

**Titre de la thèse :** *Maturité des systèmes de réalité virtuelle et augmentée couplés au BIM en phase exploitation et maintenance du bâtiment / Maturity of virtual and augmented reality systems coupled with BIM in the building operation and maintenance phase*

**Domaines scientifiques :** Industrie du futur, Bâtiment du futur, Ingénierie et outils numériques

**Mots-clefs :** Réalité Augmentée, Réalité Virtuelle, Building Information Modelling (BIM), Evaluation, Maturité

**Scientific domains:** Industry of the future, Building of the future, Engineering and digital tools

**Keywords:** Augmented Reality, Virtual Reality, Building Information Modelling (BIM), Evaluation, Maturity

## Encadrement :

- **Directeur de thèse :**  
Mourad ZGHAL, enseignant chercheur, HDR, LINEACT, CESI Strasbourg
- **Co-directeur ou co-encadrant (s) :**
  - Ahlem ASSILA, enseignante-chercheure, LINEACT, CESI Reims,
  - Djaoued BELADJINE, enseignant chercheur, LINEACT, CESI La Rochelle.

## Contexte

### Positionnement du laboratoire

LINEACT CESI (EA 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. La proximité historique de CESI avec les entreprises est un élément déterminant pour ses activités de recherche, et a conduit à concentrer les efforts sur une recherche appliquée proche des entreprises et en partenariat avec elles. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale. Elle met l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports.

La recherche au sein du LINEACT CESI est organisée selon deux thèmes scientifiques interdisciplinaires ainsi que deux domaines applicatifs.

- Le thème 1 "Apprendre et Innover" relève principalement des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés par ce thème sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- Le thème 2 "Ingénierie et Outils Numériques" relève principalement des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques de ce thème portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes industriels ou urbains. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision

associés et sur l'étude des jumeaux numériques couplés à des environnements virtuels ou augmentés.

Ces deux thèmes développent et croisent leurs recherches dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur et de la Ville du Futur, soutenues par des plateformes de recherche, principalement celle de Rouen dédiée à l'Usine du Futur et celles de Nanterre dédiée à l'Usine et au Bâtiment du Futur.

## Positionnement du centre porteur du projet

Cette thèse est portée par les campus de CESI Reims et Strasbourg en collaboration avec le campus CESI la Rochelle. Elle s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche dans les domaines applicatifs « ville du futur » et « industrie du futur » du laboratoire de recherche LINEACT CESI. Notre activité de recherche s'articule autour des technologies innovantes, de la Réalité Augmentée (RA) et de la Réalité Virtuelle (RV) couplées au BIM. Ce sujet de recherche contribuera également à renforcer le contenu des enseignements BIM, Réalité Augmentée, Réalité Virtuelle développés dans nos différents niveaux de formation CESI dans les domaines du BTP, de l'industrie ou encore du numérique. Plus spécifiquement, ces travaux de recherche alimenteront un nouveau parcours de formation en projet à CESI et portant sur la conduite et la mise en œuvre de la transition numérique en entreprise. Ce parcours est conçu en vue de positionner l'alternant comme un vecteur et un catalyseur de la transformation de son entreprise, se décline en trois blocs de compétences principaux : i) Connaître et comprendre les enjeux et les possibilités qu'engendre la transition numérique d'une entreprise, ii) Apprentissage des outils et méthodes en vue de conduire la transition numérique de son entreprise, iii) Application du déploiement de la stratégie de transition numérique de son entreprise. Le besoin de ce type d'enseignement a été identifié à travers nos différents travaux de recherche qui ont dévoilé la nécessité de développer les compétences de nos apprenants dans le domaine de la maturité BIM et de l'intégration des nouvelles technologies innovantes.

## Positionnement dans les axes de recherche du laboratoire

Ce travail de thèse s'inscrit dans les thématiques de recherche du laboratoire LINEACT CESI. Plus spécifiquement le thème 2 « Ingénierie et Outils Numériques » au niveau de l'axe 2 - Outils Numériques et Processus Collaboratif. Le sujet proposé viendrait en complément des thèses de Corentin COUPRY et de Barbara SCHIAVI dans le domaine BIM RA/RV et qui sont dirigées par Dr. David BAUDRY. Démarrée en février 2020, la thèse de Barbara SCHIAVI vise à développer de nouvelles méthodes et outils afin d'améliorer les échanges d'informations entre le BIM, les bases de connaissances métiers et les environnements virtuels ou augmentés dans les projets de construction. Dans le même contexte, la thèse de Corentin COUPRY, démarrée en octobre 2020, vise à proposer une approche mixte RV/RA associée au jumeau numérique pour le suivi et l'optimisation de la performance en exploitation de bâtiments intelligents. En complément à ces deux sujets, ce travail de thèse vise à étudier la maturité de ces approches mixtes afin d'élaborer une nouvelle solution permettant de faciliter l'adoption de ces systèmes innovants.

Le/la doctorant.e recruté.e sera principalement encadré.e par des enseignants chercheurs du laboratoire LINEACT CESI :

- Ahlem ASSILA, Docteur en Interaction Homme-machine. Ses travaux de recherche portent sur la conception et l'évaluation des usages des environnements augmentés ou des environnements virtuels dynamiques et collaboratifs appliqués dans le domaine de l'industrie 4.0 et bâtiment du futur.
- Djaoued BELADJINE Docteur en Génie Civil. Ses travaux de recherche portent sur le BIM (Building Information Modeling), maturité BIM, Adoption BIM et le BLM (Building Lifecycle Management).

## Travaux de Recherche

- [Sujet de thèse résumé](#)

Ce travail de thèse porte sur la proposition et la mise en place d'une solution permettant l'évaluation de la maturité des systèmes de Réalité Augmentée (RA) et Virtuelle (RV) RA/RV couplés au BIM. La solution vise à permettre aux entreprises de se positionner par rapport à ces technologies et identifier leur niveau de maturité, le niveau qui leur correspond et les leviers et actions pour l'atteindre. Aujourd'hui, les systèmes RA/RV couplés au BIM ont commencé à émerger [[Liu and Bai, 2021](#); [Sidani et al., 2021](#); [Kamari et al., 2021](#)]. Ces applications visent à virtualiser ou augmenter en temps réel le contenu de la maquette numérique (BIM) pour soutenir l'amélioration continue. Afin de faciliter l'adoption de ces systèmes dans le milieu industriel, l'étude de leurs maturités, l'évaluation et la mesure de leurs niveaux s'avèrent essentielles. Le résultat escompté sera un outil d'aide à la décision permettant de favoriser à la fois une auto-évaluation des systèmes RA/RV adaptés aux BIM et générer des recommandations aux décideurs pour améliorer leurs niveaux de maturité. Ce sujet reste aujourd'hui à ses prémices et mérite une attention particulière.

- [Projet de thèse](#)
  - [Contexte scientifique](#)

Dans un monde où la technologie émerge dans tous les secteurs de l'industrie, la modélisation des informations du bâtiment (Building Information Modelling, BIM) constitue une avancée technologique majeure dans le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (AIC). Le BIM présente un ensemble de stratégies, de processus et de technologies en interaction qui permettent la création de modèles d'infrastructures pendant et tout au long de leur cycle de vie [[Assila et al., 2020](#)]. Ce processus aide les équipes à prendre les meilleures décisions dans les projets de construction en les aidant à concevoir, visualiser, exécuter des simulations et collaborer facilement [[Carneiro et al., 2018](#); [Schweigkofler et al., 2018](#)]. Le BIM regroupe toutes les données sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment (conception, réalisation, exploitation, maintenance, démolition, et recyclage). Néanmoins, l'utilisation de cette maquette numérique toute seule n'est pas suffisante pour optimiser la gestion du bâtiment et avoir une meilleure interaction avec l'ensemble des acteurs d'un projet [[Liu and Bai, 2021](#)]. Ce qui a exigé un couplage avec des technologies innovantes telles que la réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV).

- [Sujet de thèse](#)

Le défi d'améliorer l'efficacité des différentes phases de la vie d'un bâtiment ou d'une infrastructure exige des considérations de technologies innovantes. Dans le domaine de la construction, les technologies de réalité augmentée (RA) et virtuelle (RV) se révèlent être des outils efficaces, immersifs et/ou temps réel permettant de visualiser des situations complexes en milieu de travail, pour renforcer les connaissances en matière de prévention des risques [[Li et al., 2018](#)]. Aujourd'hui, les systèmes de RA/RV pour la construction ont commencé à émerger. Ces derniers visent à virtualiser ou augmenter en temps réel le contenu de la maquette numérique de bâtiment BIM. Ils visent principalement à assurer une visualisation avancée du BIM et favoriser une meilleure connexion à ses données en temps réel. Afin de faciliter l'adoption de ces systèmes innovants dans le milieu industriel, l'étude de leurs maturités, l'évaluation et la mesure de leurs niveaux s'avèrent essentielles.

Aujourd'hui, les technologies BIM sont souvent intégrées de manière moins structurée dans les entreprises [[Oraee et al., 2017](#); [Chan et al., 2018](#)]. Diverses solutions d'étude de la maturité BIM sont proposées. Elles visent à identifier et prescrire les bonnes pratiques afin de gérer les changements technologiques, procéduraux et organisationnels [[Succar, 2009](#); [Dakhil et al., 2015](#); [Yilmaz et al., 2017](#)]. Toutefois, ces solutions restent génériques et doivent être adaptés aux technologies de la RA et la RV dans le contexte BIM. A notre connaissance et sur la base d'une récente revue de littérature

[Assila et al., 2020], aucune méthodologie d'évaluation et de mesure de la maturité des systèmes RA/RV adapté au BIM n'a encore été publiée.

Les questions de recherche de cette thèse portent sur la proposition et la mise en place d'une solution permettant l'évaluation de la maturité des systèmes de RA/RV couplés au BIM. La solution vise à permettre aux entreprises de se positionner par rapport à ces technologies et identifier leur niveau de maturité et le niveau qui leurs correspond et les leviers et les actions pour l'atteindre. Le résultat escompté sera un outil d'aide à la décision permettant de favoriser à la fois une auto-évaluation des systèmes RA/RV adaptés aux BIM et générer des recommandations aux décideurs pour améliorer leurs niveaux de maturité. Une preuve de concept sera développée et utilisée afin d'évaluer et d'étudier les usages de la solution proposée en phase exploitation et maintenance du bâtiment. Le modèle outillé sera testé et évalué auprès des industriels et des experts du domaine.

- Antériorité du sujet dans le laboratoire

Les travaux de recherche sur le BIM ont commencé depuis la création du laboratoire de recherche LINEACT CESI et ont principalement porté sur l'adoption du numérique au sein des entreprises du bâtiment. L'intégration de nouveaux outils aux processus de construction déjà existants reste complexe, de par les aspects technologiques et le continuum de données à mettre en œuvre, mais aussi de par l'identification des cas d'usages et des gains associés et enfin de par la diversité des acteurs à impliquer dans le processus. Ces travaux ont donné lieu à des publications dans des revues scientifiques ainsi que des communications dans des congrès nationaux et internationaux :

TRANCHANT, Arthur, BELADJINE, Djaoued, et BEDDIAR, Karim, "BIM in French smes: from innovation to necessity", WIT Transactions on the Built Environment, 2017, vol. 169, p. 135-142.

SBITI, Maroua, BEDDIAR, Karim, BELADJINE, Djaoued, et al. "Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations", Buildings, 2021, vol. 11, no 5, p. 196.

MARTIN, Pierre, BELADJINE, Djaoued, et BEDDIAR, Karim, "Evolution within the maturity concept of BIM", WIT Transactions on The Built Environment, 2019, vol. 192, p. 131-142.

ASSILA, Ahlem, BELADJINE, Djaoued, et MESSAADIA, Mourad, "Towards AR/VR Maturity Model Adapted to the Building Information Modeling, Proc. IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Springer, Cham, 2020. p. 753-765.

V. Havard, B. Jeanne, M. Lacomblez, and D. Baudry, "Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations," Production & Manufacturing Research, vol. 7, no. 1, pp. 472-489, 2019.

- Programme de travail

Les étapes de ce travail de recherche sont :

- 1) Réalisation d'un état de l'art sur les systèmes de RA/RV adaptés au BIM ; les méthodes, approches et outils d'évaluation de ces systèmes.
- 2) Etude des technologies, Framework et logiciels existants pour l'évaluation de la maturité du BIM, la réalité augmentée et virtuelle.
- 3) Proposition d'une méthodologie de mesure et de l'évaluation de la maturité des systèmes RA/RV couplés au BIM sur la base des standards et normes ISO.
- 4) Développement du système d'aide à la décision et de recommandation.
- 5) Évaluation de la solution sur des cas d'usages industriels et validation par la mise en application pour en étudier les usages, performances, et limites.

6) Rédaction du manuscrit et soutenance de la thèse.

7) Valorisation des travaux à travers :

- i) Rédaction de communications et articles scientifiques internationaux.
- ii) Participation à des journées et conférence thématiques telles que PLM; EduBIM et les journées de l'AFXR (Association Française de XR - Réalité Virtuelle, augmentée, mixte et d'interaction 3D) ...

Calendrier prévisionnel:

Année 01		Année 02		Année 03	
Etat de l'Art					
	Etude des frameworks				
		Proposition d'une méthodologie			
			Système d'aide à la décision		
				Evaluation / Validation de la solution	
		Publications	Publications	Publications	Publications
					Rédaction du manuscrit

- **Collaboration avec des partenaires extérieurs**

Une collaboration scientifique avec l'université de Nottingham (UN) est envisagée. Elle participera au rayonnement international du laboratoire de recherche LINEACT par la création d'un nouveau partenariat avec un groupe de recherche de réputation mondiale dans ce domaine de recherche. L'expertise et les compétences apportées par chaque partenaire (CESI et UN) permettra de proposer des solutions innovantes facilitant l'intégration des nouvelles technologies couplées au BIM dans les entreprises de BTP. Le collaborateur principal de l'UN est Benachir MEDJDOUB, Professeur à l'UN et Architecte. Ses travaux de recherche portent sur le BIM en conception, la compréhension de l'intelligence humaine impliquée dans le processus de conception de bâtiment et le développement des systèmes RA/RV couplés au BIM.

- **Production scientifique/technique attendue**

Différentes productions scientifiques sont attendues :

- Publication portant sur la revue de la littérature
- Publication portant sur la proposition d'une nouvelle approche/ méthodologie/ modèle d'évaluation et mesure de la maturité

- Publication portant sur le système d'aide à la décision développé
- Publication portant sur l'évaluation et la validation de la solution finale proposée
- Expérimentation de la solution dans des entreprises BTP en France et/ou à l'étranger

## Organisation de la thèse

- **Lieu de travail** : CESI Reims,
- **Date de démarrage** : Octobre 2021,
- **Ecole doctorale de rattachement** : Sciences des Métiers de l'Ingénieur (SMI) **ED432, HESAM Université**
- **Durée** : 36 mois

## Modalités de Recrutement : sur dossier et entretien.

Merci d'adresser votre candidature à Ahlem ASSILA, Djaoued BELADJINE et Mourad ZGHAL  
[aassila@cesi.fr](mailto:aassila@cesi.fr), [dbeladjine@cesi.fr](mailto:dbeladjine@cesi.fr), [mzghal@cesi.fr](mailto:mzghal@cesi.fr)

avec pour objet de mail :

**Candidature \_ NOM \_ Maturité des systèmes de RA/RV couplés au BIM**

Votre candidature devra comporter :

- **Un Curriculum-Vitae détaillé du candidat.** En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- **Une lettre de motivation** explicitant ses motivations à réaliser une thèse de doctorat ;
- **Les résultats** des MASTER 1 et MASTER 2 et les bulletins de notes correspondant (au minimum les résultats du premier semestre pour le MASTER 2).
- **Lettre d'accompagnement** du directeur de thèse pressenti,
- **Lettres de recommandation extérieures** au laboratoire d'accueil (2 maximum).

Merci de transmettre l'ensemble des documents au sein d'un fichier zip intitulé **NOM prénom.zip**.

## Vos compétences :

- Compétences scientifiques et techniques :
  - Master 2 ou ingénieur en BTP ou en informatique orienté RA/RV et/ou Interactions Homme Machine
  - Compétences en développement informatique et en Building Information Modelling (BIM).
  - Des connaissances en modèles de maturité seraient un plus
  - Avoir des bonnes capacités rédactionnelles
- Compétences relationnelles :
  - Être autonome, avoir un esprit d'initiative et de curiosité,
  - Savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel,
  - Être rigoureux,
  - Maîtriser l'anglais scientifique à l'écrit et à l'oral.

## Références

[Liu and Bai, 2021] Liu, Z., & Bai, W. (2021). Building Information Modeling Methods for Post-Earthquake Retrofitting Visualization of Buildings Using Augmented Reality. Applied Sciences, 11(12), 5739.

[Sidani et al., 2021] Sidani, A., Dinis, F. M., Duarte, J., Sanhudo, L., Calvetti, D., Baptista, J. S., ... & Soeiro, A. (2021). Recent Tools and Techniques of BIM-Based Augmented Reality: A Systematic Review. *Journal of Building Engineering*, 102500.

[Kamari et al., 2021] Kamari, A., Paari, A., & Torvund, H. Ø. (2021). BIM-Enabled Virtual Reality (VR) for Sustainability Life Cycle and Cost Assessment. *Sustainability*, 13(1), 249.

[Assila et al., 2020] Assila, A., Beladjine, D., & Messaadia, M. (2020, July). Towards AR/VR Maturity Model Adapted to the Building Information Modeling. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 753-765). Springer, Cham.

[Carneiro et al., 2018] Carneiro, J., Rossetti, R. J., Silva, D. C., & Oliveira, E. C. (2018, September). BIM, GIS, IoT, and AR/VR integration for smart maintenance and management of road networks: a review. In *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1-7). IEEE.

[Schweigkofler et al., 2018] Schweigkofler, A., Monizza, G. P., Domi, E., Popescu, A., Ratajczak, J., Marcher, C., ... & Matt, D. (2018, July). Development of a digital platform based on the integration of augmented reality and BIM for the management of information in construction processes. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 46-55). Springer, Cham.

[Li et al., 2018]. Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., Chan, A. P.: A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162 (2018).

[Oraee et al., 2017] Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., Arashpour, M.: Collabora-tion in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review. *International Journal of Project Management* 35(7), 1288–1301 (2017).

[Chan et al., 2018] Chan, A. P., Ma, X., Yi, W., Zhou, X., Xiong, F.: Critical review of studies on building information modeling (BIM) in project management. *Frontiers engineering management*. (2018).

[Succar, 2009] Succar, B.: Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction* 18(3), 357–375 (2009).

[Dakhil et al., 2015] Dakhil, A., Alshawi, M., Underwood, J.: BIM Client Maturity: Literature Review. In *Pro-ceedings of 12th International Post-Graduate Research Conference*. (2015).

[Yılmaz et al., 2017] Yılmaz, G., Akçamete Güngör, A. S. L. I., Demirörs, O.: A review on capability and ma-turity models of building information modelling. (2017).

[Hammerschmid et al., 2018] Hammerschmid, S.: Developing and Testing of a Virtual and Augmented Reality Maturity Model. In: *European Conference on Software Process Improvement*, pp. 279–288. Springer, Cham (2018).