultats montrent que l'outil est très bien accepté et qu'il est facile à prendre en main. Il faut noter que tous les élèves ont réussi à assembler le produit, ce qui valide le test individuel. La répartition des scores SUS autour de la valeur moyenne de 76,85 montre que les résultats du questionnaire SUS sont homogènes et normalement distribués avec un faible écart type. Ce constat confirme le résultat et valide aussi la méthode.

L'expérimentation a levé de nombreuses pistes d'amélioration dont certaines sont déjà en cours d'étude. Ces travaux concernent les possibilités d'utilisation d'un casque de réalité mixte ainsi que la transmission des compétences à l'aide de ce type d'outil. Pour compléter l'étude qui vient d'être présentée, l'utilisation d'un outil similaire pour l'assemblage d'un produit mécanique plus complexe sera expérimentée. L'objectif sera de cerner l'apport de la RA pour des assemblage complexe tant sur la position des composants du mécanisme que sur l'ordre des opérations d'assemblage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les étudiants qui ont participé à la réalisation de cette étude dans le cadre de leur master : Marion MARC, Emma PERRODIN, Adeline VERDUMO, Charlotte VINSON. Leur implication est une des clés de la réussite de ce projet mis en place par les auteurs dans le cadre de leur thématique de recherche. Ils remercient également S.MART pour son soutien au travers du financement du stage de fin d'étude « Réalité Augmentée Industrielle » pendant lequel le poste d'assemblage a été conçu.

REFERENCES

- [1] P. Seitier et P. Gilles, « Réalité augmentée en enseignement : l'outil ou la science ? », in *17ème colloque national S-mart AIP-PRIMECA*, LAVAL VIRTUAL WORLD, France, mars 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-03296135>
- [2] S. Patel, B. Panchotiya, A. Patel, et S. Ribadiya, « A Survey: Virtual, Augmented and Mixed Reality in Education », *International Journal of Engineering Research and*, vol. V9, juin 2020, doi: 10.17577/IJERTV9IS050652.
- [3] A. Tricot, F. Plégat-Soutjis, J.-F. Camps, A. Amiel, G. Lutz, et A. Morcillo, « Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH », in *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003*,

Strasbourg, France, avr. 2003, p. 391-402. [En ligne]. Disponible sur: <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000154>

- [4] Dr. N. R. Dr. V. P. Joshith, « Augmented Reality in English Language Pedagogy: An Innovative Techno Culture for Contemporary Classrooms- A Meta Review », *IJAST*, vol. 29, n° 3, p. 5957-5968, mars 2020.
- [5] E. Gandolfi, « Virtual Reality and Augmented Reality », 2018, p. 545-561.
- [6] P. Miltenoff, « VR, AR and Video 360: A Case Study Towards New Realities in Education », *Augmented and Virtual Reality in Libraries (LITA Guides)*, vol. 12, 2018.
- [7] M. Galaup, « Phénomènes transpositifs et environnements numériques pour l'apprentissage », *Habilitation à diriger des recherches en Sciences de l'Éducation, Université Toulouse*, vol. 2, 2020.
- [8] G. Le Boterf, « Évaluer les compétences. Quels jugements ? Quels critères ? Quelles instances. », *Education Permanente*, p. 143-151, 1998.
- [9] M. Auvray et P. Fuchs, « Perception, immersion et interactions sensorimotrice en environnement virtuel », *intel*, vol. 45, n° 1, p. 23-35, 2007, doi: 10.3406/intel.2007.1265.
- [10] J. Brooke, « SUS: A quick and dirty usability scale », *Usability Eval. Ind.*, vol. 189, nov. 1995.
- [11] G. Gronier et A. Baudet, « Psychometric Evaluation of the F-SUS: Creation and Validation of the French Version of the System Usability Scale », *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 37, p. 1571-1582, 2021.