



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



École Doctorale IAEM Lorraine Laboratoire MAP-CRAI
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie UMR MAP n°3495 (CNRS/MC MAP)
École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Mention : Sciences de l'Architecture

Par **Veronika BOLSHAKOVA**

Sous la direction de Gilles HALIN

Et codirection de Annie GUERRIERO

Digital approach to AEC synchronous co-located collaboration: the use of 4D BIM and Lean scheduling for collective and interactive decision-making

Soutenance publique le 9 décembre 2022

Membres du jury :

Directeur de thèse :	M. Gilles HALIN	Maître de conférences, HDR, Université de Lorraine, Nancy, France
Co-directeur de thèse :	Mme. Annie GUERRIERO	Senior Research and Technology Associate, PhD, Luxembourg Institute of Science and Technology, Esch-sur-Alzette, Luxembourg
Président de jury :	<i>À définir le 9 décembre</i>	
Rapporteurs :	Mme. Ivanka IORDANOVA	Professeure, PhD, GRIDD, INIT robots, Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Université du Québec, Canada
	M. Tom MENS	Professeur, PhD, Service de Génie Logiciel Département d'Informatique, Faculté des Sciences, Université de Mons, Belgique
Examineurs :	Mme. Aurélie DE BOISSIEU	Chargée de cours, PhD, Département d'Architecture, Urbain et Environnemental Engineering, Université de Liège, Belgique
	M. Rafael SACKS	Professeur, D. Sc, Technion – Israel Institute of technology, Haifa, Israel
	M. Philippe MARIN	Professeur, HDR, ENSA Grenoble, Directeur Scientifique laboratoire MHA, Grenoble, France
	M. Timo HARTMANN	Professeur, PhD, Technical University of Berlin, Allemagne

Abstract

This research in the domain of Architecture, Engineering and Construction (AEC) focuses on Building Information Modeling and Management (BIM) and multidisciplinary collaboration. Over the past few decades, the industry has supported various changes through digital work tools and technologies. Moreover, advancements in innovative approaches like BIM, Lean Construction (LC) and Integrated Project Delivery (IPD) approaches causing paradigm shifts and transformations of the established ways of design, construction and management. A synergy of these approaches frames the research context.

The research aims to improve the quality of collaboration for AEC professionals, who would benefit from the development of more relevant and efficient tools, protocols and processes. From a broad perspective, there are issues related to each approach's implementation and to their joint implementation, such as lack of experience, established practices, protocols, skills and tools. Integration challenges come from the financial and organizational impacts, as well as that team members come from different work environments. The efficiency of work on digitally developed construction projects requires a new vision and adaptation of collaborative practices. There is a need for well-adapted and integrated digital tools to collaborate on a project.

The study object is the collective use of 4D BIM (3D + time) and Lean scheduling for decision-making. AEC professionals would benefit from the development of efficient tools, protocols, and processes that support BIM/4D continuous accessible dataflow, foster integrated team collaboration, foster the use of 4D and lean planning, and present the team members with accessible and easy interactions with nD.

Our research methodology combines Socio-technical Systems (STS) and Activity theory (AT) and uses the methods of User-centered Design (UCD). Socio-technical systems describe complex environments that use BIM and other digital tools as an intermediary for collaborative work on projects. Activity theory further provides us with tools to describe collaborative activity models. UCD provides usability enhancement methods to improve the effectiveness, efficiency, and usability aspects of collaborative tool and scenarios development. The mixed research methods of observation, questions and interviews allowed for both qualitative and quantitative data. These research hypotheses may be summarized by the following:

- *Co-located synchronous digital collaboration for design and for value engineering would enhance waste control, project team and process integration.*
- *Integration of a digital medium with quality nD BIM visualization and a natural interaction interface into collaborative workspaces for BIM projects would improve collaboration, from an interface design perspective to adapt the visualization of information and interactions to diverse types of project meetings.*
- *A digital tool uniting 4D BIM and Lean scheduling would provide a basis for the integration of the design and construction dataflows and approaches, provide users with a relevant dashboard for every phase, enhance collaboration and construction management.*

We propose a digital tool uniting 4D BIM and Lean scheduling that would provide a basis for the integration of the design and construction dataflows and innovative approaches. We examine the context of recent advancements in BIM, Lean construction, and IPD approaches, as well as the 4D BIM uses and their impact on collaboration; then we propose and evaluate a solution providing easy access to relevant digital project information for every project team member. Thus, this research also converges with the domains of Human-Computer Interaction (HCI) and UCD.

Key words: BIM, 4D BIM, 4D BIM uses, Lean construction, Integrated project delivery, synchronous co-located collaboration, collaborative planning, digital continuity, natural user interface, interactivity.

Résumé

Approche numérique à la collaboration synchrone colocalisée dans le domaine de l'architecture, l'ingénierie et de la construction : utilisation de la 4D BIM et de la planification Lean pour une prise de décision collective et interactive

Cette recherche dans le domaine de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AIC) se concentre sur le Building Information Modeling and Management (BIM) et la collaboration multidisciplinaire. Au cours des dernières décennies, l'industrie a subi divers changements induits par le développement de technologies et d'outils de travail numériques. L'intégration des approches innovantes telles que le BIM, le Lean construction et l'Integrated Project Delivery (IPD) entraînent des changements de paradigme et des transformations des méthodes de conception, de construction et de gestion. Une synergie de ces approches encadre le contexte de notre recherche.

La recherche vise à améliorer la qualité de la collaboration pour les professionnels de l'AIC, qui bénéficieraient du développement d'outils, de protocoles et de processus plus pertinents et efficaces. D'un point de vue général, la mise en œuvre séparée ou conjointe de ces approches, se confronte à quelques difficultés comme le manque d'expérience, de pratiques établies, de protocoles, de compétences et d'outils. Les défis liés à cette mise en œuvre sont à la fois financiers mais aussi organisationnels du fait que les membres de l'équipe viennent d'environnements de travail différents. Pour améliorer l'efficacité du travail réalisé dans les projets de construction développés numériquement, une nouvelle vision et une adaptation des pratiques de collaboration est nécessaire pour disposer d'outils numériques adaptés et intégrés aux pratiques collaboratives du projet.

Notre objet d'étude porte sur l'utilisation collective du BIM 4D (3D + temps) et de la planification Lean pour la prise de décision et le développement d'outils, de protocoles et de processus efficaces accédant à un flux de données BIM/4D en continu favorisant la collaboration intégrée des équipes.

Notre méthodologie de recherche combine les systèmes sociotechniques et la théorie de l'activité et utilise les méthodes de la conception centrée sur l'utilisateur (UCD). Les systèmes sociotechniques décrivent des environnements complexes qui utilisent le BIM et d'autres outils numériques comme intermédiaires pour le travail collaboratif sur des projets. La théorie de l'activité nous fournit des outils pour décrire des modèles d'activités collaboratives. L'UCD fournit des méthodes d'amélioration de l'utilisabilité des outils proposés par l'exploitation de scénarios collaboratifs. Les méthodes de recherche mixtes (observation, questions et entretiens) ont permis d'obtenir des données qualitatives et quantitatives.

C'est dans ce cadre méthodologique que nous avons formulées les hypothèses suivantes :

- *La collaboration numérique synchrone colocalisée pour la conception associée à l'ingénierie de la valeur améliore le contrôle des déchets, la cohésion de l'équipe de projet et l'intégration des processus.*
- *L'usage d'un support numérique avec une visualisation nD BIM de qualité et une interface proposant des interactions naturelles dans les espaces de travail collaboratifs BIM améliore la collaboration lors des différents types de réunions de projet.*
- *Un outil numérique réunissant le BIM 4D et la Lean planification comme support d'intégration des flux de données et des approches de conception et de construction, et proposant aux*

utilisateurs un tableau de bord pertinent pour chacune des phases du projet, améliore la collaboration et la gestion de la construction.

Nous proposons un outil numérique unissant le BIM 4D et Lean construction qui fournirait une base pour l'intégration des flux de données de conception et de construction et des approches innovantes. Nous examinons le contexte des récentes avancées en matière de BIM, de construction Lean et d'approches IPD, ainsi que les utilisations de la BIM 4D et leur impact sur la collaboration ; puis nous proposons et évaluons une solution permettant à chaque membre de l'équipe de projet d'accéder facilement aux informations numériques pertinentes du projet. Subséquemment, cette recherche converge également avec les domaines de l'Interaction Homme-machine (IHM) et du Design centré utilisateur (UCD).

Mots clés : *BIM, BIM 4D, usages du BIM 4D, Lean construction, Integrated Project Delivery, collaboration synchrone colocalisée, planification collaborative, continuité numérique, interface utilisateur naturelle, interactivité.*