

# Édition et synchronisation du Jumeau Numérique en réalité virtuelle et réalité augmentée pour l'usine du futur

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet 5G Metaverse qui a l'ambition de préparer et promouvoir la 5G aux besoins du métavers.

Dans ce cadre, cette thèse a pour objectif de concevoir des outils de réalité virtuelle et de réalité augmentée pour l'édition du Jumeau Numérique des usines du futur. Ces outils devront permettre l'édition collaborative du Jumeau Numérique à la fois par des utilisateurs en réalité augmentée présents au sein des installations industrielles, mais aussi par des utilisateurs à distance en réalité virtuelle. Il s'agira également d'étudier comment synchroniser l'évolution de l'environnement réel avec son Jumeau Numérique.

Ces travaux font suite aux travaux de thèse de :

- Cédric Fleury (soutenue en juin 2012)
  - Modèles de conception pour la collaboration distante en environnements virtuels distribués : de l'architecture aux métaphores
  - <https://theses.hal.science/tel-00765338>
- Pierre Bégout (soutenue en décembre 2022)
  - Outil d'authoring 3D du jumeau numérique de lignes d'assemblage pour augmenter l'opérateur de l'usine du futur
  - <https://theses.hal.science/tel-04018858>

Le premier objectif de cette thèse est de faciliter l'édition du Jumeau Numérique d'une usine 4.0 en permettant à plusieurs catégories d'utilisateurs de construire et mettre à jour le modèle 3D de ce Jumeau Numérique de façon collaborative. Ces utilisateurs, allant de l'opérateur directement en prise avec les lignes de production réelles jusqu'à l'ingénieur travaillant à distance dans un bureau d'étude, pourront utiliser des dispositifs de réalité virtuelle et réalité augmentée pour réaliser ce travail de co-édition. Plusieurs travaux antérieurs ont démontré les bénéfices d'effectuer l'édition du contenu virtuel directement en réalité augmentée [Lee 2005] ou en réalité virtuelle [Prouzeau 2020][Chauvergne 2023]. Le principal challenge de ce projet est d'offrir des capacités d'interaction similaires ou complémentaires à ces utilisateurs, quels que soient leur dispositif matériel et leur niveau d'expertise vis-à-vis de la technologie. Il pourra aussi être intéressant de permettre aux utilisateurs de changer de dispositifs d'interaction en fonction des tâches qu'ils doivent accomplir en passant de dispositifs mobiles ou d'ordinateurs standards à des dispositifs plus immersifs comme des casques de réalité virtuelle ou augmentée. Il s'agirait ici d'étendre nos travaux antérieurs [Bégout 2020][Bégout 2022] pour améliorer l'interaction avec les outils d'édition afin qu'elle puisse être réalisée à tout moment et par toutes les parties prenantes, quels que soient le lieu où ils se trouvent et le dispositif interactif qu'ils utilisent. Les outils développés dans le cadre de cette thèse viendront compléter le Jumeau Numérique obtenu par ailleurs au sein du projet et qui sera utilisé comme support pour l'édition (définition des zones d'interaction, définition des zones d'augmentation, etc.).

Le second objectif de cette thèse est de contribuer à la mise en place de communication des données, dans les deux sens, du réel au virtuel et du virtuel au réel, pour transférer en particulier des objets dynamiques 3D (maillage et nuages de points). Il faudra pour cela étudier les architectures des systèmes collaboratifs de réalité virtuelle et augmentée [Fleury 2010] et les architectures logicielles associées [Duval 2011]. Forts de notre expérience dans le domaine de la collaboration pour la visualisation scientifique, nous souhaitons adresser le verrou de la synchronisation d'éléments de l'usine au sens large (y compris ses opérateurs) acquis de façon dynamique et visualisés de différentes façons. Il s'agit donc de déterminer quelles sont les architectures logicielles à mettre en place pour permettre aux différents acteurs du métavers de bénéficier du classique "WYSIWIS" (What You See Is What I See) des Environnements Virtuels Collaboratifs, et de les mettre à l'épreuve du transfert de grandes quantités de données.

Direction de thèse : Thierry Duval et Cédric Fleury (IMT Atlantique – Lab-STICC INUIT)

École Doctorale : ED SPIN (site de Brest)

## Compétences attendues du ou de la candidat-e :

- Compétences en Réalité Mixte (Réalité Virtuelle – Réalité Augmentée) exigées
- Compétences en développement logiciel nécessaires
- Des compétences en développement Unity 3D ou Unreal Engine seraient très appréciées
- Des compétences en SHS, telles qu'avoir été sensibilisé à l'ergonomie cognitive ou maîtriser les bases de l'expérimentation de systèmes interactifs et de l'exploitation statistique des résultats d'expérimentation, seraient également grandement appréciées
- Compétences rédactionnelles en français et (surtout) anglais absolument nécessaires

## Planning prévisionnel

- **M1-M6** : Étude de l'état de l'art du domaine, prise en main des outils de développement (Unity 3D, C#), identification avec les partenaires du projet 5GMetaverse des besoins d'édition du Jumeau Numérique et des besoins architecturaux du système.
- **M7-M15** : Définition des métaphores d'interaction d'un outil d'édition en RV du Jumeau Numérique d'une usine, implémentation d'une première version de l'outil et mise en relation du système avec un modèle de Jumeau Numérique et mise à disposition de l'utilisateur des éléments 3D de ce Jumeau Numérique, avec possibilité de modifier en RV ses éléments à l'aide d'interactions adaptées.
- **M16-M18** : Extension du système pour permettre une édition collaborative en RV et évaluation du système sur une situation d'édition collaborative en RV.
- **M19-M24** : Étude des moyens d'interaction en RA pour l'édition, et ajout de la possibilité de modifier le modèle 3D du Jumeau Numérique de l'usine également en RA, à l'aide d'interactions revisitées pour s'adapter au contexte plus limité de la RA.
- **M25-M27** : Optimisation de l'architecture du système pour permettre des transferts de modèles 3D dynamiques.
- **M28-M30** : Évaluation du système sur une situation d'édition collaborative asymétrique en RV-RA.
- **M30-M36** : Rédaction du manuscrit de thèse et préparation de la soutenance.

## Liste de publications antérieures relatives à la problématique :

- [Fleury 2010] Architectures and Mechanisms to efficiently Maintain Consistency in Collaborative Virtual Environments. C. Fleury, T. Duval, V. Gouranton, B. Arnaldi. In Proceedings of SEARIS 2010 (IEEE VR 2010 Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems), p. 87-94, Waltham, 125assachusetts, USA, March 21, 2010
- [Duval 2011] PAC-C3D: A New Software Architectural Model for Designing 3D Collaborative Virtual Environments. T. Duval, C. Fleury. In Proceedings of ICAT 2011 (21th International Conference on Artificial Reality and Telexistence), p. 53-60, Osaka, Japan, November 28-30, 2011
- [Bégout 2020] WAAT: a Workstation AR Authoring Tool for Industry 4.0. P. Bégout, T. Duval, S. Kubicki, B. Charbonnier, E. Bricard. In proceedings of SALENTO AVR 2020, 7th International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics, Lecce (online), Italy, September 7-10, 2020
- [Bégout 2022] Augmented Reality Authoring of Digital Twins: Design, Implementation and Evaluation in an Industry 4.0 Context. P. Bégout, S. Kubicki, E. Bricard, T. Duval. In in the "Exploring Synergies between the Digital Twin Paradigm and eXtended Reality" research topic of "Technologies for VR" section of Frontiers in Virtual Reality, June 2022
- [Lee 2005] Gun A. Lee, Gerard J. Kim, and Mark Billinghurst. 2005. Immersive authoring: What You eXperience Is What You Get (WYXIWYG). Commun. ACM 48, 7 (July 2005), 76–81.
- [Prouzeau 2020] Arnaud Prouzeau, Yuchen Wang, Barrett Ens, Wesley Willett, and Tim Dwyer. 2020. Corsican Twin: Authoring In Situ Augmented Reality Visualisations in Virtual Reality. In Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '20).
- [Chauvergne 2023] Edwige Chauvergne, Martin Hachet, and Arnaud Prouzeau. 2023. Authoring Interactive and Immersive Experiences Using Programming by Demonstration. In Proceedings of the 34th Conference on Interaction Humain-Machine (IHM '23).