

Évaluation de la valeur ajoutée des outils technologiques en construction - Cas d'un système de projection laser

par

Ismail BELKAJJA

MÉMOIRE PAR ARTICLE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAITRISE AVEC MÉMOIRE EN GESTION DE PROJETS D'INGÉNIERIE
M.Sc.A.

MONTRÉAL, LE 06 JANVIER 2021

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Ismail Belkajja, 2021



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Conrad Boton, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Wahid Meref, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme. Christiane Papineau, membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 21 DÉCEMBRE 2020

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

AVANT-PROPOS

Ce mémoire présente un travail de recherche réalisé en concertation avec un partenaire industriel. C'est une startup accompagnée par le Centech, un incubateur dédié aux entreprises de haute technologie qui est propulsé par l'École de Technologie Supérieure. Ce partenaire industriel est spécialisé en solutions technologiques en logiciel et en matériel consacrées à l'industrie de la construction. Il développe un outil technologique qui permet de projeter les plans directement sur le sol, et cela, par des lignes laser. L'outil technologique de ce partenaire industriel est prometteur en dématérialisation et en numérisation des plans de la construction.

Ce travail de recherche vise à mettre l'accent sur les outils technologiques comme une solution pour améliorer la productivité et aussi le rôle que ces outils peuvent jouer dans le changement des processus de travail en chantier de construction vers plus d'efficacité et de précision et moins d'erreurs, ainsi que la possibilité d'optimiser le temps d'exécution des travaux en chantier.

Les travaux de recherche ont été effectués dans des circonstances très particulières liées à la pandémie de COVID-19 que le monde a connues à partir de la fin de l'année 2019. Cette conjoncture assez spéciale a obligé beaucoup de gens de s'adapter avec une nouvelle réalité pleine de mesures de prévention pour limiter la propagation du virus. Malgré toutes les difficultés qui ont été imposées par cette situation, ce travail de recherche a pu arriver à des résultats pertinents. Toutefois, la conjoncture de la pandémie a présenté des restrictions pour atteindre les objectifs attendus, notamment en matière de la collecte des données expérimentales, d'abord en raison de trouver un chantier adéquat pour tester l'outil du partenaire industriel et aussi, en raison de la limitation du nombre de personnes autorisé en chantier. De plus, il a été très délicat pendant ladite conjoncture de pandémie d'interroger plus de participants, en particulier, les travailleurs en chantier pour discuter le contexte réel de la problématique étudiée afin d'avoir plus de résultats palpables.

Bonne lecture.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Conrad Boton mon directeur pour sa confiance, pour l'opportunité qui m'a offert et pour sa disponibilité et ses précieuses consignes ainsi que pour ses directives très pertinentes.

J'exprime ma gratitude et je témoigne toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt dont ils m'ont fait part durant toute la période de ce travail de recherche: Anne-Lyse Miller, Jonathan Lefebvre, William St-Pierre, Christophe Roy et toute l'équipe de travail Mechateam pour leur confiance, collaboration et encouragement.

J'adresse mes vifs remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de recherche.

Finalement, ce travail n'aurait pas vu le jour sans le soutien et l'amour inconditionnels de mon épouse Maryem et de toute ma famille. Je leur dédie ce mémoire.

Évaluation de la valeur ajoutée des outils technologiques en construction

Cas d'un système de projection laser

Ismail BELKAJJA

RÉSUMÉ

Bien que les technologies de l'information connaissent une évolution exponentielle, l'industrie de la construction a pu se permettre une multitude de solutions technologiques malgré sa nature complexe. Relever le défi de l'amélioration de la productivité de travail sur le chantier nécessite non seulement des performances managériales élevées, mais également de hautes performances des matériaux et des équipements pour réaliser les travaux. Plusieurs startups spécialisées dans l'innovation des technologies de l'information et de l'automatisation se sont émergées dans l'industrie de la construction pour innover des Outils Technologiques d'Aide à la Construction (OTAC). Mais ces startups ont du mal à évaluer la valeur ajoutée de leur prototype avant ou pendant le développement faute de véritable terrain de test.

Ce travail de recherche propose une méthode dédiée aux startups et aux entreprises qui développent des OTAC pour permettre d'évaluer leur prototype. Et cela, à travers une caractérisation de la manière traditionnelle à partir des données qualitatives provenant des gens du métier. Ainsi que par une compréhension du processus de travail innovant. Cette méthode proposée a été conçue en suivant les orientations de la recherche en science de design, elle comporte quatre étapes qui permettent d'évaluer la valeur ajoutée d'un outil technologique innovant avant ou durant son développement. La méthode dispose de deux activités inter-étapes de validation des résultats partiels. Une étude de cas a été menée pour l'évaluation ex post de la méthode proposée.

La méthode proposée peut constituer un support aux développeurs des outils technologiques dédié à la construction. Elle leur permettra d'améliorer les fonctionnalités et d'adapter les produits aux conditions de la situation d'utilisation prévue. Ainsi, le potentiel d'utilisation des outils technologiques en chantier s'avère pratiquement valorisé comme résultat de notre étude de cas, ce qui confirme davantage la capacité des TI à augmenter la productivité et à optimiser les erreurs dans l'industrie de la construction et cela en démontrant plus d'efficacité en coordination.

Mots-clés: valeur ajoutée, impact des outils technologiques, chantier de construction, technologie de l'information, projection laser

Assessing the added value of technological tools in construction

Case of a laser projection system

Ismail BELKAJJA

ABSTRACT

Although the exponential evolution of information technology, the construction industry has been able to afford a multiple of technological solutions despite its complex nature. Meeting the challenge of improving labor productivity on site requires not only highly managerial performance but also high performance of materials and equipment to carry out the work. Several startups specialized in the innovation of information technologies and automation have immersed in the construction industry to innovate Technology Aided Construction Tools (TACT). But these startups find it difficult to assess the added value of their prototype before or during development because of lack of real testing ground.

This research work proposes a method dedicated to startups and companies that develop TACT to allow their prototype to be evaluated. And this, through a characterization of the traditional way from qualitative data from tradespeople. As well as by understanding the innovative way. This proposed method was designed following the guidelines of research in Design Science; it comprises four stages which make it possible to assess the added value of an innovative technological tool before or during its development. The method has two inter-step activities for validating partial results. A case study was carried out for the ex post evaluation of the proposed method.

The proposed method can provide support for the developers of technological tools dedicated to construction. It will allow them to improve features and adapt products to the conditions of the intended usage situation. As a result of our case study, the potential for the use of technological tools on site is practically promoting, which further confirms the capacity of IT to increase productivity and optimize errors in the construction industry and that by demonstrating more efficiency in coordination.

Keywords: added value, impact of technological tools, construction site, information technology, laser projection

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 POSITIONNEMENT ET ENJEUX.....	5
1.1 Les projets de construction	5
1.2 Industrie de la construction et problèmes de productivité	6
1.3 Lacunes et perspectives de recherche	6
CHAPITRE 2 ÉTAT DE L'ART	9
2.1 Propriétés de la productivité en construction.....	9
2.1.1 Définition de la productivité	9
2.1.2 Calcul de la productivité en phase chantier	9
2.2 La technologie de l'information comme solution pour améliorer la productivité dans la construction.....	12
2.2.1 Définition et principes.....	12
2.2.2 Adoption et utilisation de la technologie de l'information dans la construction.....	12
2.2.3 Les tendances récentes des technologies dédiées à la construction.....	13
2.3 Évaluation de l'impact de la technologie de l'information sur la productivité dans la construction.....	15
2.3.1 Impact des technologies de l'information sur la productivité en construction.....	15
2.3.2 Les approches actuelles pour mesurer l'impact des outils technologiques sur la productivité	16
CHAPITRE 3 DÉMARCHE DE TRAVAIL	19
3.1 Méthodologie de recherche.....	19
3.1.1 Recherche en science du design.....	19
3.1.2 Démarche de travail	19
3.1.2.1 Déploiement de la démarche.....	19
3.1.2.2 Collecte des données.....	21
3.2 Présentation de l'article publié.....	22
CHAPITRE 4 PROPOSITION D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA VALEUR AJOUTÉE D'UN NOUVEL OUTIL TECHNOLOGIQUE D'AIDE À LA CONSTRUCTION (OTAC)	25
4.1 Méthode proposée pour évaluer la valeur ajoutée d'un outil technologique d'aide à la construction	25
4.2 Décortication de la méthode proposée.....	27
4.2.1 Étape 1: Description de l'OTAC.....	27
4.2.2 Étape 2: Situation d'utilisation.....	29
4.2.3 Étape 3: Caractérisation	29

4.2.4	Étape 4: Évaluation de l'OTAC.....	30
CHAPITRE 5	PROPOSAL OF A METHOD FOR ASSESSING THE VALUE ADDED OF NEW TECHNOLOGICAL TOOLS RELATIVE TO PRODUCTIVITY ON SITE - A CASE STUDY	31
5.1	Abstract.....	31
5.2	Introduction.....	32
5.3	Literature review.....	34
5.3.1	Productivity in construction projects	34
5.3.1.1	Construction projects and productivity issues	34
5.3.1.2	Defining productivity.....	35
5.3.1.3	Measuring productivity in construction project.....	36
5.3.2	Information technology as a solution to improve productivity in construction.....	38
5.3.2.1	Definition and principles.....	38
5.3.2.2	Adoption and use of IT in construction	38
5.3.2.3	Recent trends.....	39
5.3.3	Evaluation of the impact of IT on productivity in construction.....	41
5.3.3.1	Impact of information technology on productivity in construction.....	41
5.3.3.2	Existing methods to measure the impact of IT on productivity	42
5.3.3.3	Research gap	43
5.4	Research methodology.....	43
5.5	An innovative method to assess added value of a new TACT	44
5.5.1	Step 1: Description of the TACT	45
5.5.2	Step 2: Usage situation.....	47
5.5.3	Step 3: Characterization.....	47
5.5.4	Step 4: TACT assessment	48
5.6	Case study	49
5.6.1	Step 1: Description of the industrial partner TACT's.....	49
5.6.2	Step 2: The usage situation	53
5.6.3	Step 3: Characterization of job practices	55
5.6.4	Step 4: Assessment of added value of the FramR.....	61
5.7	Discussion.....	63
5.8	Conclusion	65
CHAPITRE 6	DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	67
6.1	Méthode proposée.....	67
6.1.1	Méthodologie de recherche adoptée	67
6.1.2	Vocation de la méthode proposée.....	67
6.1.3	Limitations	68
6.2	Conclusions tirées de l'étude de cas	68
6.3	Expérimentation attendue de l'OTAC	70

CONCLUSION.....	71
ANNEXE I PROTOCOLE D'ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE.....	73
ANNEXE II ÉVIDENCES TIRÉES DES ENTREVUES.....	75
ANNEXE III SONDAGE ÉLECTORNIQUE.....	77
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	83

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1	Illustration des différentes formules du calcul de la productivité fournie par la littérature scientifique11
Tableau 2.2	Catégories d'outils technologiques en construction adapté de Sacks et al. (2020)12
Tableau 3.1	Volets discutés entrevue semi-dirigée21
Tableau 3.2	Profil des répondants.....22
Tableau 5.1	Illustration of productivity formula variations obtain from the scientific literature37
Tableau 5.2	Categories of technological tools in construction adapted from Sacks et al. (2020)38
Tableau 5.3	FramR model50
Tableau 5.4	Feature list of TACT – FramR.....52
Tableau 5.5	Steps for installing interior walls on a concrete slab53
Tableau 5.6	Group of collaborative personas adapted from Boton (2018)54
Tableau 5.7	Estimated time to install interior walls for a standard unit of type 3-1/2 ..58
Tableau 5.8	Estimated time to install interior walls for a standard unit of type 4-1/2 ..58
Tableau 5.9	Characterization of practices for tracing steps on site59
Tableau 5.10	Main stages of the tracing step by the FramR.....62
Tableau 5.11	Qualification of the FramR added value62
Tableau 5.12	Analysis and interpretation of findings.....64
Tableau 6.1	Analyse et interprétation des résultats69

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1	Tendances des technologies de construction de l'année 2018 adaptée de Boton et al. (2020).....14
Figure 3.1	Démarche de recherche.....20
Figure 4.1	Aperçue générale de la méthode proposée.....26
Figure 4.2	Métamodèle de l'Outil Technologique d'Aide à la Construction (OTAC) 28
Figure 5.1	Construction technology trends of the year 2018 adapted from Boton et al. (2020).....40
Figure 5.2	Research approach44
Figure 5.3	Overview of the proposed method.....45
Figure 5.4	TACT metamodel – UML class diagram.....46
Figure 5.5	Laser projection of interior division plane on a concrete slab by FramR of Mechasys50
Figure 5.6	Real FramR laser projector51
Figure 5.7	Scenario 1 – Process of installing interior walls without TACT56
Figure 5.8	Scenario 2 – Process of installing interior walls with TACT57
Figure 5.9	Simplistic approach for the interior walls installation process58

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

OTAC	Outil Technologique d'Aide à la Construction
TACT	Technology Aided Construction Tool
TI	Technologie de l'information
IT	Information Technology
KPI	Key Performance Indicator
TIC	Technologies de l'Information en Construction
BIM	Building Information Modeling
IoT	Internet of Things
PMT	Productivité Moyenne du Travail
PTF	Productivité Totale des Facteurs
ALP	Average Labor Productivity
TFP	Total Factor Productivity
TAM	Technology Acceptance Model
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
IA	Intelligence Artificielle
API	Application Programming Interface
UML	Unified Modeling Language
WBS	Work Breakdown Structure
DFD	Diagramme de Flux de Données
CII	Construction Industry Institute
MVP	Minimum Viable Product

INTRODUCTION

Les projets de construction sont généralement décomposés en trois principales étapes, notamment, la conception, la construction et l'exploitation. Pendant ces étapes, un grand flux d'information et de matériel circule entre l'ensemble des intervenants de la chaîne d'approvisionnement (Björk, 1999), en vue d'atteindre les objectifs attendus et également de respecter les délais planifiés. Cependant, des contraintes considérables peuvent se manifester lors de la phase de chantier comme par exemple les manques de précision généralement sources de reprise et de délais ainsi que de la non-qualité (Akinku et Akinsulire, 2012). Ces manques sont souvent liés au positionnement et à l'implantation en phase chantier (Vorster et Lucko, 2002).

Dans cette optique, de nombreuses solutions ont vu le jour pour optimiser les performances de ladite chaîne d'approvisionnement, particulièrement, les logiciels de gestion en construction avec connexion infonuagique pour mieux gérer les flux d'information et de matériel. Toutefois, les projets de construction connaissent encore des problèmes de coordination, de retard et de dépassement de coûts dus aux erreurs de conception et de construction également (J. Matthews et al., 2015). Ces problèmes impactent la productivité en chantier, un indicateur de performance important pour l'optimisation des processus de travail, mais aussi, difficile à quantifier dans l'industrie de la construction d'autant plus que cette dernière est caractérisée par une fragmentation et par la non-standardisation des processus de travail (Howard et al., 1989; Sezer et Bröchner, 2014). L'amélioration de la productivité de la construction peut contribuer à éliminer les dépassements de temps et de coûts (Kaming et al., 1998). La productivité en construction est définie par un rapport de mesure des sorties et des entrées et ce rapport est également un système d'évaluation des performances pour mesurer la productivité au niveau du chantier (CII, 1990). Vogl et Abdel-Wahab (2015) ont considéré la production en construction comme sortie « output » et est définie par une fonction reliant des entrées « inputs » tangibles et intangibles du processus de la production tels que trois principaux inputs variables: le travail, le capital et les matériaux. De plus, d'autres facteurs

affectant la productivité en construction peuvent se manifester et doivent être identifiés et traités de manière appropriée pour améliorer la performance des projets (Hasan et al., 2018). Il existe une relation quantifiable et positive entre l'amélioration de la technologie des matériaux et l'amélioration de la productivité de la construction (Goodrum et al., 2009; Zhai et al., 2009). La majorité des recherches sur la productivité en construction ont été focalisées sur la productivité de travail étant l'indicateur le plus significatif.

Plusieurs méthodes existent pour mesurer la productivité qui a suscité l'intérêt de beaucoup de recherche ces dernières décennies (Dixit et al., 2019; Yi et Chan, 2014). Même si les technologies de l'information sont présentées comme ayant un impact important sur la productivité en construction (Howard et al., 1989), ils existent peu d'études sur le lien entre les facteurs influençant la productivité et les fonctionnalités de ces outils technologiques (Hasan et al., 2018).

Ce travail de recherche présenté dans ce mémoire a été mené en collaboration avec un partenaire industriel qui est une startup spécialisée dans le développement de solutions technologiques en logiciels et équipements dédiés à la construction. Ce travail de recherche vise à proposer le développement d'un cadre pratique pour évaluer efficacement l'utilité des outils technologiques et leurs éventuels impacts sur la productivité du travail en chantier de construction. La question de recherche peut se résumer comme suit:

Comment une startup pourrait évaluer la valeur ajoutée d'un nouvel Outil Technologique d'Aide à la Construction (OTAC) sans avoir besoin nécessairement d'un véritable terrain de test?

Pour répondre à ce besoin, ce travail de recherche vise à proposer une méthode dédiée aux startups et aux entreprises qui développent des OTAC pour leur permettre d'évaluer la valeur ajoutée de leur prototype à travers une caractérisation de la manière traditionnelle et une compréhension du processus de travail innovant sur la base des données qualitatives issues des gens du métier.

De manière spécifique, il s'agira précisément de :

- clarifier l'impact des technologies de l'information sur la productivité en construction,
- caractériser la notion de la valeur ajoutée en mettant l'accent sur les notions de la productivité et de la qualité dans la construction,
- offrir aux startups et aux entreprises une méthode pour évaluer la valeur ajoutée de leurs prototypes avant ou durant son développement.

Ce mémoire s'articule autour de six chapitres, le premier chapitre s'intitule positionnement et enjeux qui balise le terrain de la question de recherche. Ensuite vient le deuxième chapitre pour repérer l'état d'art et faire un constat par rapport aux propriétés de la productivité en construction et une revue critique du rôle que peut jouer la technologie de l'information pour effectivement améliorer la productivité de travail en chantier. Le troisième chapitre s'attarde sur la méthodologie de recherche adoptée et aussi la contextualisation de l'article scientifique publié de ce travail de recherche. Le quatrième chapitre décortique la méthode proposée qui est un résultat de ce travail de recherche. Le cinquième chapitre fait l'objet de l'article dans lequel on retrouve l'étude de cas menée sur l'outil technologique d'un partenaire industriel étant une initialisation de la méthode proposée. À la fin viendra le sixième chapitre pour accomplir une discussion des résultats ainsi que des conclusions tirées de l'étude de cas.

CHAPITRE 1

POSITIONNEMENT ET ENJEUX

1.1 Les projets de construction

Chaque projet possède des caractéristiques intrinsèques, telles que; la taille, le capital investi, l'organisation établie, la technologie déployée et le matériel utilisé...etc. Ce qui définit la complexité du projet d'autant plus lorsqu'il s'agit de projets de construction (Baccarini, 1996; Xia et Chan, 2012). Le processus de construction est décomposé en plusieurs étapes et fédère amplement de parties prenantes. La diversité des tâches à accomplir entre les intervenants de la chaîne d'approvisionnement génère des relations d'interdépendance basées sur l'utilisation conjointe des ressources, les activités entreprises en chantier et aussi sur la synchronisation entre d'autres chaînes d'approvisionnement en relation avec chaque projet de construction (Bankvall et al., 2010). Une entreprise de construction exécute uniquement une partie restreinte du projet par ses propres ressources. Il s'agit d'une stratégie pour répartir et atténuer les risques et aussi pour régulariser le marché volatil de la construction (Segerstedt et Olofsson, 2010).

Pour pallier ces aspects, plusieurs chercheurs ont pensé à l'amélioration des performances de l'industrie de la construction en adaptant les méthodes et les outils déployés par l'industrie manufacturière. Tzortzopoulos, Kagioglou, et Koskela (2020) ont offert un corpus du concept « *Lean construction* » présenté comme un élément fondamental de l'amélioration des performances de la construction à travers les résultats de pratiquement 25 ans de recherches scientifiques. Néanmoins, « *l'amélioration continue* » en construction inspirée du système de production de Toyota n'a pas répondu aux attentes espérées par la chaîne d'approvisionnement sur le long terme (Smyth, 2010).

1.2 Industrie de la construction et problèmes de productivité

L'industrie de la construction est très compétitive, les entreprises doivent améliorer les performances de productivité de la construction pour survivre. La gestion de la productivité est actuellement reconnue comme un processus formel de gestion de projet dans la construction (Park et al., 2005). Le rapport de Sir John Egan, « *Repenser la construction* », a mis le secteur de la construction au défi de mesurer sa performance dans une gamme d'activités et d'atteindre un ensemble ambitieux d'objectifs d'amélioration (Egan, 1998). Sur cette base, le groupe de travail KPI a voulu relever ce défi en s'appuyant sur le « *KPI Pack* » pour présenter aux organisations un cadre de référence pour des activités à un niveau proche des conditions réelles de travail telles que la correction des défauts et la satisfaction des attentes des clients (The Kpi Working Group, 2000)

En effet, l'amélioration de la productivité du travail dans l'industrie de la construction doit être contextualisée et cela est aujourd'hui possible grâce aux technologies de l'information qui peuvent fédérer diverses disciplines (Björk, 1999) et aussi simplifient considérablement la coordination entre les parties prenantes et facilitent le suivi global du projet.

1.3 Lacunes et perspectives de recherche

La complexité des projets ainsi que la compétitivité dans l'industrie de la construction exigent aux entreprises de la construction de disposer des matériaux et équipements sophistiqués dédiés à l'exécution des travaux. Ces ressources étant les principaux atouts des entreprises de constructions (Friedman, 1984) et peuvent surmonter les difficultés rencontrées en chantier pour améliorer la performance de la productivité de travail dans l'industrie de la construction. Plusieurs recherches sur les facteurs affectant la productivité de travail en construction considèrent les matériaux et équipements comme un facteur déterminant par rapport à la performance de la productivité en chantier (Durdyev et al., 2018; Gerami Seresht et Fayek, 2018; Poirier et al., 2015).

La technologie de l'information est annoncée ayant le potentiel de changer les processus de travail en construction (Grau et al., 2009). Par conséquent, l'amélioration de la productivité de travail en chantier pourrait se manifester à travers l'adoption et l'utilisation des TI en construction. Les TI ont dégagé des tendances sous la forme de solutions technologiques dans l'industrie de la construction par exemple les logiciels de gestion et de coordination présentés généralement en technologie mobile pour une utilisation directe en chantier. Sacks et al., (2020) ont regroupé les solutions technologiques en quatre principales catégories d'outils:

- logiciels de gestion de conception et de construction,
- logiciels et matériels pour fournir des informations de la conception vers le terrain
- logiciels et matériels pour collecter des informations sur le chantier et les transmettre aux sections d'inspection
- robotiques pour l'exécution des opérations de construction sur chantier.

Cette diversité des outils technologiques présente une opportunité à saisir pour plusieurs entreprises spécialisées dans l'innovation des TI et de l'automatisation dans l'industrie de la construction. Les TI en construction se démarquent généralement par des innovations de rupture pour répondre à un nouveau besoin ou bien pour changer un tel processus de travail.

Chaque solution logiciel ou matériel sous la forme d'un équipement technologique doit avoir un impact sur la productivité de travail. À cet effet, il serait nécessaire d'évaluer l'impact des outils technologiques sur la productivité. Pour ce faire, il existe plusieurs approches pour mesurer cet impact, cependant, ces approches sont basées principalement sur le calcul de la productivité ce qui nécessite d'avoir des grandeurs factuelles nécessitant des expérimentations en chantier. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'une innovation dont son développeur ne dispose pas d'un terrain de test adéquat pour avoir les bonnes grandeurs, une caractérisation de la situation d'utilisation de l'outil sera plus pertinente. Et cela pourra se faire par une évaluation de la valeur ajoutée de l'outil technologique innovant. En effet il s'agira de mesurer la capacité de l'outil à répondre aux besoins spécifiques pour lesquels il a été développé et aussi pour bien positionner le rôle qu'il occupera dans son futur champ d'intervention.

C'est ce qui a amené ce travail de recherche à essayer de combler ce manque en proposant une méthode aux startups et aux entreprises pour évaluer la valeur ajoutée de leurs nouveaux outils technologiques dédiés à l'industrie de la construction. Cette évaluation permettra d'améliorer les fonctionnalités de l'outil et les adapter aux contextes d'utilisation prévue.

CHAPITRE 2

ÉTAT DE L'ART

2.1 Propriétés de la productivité en construction

2.1.1 Définition de la productivité

La productivité peut être définie par la mesure de l'efficacité à transformer les intrants, souvent le travail ou le capital, en production. La combinaison de plusieurs intrants pour mesurer leurs influences sur la production définit la productivité multifactorielle (Vogl et Abdel-Wahab, 2015). Dans le contexte de l'industrie de la construction, l'aspect multifactoriel présente une difficulté à être adopté tenant compte de l'hétérogénéité de ces facteurs d'influence. Sur cette base la mesure de la productivité en construction serait plus significative en unifactoriel, tel que, la productivité de travail, un indicateur très parlant pour les gestionnaires de projets de construction et plus précisément en phase chantier. Néanmoins (Nasirzadeh et Nojedehi, 2013) affirment que la perte de la productivité en construction est généralement attribuée à divers facteurs plutôt qu'à un seul. De plus, les facteurs affectant la productivité du travail dans la construction sont rarement indépendants des autres, certains facteurs peuvent être le résultat de la même cause, ou un facteur peut en déclencher l'apparition d'autres. Les recherches précédentes avaient étudié les effets d'un des facteurs d'influence sur la productivité du travail et elles ne sont pas en mesure de déterminer l'effet de tous les facteurs d'influence. La productivité du travail est influencée par plusieurs facteurs qui ont des interactions complexes entre eux.

2.1.2 Calcul de la productivité en phase chantier

Plusieurs formules ont été proposées dans la littérature pour mesurer la productivité dans les projets de construction, en utilisant de nombreuses approches. Certaines de ces approches se

concentrent sur le rapport Input-Output tel qu'il a été développé par le Construction Industry Institute - CII. Il s'agit d'un système comprenant le compte rendu d'un système de mesure des entrées et sorties et un système d'évaluation des performances pour mesurer la productivité sur site (CII, 1990). Park, Thomas, et Tucker (2005) affirment l'absence de définition commune de la productivité en général dans l'industrie de la construction. Une autre façon de calculer la productivité attendue est de prendre en compte davantage de paramètres tels que les facteurs environnementaux du projet et l'effort de gestion (Park, 2006).

Poirier et al., (2015) comparent la productivité du travail entre les zones qui ont adopté le BIM et la préfabrication et les zones où ces technologies n'existaient pas. Ils ont utilisé comme entrée parfois le temps, parfois le coût et en sortie parfois le poids, parfois la longueur.

Les modèles proposés de la productivité en construction sont souvent statiques et difficiles à surmonter la subjectivité de certains facteurs influençant la productivité. La modélisation multifactorielle peut alors être utilisée pour capter le dynamisme des projets en construction (Gerami Seresht et Fayek, 2018). La productivité a fait l'objet de nombreuses discussions de la part des gestionnaires, mais elle n'est pas clairement définie, est souvent confondue avec des notions similaires. De plus, la productivité est rarement mesurée d'une manière concrète, ce qui conduit malheureusement à un malentendu (Tangen, 2005).

On peut voir que les formules de productivité dans l'industrie de la construction sont de la même variation que les projets de construction. Ces formules sont généralement basées sur l'utilité de mesurer de la productivité et sur les spécifications de l'organisation. Le (Tableau 2.1) regroupe les variations des formules discutées dans ce paragraphe.

Tableau 2.1 Illustration des différentes formules du calcul de la productivité
fournie par la littérature scientifique

Référence	Formule																
(CII, 1990)	$\text{Productivité de travail} = \frac{\text{Heures de travail réelles}}{\text{Quantité installée}}$																
(Park et al., 2005)	$\text{Productivité de travail} = \frac{\text{Entrée}}{\text{Sortie}}$ $= \frac{\text{Heures de travail réelles}}{\text{Quantité installée}}$																
(Park, 2006)	$\text{Productivité attendue} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ <p>Avec, X_1: facteurs d'environnement du projet X_2: efforts de gestion β_1: impact standard des facteurs d'environnement du projet β_2: impact standard des efforts de gestion</p>																
(Poirier et al., 2015)	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;"><i>INPUT</i></th> </tr> <tr> <th style="border-right: 1px solid black;"></th> <th style="border-right: 1px solid black;"><i>Durée</i></th> <th style="border-right: 1px solid black;"><i>Coût</i></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;"><i>OUTPUT</i></td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;"><i>Longueur</i></td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;"><i>h/pi</i></td> <td style="text-align: center;"><i>h/lb</i></td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;"></td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;"><i>Poids</i></td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;"><i>\$/pi</i></td> <td style="text-align: center;"><i>\$/lb</i></td> </tr> </tbody> </table>	<i>INPUT</i>					<i>Durée</i>	<i>Coût</i>		<i>OUTPUT</i>	<i>Longueur</i>	<i>h/pi</i>	<i>h/lb</i>		<i>Poids</i>	<i>\$/pi</i>	<i>\$/lb</i>
<i>INPUT</i>																	
	<i>Durée</i>	<i>Coût</i>															
<i>OUTPUT</i>	<i>Longueur</i>	<i>h/pi</i>	<i>h/lb</i>														
	<i>Poids</i>	<i>\$/pi</i>	<i>\$/lb</i>														
(Gerami Seresht & Fayek, 2018)	$MFP \left(\frac{\$}{\text{Unités}} \right) = \text{Coût direct du travail} \left(\frac{\$}{\text{Unités}} \right)$ $+ \text{Coût direct équipement} \left(\frac{\$}{\text{Unités}} \right)$ $+ \text{Coût direct matériel} \left(\frac{\$}{\text{Unités}} \right)$																

2.2 La technologie de l'information comme solution pour améliorer la productivité dans la construction

2.2.1 Définition et principes

Les avantages de l'automatisation et de l'intégration des technologies de l'information ont un énorme potentiel pour changer les processus de construction (Grau et al., 2009). En conséquence, les technologies de l'information joueront un rôle de premier plan dans l'amélioration de la productivité du travail à l'avenir. Cependant, le manque d'informations et le scepticisme quant aux avantages des TI ont contribué à la réticence du secteur de la construction à mettre en œuvre de nouvelles technologies (Zhai et al., 2009).

Basé sur les travaux de (Sacks et al., 2020), nous pouvons regrouper les outils de technologie de la construction en quatre principales catégories (Tableau 2.2).

Tableau 2.2 Catégories d'outils technologiques en construction
adapté de Sacks et al. (2020)

Catégorie	Description	Exemple
1	Outils logiciels de gestion de conception et de construction	PlanGrid
2	Outils logiciels et matériels pour fournir des informations de la conception vers le terrain	HoloLens
3	Outils logiciels et matériels pour collecter des informations sur le chantier et les transmettre aux sections d'inspection	BIM 360 Field
4	Outils robotiques pour l'exécution des opérations de construction sur chantier	SCARA robots pour la construction

2.2.2 Adoption et utilisation de la technologie de l'information dans la construction

Les technologies de l'information continuent d'évoluer pour répondre aux spécifications de l'industrie de la construction. Les technologies de l'information ne se limitent plus à faciliter la gestion de l'information et l'archivage des données, mais sont plutôt devenues un facilitateur

de l'exécution du travail grâce à des outils programmables et connectés. Des outils technologiques innovants émergent de plus en plus sur les chantiers pour répondre aux besoins spécifiques de l'industrie de la construction. Les facteurs de cette industrie et les caractéristiques organisationnelles interagissent et poussent à l'adoption de nouvelles technologies (Mitropoulos et Tatum, 2000). Love, Irani, et Edwards (2004) ont mené une étude comparative pour mettre en évidence les avantages, les coûts et les risques des investissements en TI, en particulier pour les entreprises de construction considérées comme des « *retardataires technologiques* ». La technologie adoptée est généralement une technologie caractérisée par les prédicteurs les plus influents, notamment la fiabilité, l'efficacité et la durabilité (Nnaji et al., 2019). Ces besoins représentent des opportunités pour plusieurs entreprises et startups de concevoir et développer des outils innovants d'aide à la construction. Cependant, un véritable terrain de test pour évaluer les outils technologiques dans la construction présente souvent un frein lors du développement d'un nouvel outil technologique. Peu d'études ont mis en évidence l'évaluation des outils technologiques, étape cruciale pour adapter les fonctionnalités développées au contexte de production et valider la valeur ajoutée à apporter en adoptant l'outil évalué. Sepasgozar et Davis (2019) présentent des stratégies de diffusion pour les fournisseurs de nouvelles technologies impliqués dans l'Industrie 4.0 pour résoudre la problématique de la complexité des projets qui affecte le processus d'adoption des nouvelles technologies par les entreprises de construction.

2.2.3 Les tendances récentes des technologies dédiées à la construction

De nombreuses tendances de la technologie de la construction commencent à s'imposer dans l'industrie de la construction et deviennent des outils et des supports essentiels pour effectuer des travaux et réaliser des projets de construction.

Les technologies de construction telles que le BIM (Building Information Modeling) ont contribué à la transformation de certains processus au sein de l'industrie de la construction afin d'améliorer la qualité de la conception, d'éliminer les conflits et d'anticiper les erreurs éventuelles pour les éviter et par conséquent améliorer la productivité en se basant sur la coordination entre les parties prenantes en ayant une synchronisation entre planification, sécurité, gestion et coût (Chen et Luo, 2014).

Boton et al. (2020) ont examiné 2444 articles scientifiques publiés dans des revues avec comité de lecture entre 2010 et 2019 pour illustrer la cartographie de Construction 4.0 et fournir à la communauté scientifique une capture des tendances récentes dans la technologie de la construction. Nous pouvons alors déduire les tendances récentes de la technologie de la construction pour chaque année à partir de 2010 et voir comment elles ont évolué. La (Figure 2.1) montre les tendances de la technologie de la construction de l'année 2018.

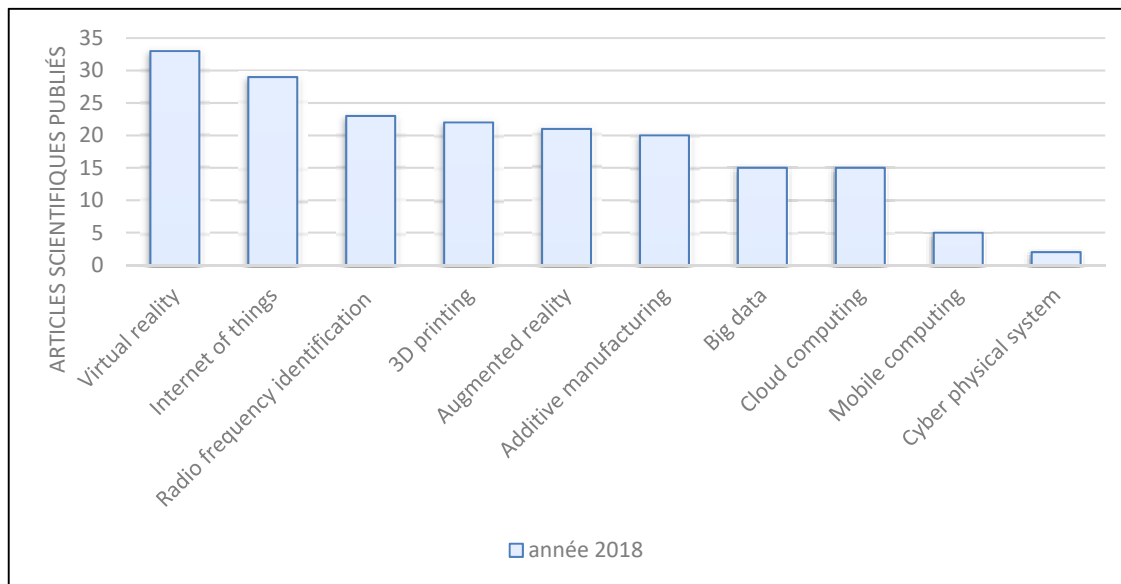


Figure 2.1 Tendances des technologies de construction de l'année 2018

adaptée de Boton et al. (2020)

Cependant, cette recherche est basée uniquement sur des mots-clés provenant d'articles publiés et peut ne pas refléter les vraies tendances récentes dans le domaine d'un point de vue professionnel. Concrètement, au cours des cinq dernières années, nous commençons à voir une panoplie d'entreprises spécialisées dans l'innovation des technologies de l'information et l'automatisation pour la construction. Ces entreprises sont généralement des startups qui ont été dynamisées par des programmes d'incubateurs, par des capital-risqueurs et des recherches scientifiques pour donner naissance à un écosystème appelé « *Construction Tech* » principalement basé sur le BIM, la surveillance de terrain, la robotique, l'intelligence artificielle (IA) et d'autres technologies (Sacks et al., 2020)

D'autres études discutent de la combinaison de ces technologies récentes pour améliorer l'efficacité de la construction et de l'exploitation. L'approche d'intégration des dispositifs BIM-IoT (Internet of Things) par exemple permet une connexion de sources de données complémentaires entre les deux technologies et donne la possibilité de se connecter à d'autres technologies via des interfaces de programmation API (Application Programming Interface) pour des usages divers tels que la gestion de l'énergie, la supervision de la construction, la gestion de la santé et de la sécurité au travail et aussi pour l'exploitation du bâtiment (Tang et al., 2019).

De plus, les instruments laser en tant qu'une technologie aide à effectuer des mesures dans la construction et en arpentage, leurs applications contribuent à améliorer la productivité (Rando & Zankowsky, 1982). Les études sur les applications laser se sont concentrées sur la numérisation laser pour la visualisation 3D de l'état du projet, la modélisation de l'information, le suivi des performances et la simulation (Boktor et al., 2014; Bosche et al., 2009; Leite et al., 2016). Par ailleurs, la projection laser des plans de construction peut considérablement aider à optimiser la productivité du travail sur chantier en gagnant du temps et en corrigeant les éventuelles erreurs avant d'effectuer les travaux. Néanmoins, cette application du laser a été peu discutée dans la littérature scientifique (Sacks et al., 2020) et nous ne disposons pas de données pour mesurer son impact sur la productivité.

2.3 Évaluation de l'impact de la technologie de l'information sur la productivité dans la construction

2.3.1 Impact des technologies de l'information sur la productivité en construction

S'il est généralement admis que les technologies de l'information peuvent grandement influencer la performance et la productivité des entreprises et des projets de l'industrie de la construction, très peu d'études empiriques ont été proposées pour quantifier cette valeur ajoutée. Berlak, Hafner, et Kuppelwieser (2020) ont tenté de vérifier l'impact des technologies sur l'augmentation de la productivité dans l'industrie de la construction à l'aide de trois études de cas de robots de production, d'impression 3D et de logiciels BIM. Ensuite, ils ont construit

un cadre basé sur le modèle d'acceptation technologique (TAM). De nombreuses recherches admettent que l'impact de la technologie de l'information sur la productivité nécessite plus d'études approfondies.

“ While we found that the implementation of BIM did influence the predictability of total project costs and labor costs across time, the impact of BIM on labor productivity required further investigation. ” (Poirier et al., 2015)

Aujourd'hui, on peut reconnaître la technologie comme un facteur influençant la productivité dans la construction qui vient en deuxième position après les facteurs de gestion (Dixit & Sharma, 2020) en particulier la technologie de l'information qui a la capacité de surmonter en même temps plusieurs facteurs qui influencent la productivité.

Par conséquent, les méthodes de mesure de l'impact des TI sur la productivité sont très importantes pour affirmer concrètement la valeur ajoutée de la technologie sur la productivité du travail dans l'industrie de la construction. Ce qui ouvre la porte à de futurs travaux de recherche de développer de nouveaux cadres pour mesurer efficacement la valeur ajoutée des outils technologiques et clarifier leurs impacts sur la productivité.

2.3.2 Les approches actuelles pour mesurer l'impact des outils technologiques sur la productivité

Bien que plusieurs méthodes existent pour mesurer l'impact des facteurs influençant la productivité, les cadres de mesure proposés par la littérature scientifique dans l'industrie de la construction reposent généralement sur deux approches; la première est le calcul de la Productivité Moyenne du Travail (PMT) pour examiner l'impact d'un seul facteur d'entrée. La seconde approche est le calcul de la Productivité Totale des Facteurs (PTF) pour examiner efficacement l'impact de tous les facteurs (multifactoriels) sur la productivité (Crawford et Vogl, 2006).

D'un autre point de vue, il existe des modèles prédictifs tels que proposés par (Goodrum et al., 2011) qui consistent à estimer le potentiel d'une technologie à avoir un impact positif sur la productivité dans la construction. Ce modèle regroupe l'aspect de l'analyse économique stratégique, la faisabilité technique et les problèmes d'utilisation de la technologie afin de

générer à la fin un score de performance. Cette méthode favorise les technologies les plus matures avec plus d'historiques, elles sont qualifiées par (Goodrum et al., 2011) comme des technologies prouvées à faible risque et très rentables.

De plus, on peut parler du développement des technologies de l'information en construction (TIC) (Björk, 1999; Turk, 2000) et de leur impact sur l'augmentation de la productivité. Mačiulytė-Šniukienė et Gaile-Sarkane (2014) déduisent des études rétrospectives de l'impact du développement des TIC sur la productivité du travail qu'elles présentent une controverse, car elles dépendent de beaucoup de paramètres intrinsèques à chaque recherche (échantillon, période, territoire, niveau de recherche). Cette controverse met un obstacle d'avoir une méthode générique qui nous permet d'affirmer que les TIC ou les TI augmentent la productivité du travail.

CHAPITRE 3

DÉMARCHE DE TRAVAIL

3.1 Méthodologie de recherche

3.1.1 Recherche en science du design

Le paradigme de la recherche en science du design consiste à créer un artefact innovant qui servira à repousser les limites des capacités humaines et organisationnelles (Hevner et al., 2004). L'artefact est construit sur la base des actions itératives définies et doit subir une évaluation (Hevner et al., 2004). L'artefact conçu dans ce travail de recherche est une méthode proposée aux startups et aux entreprises qui développent des produits innovants combinant entre la technologie de l'information et les techniques d'exécution des travaux en chantier de construction. La conception d'un modèle conceptuel, d'une méthode ou d'une instanciation exige une évaluation pour assurer sa validité. En effet cette méthode proposée est basée sur des données tirées directement du chantier à travers des entrevues ainsi que sur la base de la compréhension des fonctionnalités du produit que notre partenaire industriel était en train de développer. La perspective de l'évaluation ex post permet une initialisation de l'artefact dans un cas réel (Pries-Heje et al., 2008.) ce qui valide l'évaluation de notre méthode proposée par une étude qu'on avait menée sur le produit de notre partenaire industriel.

3.1.2 Démarche de travail

3.1.2.1 Déploiement de la démarche

Pour concevoir la méthode proposée, cette recherche s'est inspirée du cadre théorique de la recherche en science du design (Hevner et al., 2004; March & Smith, 1995; Pries-Heje et al., 2008.). La conception de la méthode proposée était basée sur un processus itératif qui repose

sur quatre phases désignées: contextualisation, identification, proposition et évaluation. Ces phases ont permis de construire une méthode proposée pour l'évaluation de la valeur ajoutée d'un nouvel outil technologique d'aide à la construction.

La première phase a été consacrée à la compréhension de la solution proposée par notre partenaire industriel, une startup qui développe un outil technologique d'aide à la construction (OTAC). La seconde phase fait place à l'assimilation du besoin de l'OTAC développé par le partenaire industriel et par conséquent à l'élaboration de la problématique de recherche. La troisième phase était axée sur la conception de la méthode proposée pour évaluer la valeur ajoutée d'un OTAC et établir les gabarits qui soutiennent la méthode proposée. La dernière phase était une initialisation dans un cas réel via une étude de cas pour valider la méthode proposée par le biais d'une évaluation ex post.

La (Figure 3.1) visualise lesdites phases chacune avec les actions qui ont été envisagées.

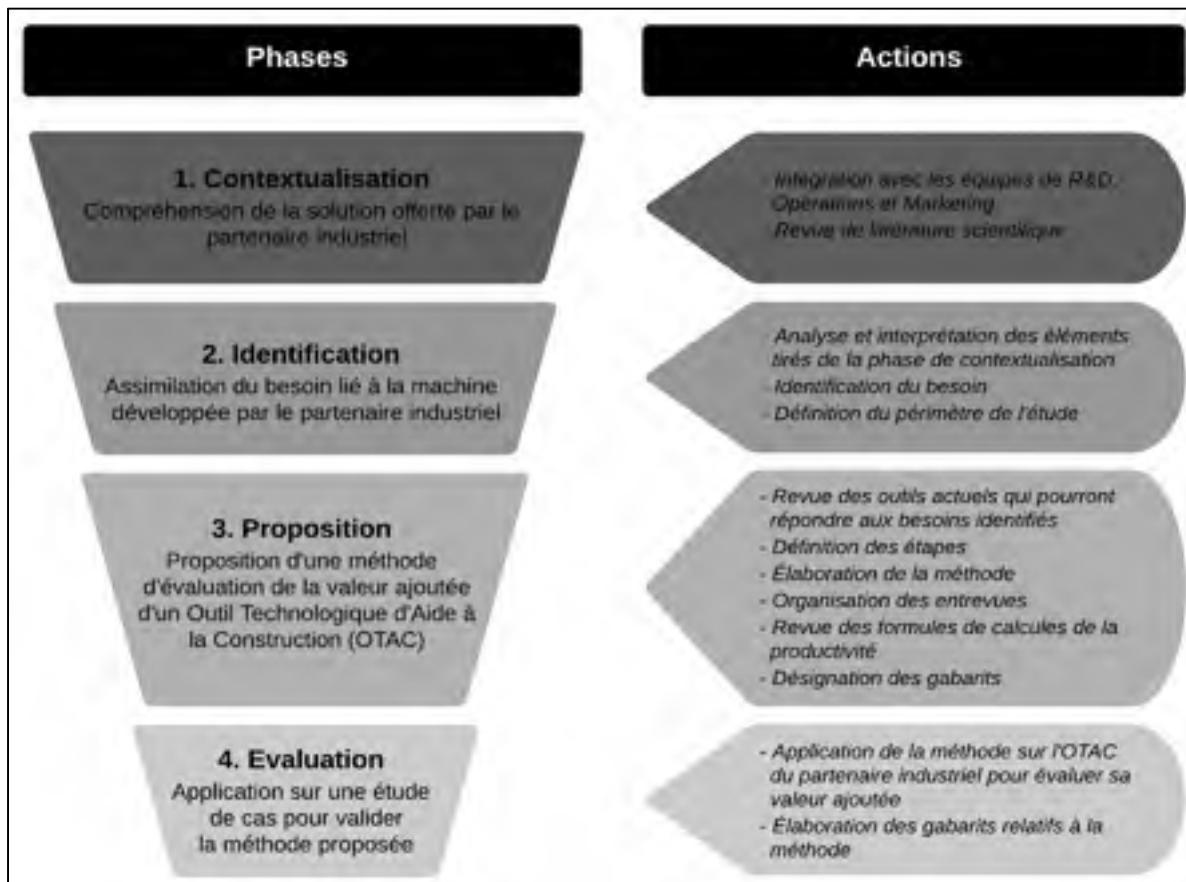


Figure 3.1 Démarche de recherche

3.1.2.2 Collecte des données

La collecte des données dans ce travail de recherche était basée d'abord sur la documentation technique dans le cadre de développement du prototype. Ainsi qu'à travers les réunions de travail avec le partenaire industriel tout au long de la période du projet pour cerner tous les aspects et les caractéristiques de leur produit. Les données qualitatives ainsi que les données factuelles étaient de provenance des gens du terrain interviewés. En effet, toutes les informations collectées sont devenues crédibles grâce à l'expérience significative des sous-traitants en système intérieur.

La documentation du partenaire industriel est stockée dans leurs propres serveurs de données et est confidentielle car c'est une innovation de rupture en phase de développement, mais cela n'a pas empêché ce travail de recherche de consulter et de questionner l'équipe du partenaire industriel pour tirer les informations nécessaires et utiles à notre étude.

Les entrevues semi-dirigées ont permis de fournir des données pour conclure des évidences sur les quatre volets questionnés (Tableau 3.1). Le profil des répondants est synthétisé dans le (Tableau 3.2). Le protocole de l'entrevue semi-dirigée est présenté à l'ANNEXE I et les évidences tirées des entrevues sont présentées à l'ANNEXE II

Tableau 3.1 Volets discutés entrevue semi-dirigée

Volet	Désignation
Situation d'utilisation	- Cas de l'implantation des murs intérieurs pour un projet de type résidentiel Condominium sur une dalle en béton
Erreurs fréquentes	- Reprise de travail - Positionnement des systèmes
Productivité de travail	- Définition de la productivité de travail en chantier - Pistes d'amélioration - Impact sur le calendrier et sur le coût
Coordination	- Moyens et médiums de communication entre les intervenants - Degré d'utilisation des TI

Tableau 3.2 Profil des répondants

Profil	Expérience	Durée d’entrevue	Date d’entrevue
Président	20 ans	40 min 23 s	08 juillet 2020
Gestionnaire de projet	15 ans	34 min 07 s	17 juillet 2020
Contremaître	10 ans	48 min 16 s	24 août 2020

Une autre source pour collecter plus de données a été tentée sur un échantillonnage plus large. Il s’agit d’un sondage électronique édité sur Formulaire Google (ANNEXE III) et est mis en ligne sur différent support pour cibler une population précise à travers des hashtags (Blog du partenaire industriel, LinkedIn, Twitter et courriel), mais, malheureusement ce sondage n’a pas vraiment suscité l’intérêt de la communauté de l’industrie de la construction connectée sur ces médiums. Par conséquent, on a renoncé à cette source vue que le nombre de réponses n’était pas représentatif pour apporter des données fiables.

3.2 Présentation de l’article publié

Ce travail de recherche a fait l’objet d’une publication d’article scientifique intitulé « *Proposal of a method for assessing the added value of new technological tools relative to productivity on site - A case study* » (CHAPITRE 5) sur lequel il a été publié les étapes à suivre de la méthode proposée pour évaluer la valeur ajoutée d’un nouvel outil technologique. De plus, l’article présente une étude de cas pour d’abord initialiser la méthode proposée et ensuite pour fournir une démonstration à travers une application directe sur l’outil technologique du partenaire industriel. En effet, cet outil était en cours de développement au moment de la réalisation de ce travail de recherche et il avait besoin de se positionner par rapport à son futur univers.

L’article présente également des conclusions d’ordre général pour apporter quelques réponses aux questionnements qui se sont exposées en revue de littérature, notamment, sur la capacité de ces outils technologiques à améliorer les performances de la productivité de travail en chantier de construction. Aussi, l’impact des erreurs sur le coût et sur le temps pour la situation

d'utilisation prospectée dans l'étude de cas. Dans un autre angle, l'étude de cas souligne l'importance de la rentabilité à long terme de ses outils et la nécessité d'avoir des preuves à l'appui pour justifier l'investissement d'adopter une nouvelle technologie. L'étude de cas fait ressortir le point d'efficacité des outils technologiques en chantier ainsi que le potentiel pratique de leurs utilisations.

CHAPITRE 4

PROPOSITION D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA VALEUR AJOUTÉE D'UN NOUVEL OUTIL TECHNOLOGIQUE D'AIDE À LA CONSTRUCTION (OTAC)

4.1 Méthode proposée pour évaluer la valeur ajoutée d'un outil technologique d'aide à la construction

La méthode proposée comprend quatre étapes séquentielles (Figure 4.1). La première étape consiste à décrire l'OTAC que vous souhaitez tester et l'utilité de ses fonctionnalités. La deuxième étape décrit la situation d'utilisation, c'est-à-dire le travail pour lequel cet OTAC sera utilisé et les ressources d'utilisation dédiées. Cette étape se termine par une activité de validation jugée nécessaire pour passer à l'étape suivante. La validation est effectuée par des experts externes. Sinon, dans le cas où ce serait impossible, nous pouvons mettre en place un focus group multidisciplinaire pour mener une réflexion rapide sur les résultats de la deuxième étape. La troisième étape est consacrée à la caractérisation des pratiques de travail sans l'OTAC et avec l'OTAC à partir des résultats fournis par l'étape précédente. La validation des résultats de la troisième étape est essentielle aussi pour examiner les deux scénarios d'utilisation. La quatrième étape est l'évaluation de la valeur ajoutée de l'OTAC, en premier lieu par une vue d'ensemble des deux scénarios; (1) la manière traditionnelle dans la pratique actuelle et (2) l'utilisation d'un équipement innovant. Ensuite, ce serait à travers une caractérisation de la manière traditionnelle et une compréhension du processus de travail innovant. À la fin il conviendrait de faire une qualification multidimensionnelle des caractéristiques de la situation d'utilisation.

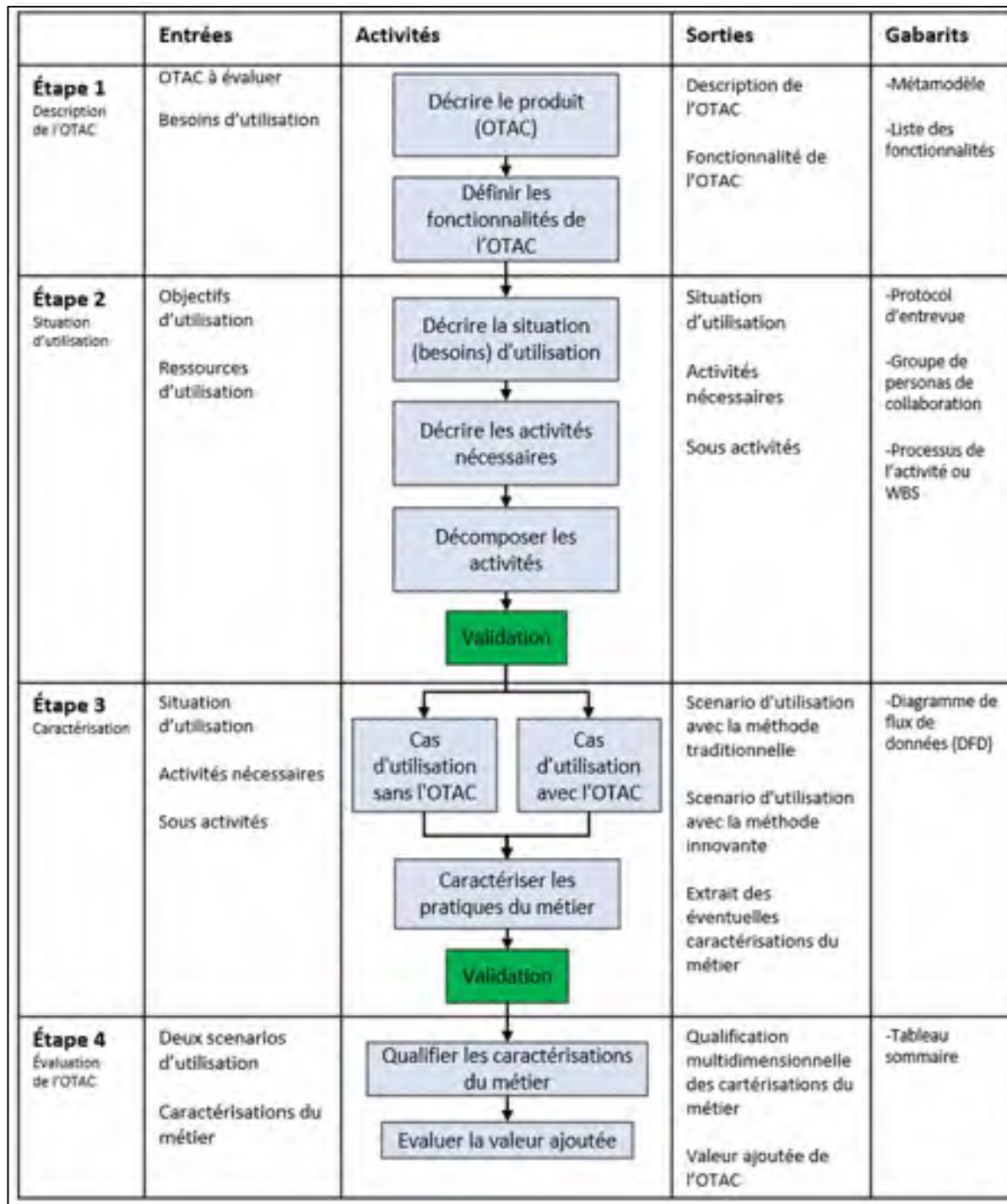


Figure 4.1 Aperçue générale de la méthode proposée

4.2 Décortication de la méthode proposée

4.2.1 Étape 1: Description de l'OTAC

La première étape est très fine pour laquelle l'OTAC doit être bien décrit. La méthode proposée fournit des gabarits qui peuvent faciliter la description de l'outil technologique. En fonction du niveau d'évolution de développement du prototype, la méthode proposée s'adapte de telle sorte que si l'OTAC n'est pas encore produit, il y a la possibilité de le modéliser par un métamodèle en utilisant le mécanisme d'extension UML (Bup-Ki Min et al., 2011). Dans la (Figure 4.2), il est suggéré de modéliser l'OTAC via un métamodèle basé sur le diagramme de classes de l'UML. De plus, les fonctionnalités de l'OTAC doivent être décrites en détail sous la forme d'une liste de fonctionnalités.

Les résultats de cette étape consistent d'abord à établir une description de ce que l'OTAC est capable de faire par le biais d'une modélisation en utilisant le diagramme de classe de l'UML. Ensuite, consolider les inputs et outputs en liste de fonctionnalités.

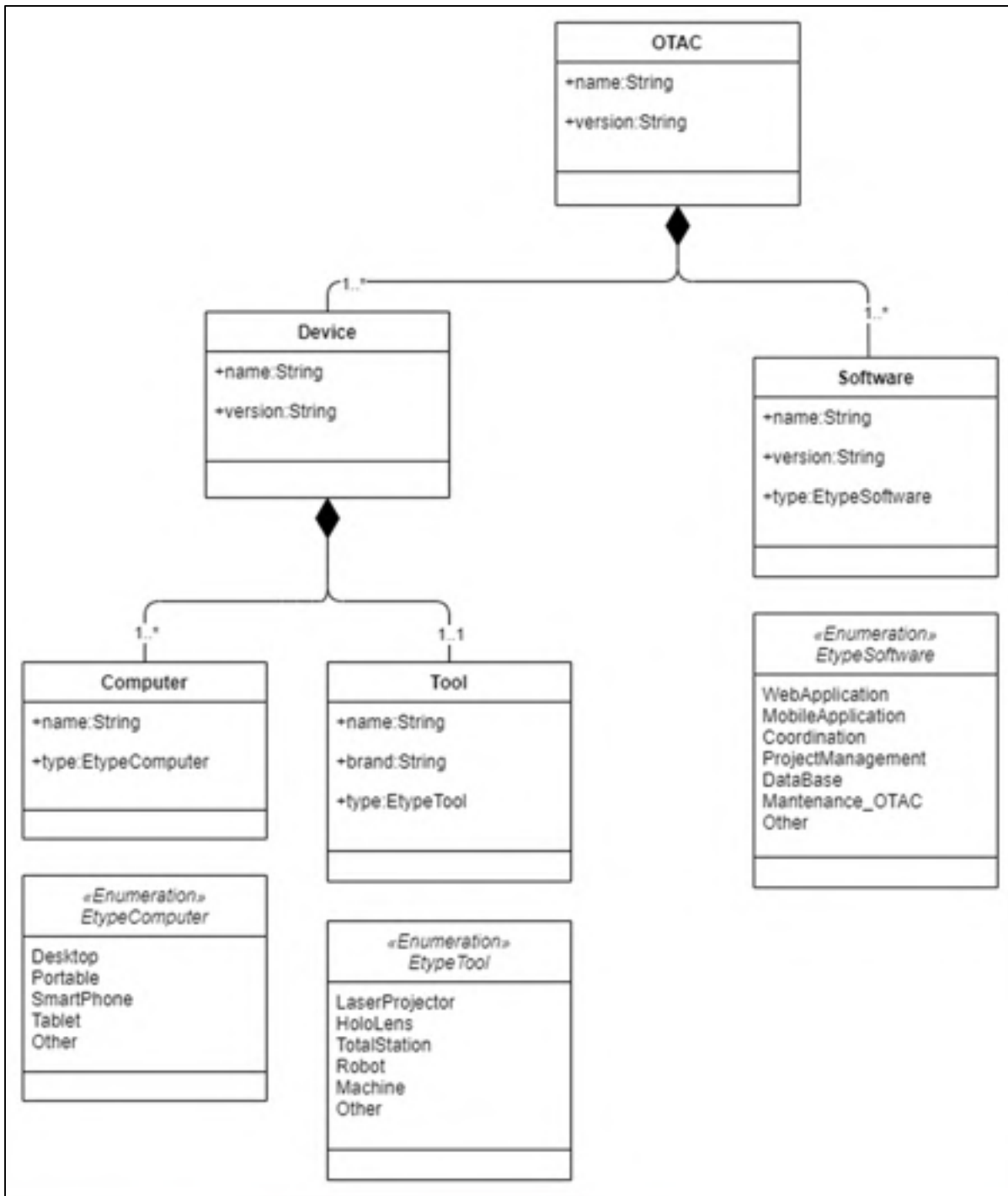


Figure 4.2 Métamodèle de l'Outillage Technologique d'Aide à la Construction (OTAC)

4.2.2 Étape 2: Situation d'utilisation

Une fois l'OTAC est décrit, nous passons à la deuxième étape pour décrire une situation d'utilisation de cet outil. Pour y arriver, deux approches différentes complémentaires sont proposées; (1) entrevues avec les gens de métier et (2) utilisation de personas de collaboration. Les entrevues avec des gens de métier donnent un aperçu de la situation d'utilisation telle qu'elle se fait dans la pratique en chantier. Les personas sont une approche utilisée pour la description du travail collaboratif. En effet, c'est un modèle pour représenter des utilisateurs fictifs d'un système homme-machine par des individus similaires aux utilisateurs réels (Pruitt et Grudin, 2003). Cette approche a évolué en répondant aux besoins du travail collectif et des communautés de travail en groupe pour devenir des «*Collective Personas*» (Giboin, 2011). Matthews et al., (2010) ont fourni un cadre pour développer un lieu de travail collaboratif afin de concevoir un support collaboratif répondant aux spécifications de l'utilisation prévue. Plusieurs études ont utilisé cette approche dans la recherche en science du design pour concevoir un groupe de personas collaboratifs adapté aux contextes de leurs évaluations.

Les résultats de cette étape se résument premièrement dans l'identification de la situation d'utilisation, ensuite, dans le détail des activités requises ainsi que les sous-activités. Ces résultats peuvent être exprimés par un processus d'activité ou un WBS et par le groupe de personas de collaboration.

4.2.3 Étape 3: Caractérisation

Pour caractériser les pratiques de travail, nous aurons besoin des résultats de l'étape 2, toutes les données (situation d'utilisation, activités requises, sous-activités). Ces données comme nous l'avons mentionné ci-dessus doivent au préalable faire l'objet d'une validation. La situation d'utilisation que nous avons décrite à l'Étape 2 peut être exercée selon deux méthodes, soit de la manière traditionnelle, soit de la manière innovante avec l'OTAC. Ce qui donne deux scénarios. Le scénario 1 (sans OTAC) est une capture de la situation d'utilisation telle qu'elle se fait dans la pratique en chantier. Alors que le scénario 2 (avec OTAC) serait la nouvelle façon de faire la situation d'utilisation à travers l'intégration de l'OTAC dans le processus de travail, ce sera donc le nouveau script proposé par le développeur.

Chaque scénario présente une ventilation des activités pour lesquelles il est nécessaire d'extraire des informations susceptibles de caractériser la situation d'utilisation ainsi que les problèmes rencontrés en chantier. La meilleure manière pour bien comprendre la situation d'utilisation étudiée est de s'approcher des gens de métier directement pour énumérer les caractéristiques concrètes de leur métier.

Les résultats de l'étape de la caractérisation sont d'abord les deux scénarios du cas d'utilisation illustrés par le digramme de flux de donnée (DFD). Ensuite une caractérisation détaillée des éventuels problèmes rencontrés ou des besoins incitants issus de la pratique en chantier. Cette caractérisation peut être représentée par un tableau sommaire.

4.2.4 Étape 4: Évaluation de l'OTAC

L'étape d'évaluation consiste à qualifier la valeur ajoutée de l'outil technologique (OTAC). La notion de «valeur ajoutée» n'a pas fait l'objet d'un consensus dans la littérature scientifique et est fragmentée (Woodruff, 1997). Cependant, De Chernatony et al., (2000) ont conclu que la valeur ajoutée est une construction multidimensionnelle qui peut jouer divers rôles et peut également être interprétée de différentes manières par différentes personnes. En adoptant cette définition de De Chernatony et al. (2000), nous avons considéré trois dimensions, à savoir (1) une dimension théorique (2) une dimension commerciale et (3) une dimension pratique. De plus, la qualification de valeur ajoutée de l'OTAC signifie sa capacité à atténuer les problèmes rencontrés et à répondre aux besoins émergeant de la compréhension du scénario 1 (sans OTAC) par rapport aux trois dimensions.

Les résultats de cette étape résument l'aboutissement de la méthode proposée. Il s'agit d'une qualification multidimensionnelle des caractéristiques du métier résultantes de l'Étape 3 et de la valeur ajoutée de l'OTAC. L'étude de cas présentée dans le CHAPITRE 5 montrera une application explicite de cette méthode d'évaluation.

CHAPITRE 5

PROPOSAL OF A METHOD FOR ASSESSING THE VALUE ADDED OF NEW TECHNOLOGICAL TOOLS RELATIVE TO PRODUCTIVITY ON SITE A CASE STUDY

Ismail Belkajja^a, Conrad Boton^b

^{a, b}Département de Génie de la construction, École de Technologie Supérieure,
1100 Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada H3C 1K3

Article soumis pour publication dans « Construction Management and Economics »,
Novembre 2020

5.1 Abstract

Despite its complex nature, the construction industry has been able to leverage the exponential evolution of information technology to come up with a host of technological solutions. Meeting the challenge of improving labor productivity on-site requires not only high managerial performance, but also high performance of materials and equipment used to carry out work. Several startups specialized in information technology innovation and automation have immersed in the construction industry to innovate Technology Aided Construction Tools (TACT). However, such startups invariably face difficulties assessing the added value of their prototypes before and during development due to a lack of real testing grounds. The research work presented in this article aims to propose a method dedicated to startups and companies that develop TACT, allowing them to assess the added value of their prototypes. The proposed method was designed following the guidelines of Design Science research, and a case study was carried out for the ex-post evaluation. The method can provide support for developers of technological tools dedicated to construction. It will allow them to improve features and adapt products to the conditions of the intended use situation.

Keywords: added value, impact of technological tools, construction site, information technology, laser projection

5.2 Introduction

Construction projects break down into three main phases: design, construction, and operation. During these phases, a large flow of information and material is managed and exchanged between all the stakeholders in the supply chain (Björk, 1999; Turk, 2000) in order to achieve the expected objectives, as well as to respect planned deadlines. However, considerable constraints can emerge during the construction phase, such as a lack of collaboration, or even a lack of precision, which usually leads to rework and delays, as well as non-quality (Akinsiku et Akinsulire, 2012). Construction projects also face hurdles in terms of many coordination, delay and cost overruns problems due to design and construction errors (J. Matthews et al., 2015). One of the most common shortcomings is related to the positional accuracy of materials on site, and this has been identified as an area with great potential for improvement, that can have a positive impact on the development of construction processes (Vorster et Lucko, 2002).

The above problems impact construction productivity, which is an important key performance indicator for the optimization of work processes, but which is also difficult to quantify in the construction industry, especially as it is characterized by fragmentation and non-standardization of work processes (Howard et al., 1989; Sezer et Bröchner, 2014). Improved construction productivity can help eliminate time and cost overruns (Kaming et al., 1998). Productivity in construction is defined by a ratio of outputs and inputs, and this ratio is also a performance evaluation system used to measure productivity on site (CII, 1990). Vogl et Abdel-Wahab (2015) considered production in construction as output and is defined by a function linking tangible and intangible inputs to the production process such as three main variable inputs: labor, capital and materials. In addition, there may be other factors affecting construction productivity, and these must be appropriately identified and addressed in order to improve project performance (Hasan et al., 2018). There is a quantifiable and positive relationship between improved materials technology and improved construction productivity

(Goodrum et al., 2009; Zhai et al., 2009). The majority of the research on productivity in construction is focused on labor productivity being the most significant indicator of measuring project performance.

Information technology (IT) has a significant impact on productivity in construction (Howard et al., 1989). Many IT solutions, particularly technological tools and collaborative software, have thus been developed to optimize the performance of the supply chain. However, while several methods exist to measure productivity, which has attracted a lot of research interest in recent decades (Dixit et al., 2019; Yi et Chan, 2014). There are few studies examining the link between factors influencing productivity and the functionalities proposed by IT tools (Hasan et al., 2018). However, most startups working on the development of innovative technological tools that can be used to improve labor productivity on construction sites generally lack real testing grounds to assess the tools during their prototype development phase.

The research work presented in this paper was conducted in collaboration with an industrial partner, specialized in the development of IT software and hardware solutions dedicated to the construction industry. It proposes the development of a practical framework for effectively assessing the added value of technological tools at construction sites. The research question can be summarized as follows:

How can a startup assess the added value provided by a new Technology Aided Construction Tool (TACT) without necessarily having a real testing ground?

To answer this question, the research aims to propose a method dedicated to startups and companies that develop TACT, allowing them to assess the added value of their prototype through a characterization of the traditional method and an understanding of the innovative one proposed herein, based on qualitative data collected from tradespeople.

The paper is organized into five main sections. Section 2 presents the literature review, focusing on productivity in construction projects and the impact of information technology on productivity in construction. Section 3 introduces the research methodology based on design science research. Section 4 presents the practical framework of the proposed method. Section

5 is dedicated to a case study, used as an initialization and ex-post evaluation of the proposed method. The last sections (6 and 7) cover the discussion of the study's findings and the conclusions drawn.

5.3 Literature review

In this section, we explore the literature to characterize the notion of added value, with an emphasis on the concepts of productivity, quality and information technology in construction.

5.3.1 Productivity in construction projects

5.3.1.1 Construction projects and productivity issues

Each project has intrinsic characteristics, such as invested capital, size, established organization, technology deployed and equipment used, etc. This defines the complexity of the project all the more when it comes to construction projects (Baccarini, 1996; Xia et Chan, 2012). The construction process is broken down into several stages and brings together a wide range of stakeholders. The diversity of tasks between supply chain stakeholders generates interdependent relationships based on the joint use of resources, activities undertaken in construction, and synchronization between other supply chains in relation to each construction project (Bankvall et al., 2010). A construction company carries out only a limited part of the project using its own resources. Overall, this is a strategy to distribute and mitigate risks and to regularize the volatile construction market (Segerstedt and Olofsson, 2010).

The construction industry is very competitive, and so to survive, companies must improve their construction productivity performance. Productivity management is currently recognized as a formal project management process in construction (Park et al., 2005). The report by Sir John Egan, "*Rethinking Construction*", challenged the construction industry to measure its performance across a range of activities and to meet an ambitious set of improvement targets (Egan, 1998). The KPI Working Group then set out to meet this challenge by relying on the "*KPI Pack*" to present organizations with a frame of reference for activities at a level close to

real working conditions, such as the correction of defects and the satisfaction of customers' expectations (The Kpi Working Group, 2000).

Other research has also focused on improving the performance of the construction industry by adopting the methods and tools deployed by the manufacturing industry. Tzortzopoulos et al. (2020) proposed a corpus of the “*Lean construction*” concept presented as a fundamental support for improving construction performance through the results of nearly 25 years of scientific research. Nevertheless, “*continuous improvement*” in construction, inspired by Toyota's production system, did not meet the long-term expectations of the supply chain (Smyth, 2010). Indeed, the improvement of labor productivity in the construction industry must be contextualized and this is possible today thanks to information technologies that can unite various disciplines (Björk, 1999), significantly simplify coordination between stakeholders and facilitate the overall monitoring of projects.

5.3.1.2 Defining productivity

Productivity can be defined by measuring the efficiency of transforming inputs, often labor or capital, into production. The combination of these multiple inputs to measure their influences on production defines multifactorial productivity (Vogl et Abdel-Wahab, 2015). In the context of the construction industry, the multifactorial aspect is difficult to adopt, considering the heterogeneity of the above influencing factors. On this basis, the measurement of productivity in construction would be more significant in single-factor terms, such as labor productivity, a very meaningful indicator for construction project managers and more precisely in the construction phase. Nevertheless, Nasirzadeh et Nojedehe (2013) state that productivity loss in construction is generally attributed to a variety of factors, rather than to a single factor. In addition, factors affecting labor productivity in construction are rarely independent of others, as some factors may be caused by a single entity, or one factor may trigger the occurrence of others. Previous research studies looked at the effects of one of the influencing factors in labor productivity, but were unable to determine the effects of all influencing factors. Labor productivity is influenced by several factors with complex interactions.

5.3.1.3 Measuring productivity in construction project

Several formulas have been proposed in the literature to measure productivity in construction projects, using many approaches. Some of these approaches focus on the Input-Output report, as developed by the Construction Industry Institute. It is a system includes the report, an input and output measuring system, and a performance evaluation system to measure productivity on site (CII, 1990).

Park et al. (2005) affirm the lack of a common definition of productivity in general in the construction industry. Another method for calculating the expected productivity takes into account more parameters, such as the environmental factors of the project and the management effort (Park, 2006). Poirier et al. (2015) compare labor productivity between areas that adopted BIM and prefabrication and areas where these technologies did not exist. As Input, they sometimes used time, and in other cases, used cost, while for the Output, they used weight or length, depending on the case.

The proposed construction productivity models are often static and face difficulties overcoming the subjectivity of certain factors influencing productivity, multifactorial modeling can therefore be used to capture the dynamism of projects under construction (Gerami Seresht et Fayek, 2018). Although productivity as a concept has been scrutinized by managers, it is nevertheless not clearly defined, and is often confused with similar notions. In addition, productivity is rarely measured in a concrete fashion, which unfortunately leads to a misunderstanding (Tangen, 2005).

We can see in (Tableau 5.1) below that the productivity formulas in the construction industry are the same variation as construction projects. These formulas are generally based on the utility of measuring productivity and the organization's specifications.

Tableau 5.1 Illustration of productivity formula variations
obtain from the scientific literature

Reference	Formula																
(CII, 1990)	$\text{Labour pductivity} = \frac{\text{Actual work hours}}{\text{Installed quantity}}$																
(Park et al., 2005)	$\text{Labour pductivity} = \frac{\text{Input}}{\text{Output}}$ $= \frac{\text{Actual work hours}}{\text{Installed quantity}}$																
(Park, 2006)	$\text{Expected productivity} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ <i>Avec, X1: project environment factors</i> <i>X2: management efforts</i> <i>β1: standard impact of project environment factors</i> <i>β2: standard impact of management efforts.</i>																
(Poirier et al., 2015)	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2" style="text-align: center;"><i>INPUT</i></th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th style="text-align: center;"><i>Time</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Cost</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>OUTPUT</i></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>Length</i></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>h/ft</i></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>h/lb</i></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>Weight</i></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>\$/ft</i></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"><i>\$/lb</i></td> </tr> </tbody> </table>			<i>INPUT</i>				<i>Time</i>	<i>Cost</i>	<i>OUTPUT</i>	<i>Length</i>	<i>h/ft</i>	<i>h/lb</i>		<i>Weight</i>	<i>\$/ft</i>	<i>\$/lb</i>
		<i>INPUT</i>															
		<i>Time</i>	<i>Cost</i>														
<i>OUTPUT</i>	<i>Length</i>	<i>h/ft</i>	<i>h/lb</i>														
	<i>Weight</i>	<i>\$/ft</i>	<i>\$/lb</i>														
(Gerami Seresht et Fayek, 2018)	$\text{Multi Factor Productivity} \left(\frac{\$}{\text{Units}} \right)$ $= \text{Labor direct cost} \left(\frac{\$}{\text{Units}} \right)$ $+ \text{Equipement direct cost} \left(\frac{\$}{\text{Units}} \right)$ $+ \text{Material direct cost} \left(\frac{\$}{\text{Units}} \right)$																

5.3.2 Information technology as a solution to improve productivity in construction

5.3.2.1 Definition and principles

The benefits of automation and the integration of information technology have enormous potential to change construction processes (Grau et al., 2009). Information technologies will consequently play a leading role in improving future labor productivity. However, a lack of information and skepticism regarding the benefits of IT have contributed to reluctance in the construction industry to implement new technologies (Zhai et al., 2009).

Based on Sacks et al. (2020), we can group construction technological tools into four main categories (Tableau 5.2).

Tableau 5.2 Categories of technological tools in construction
adapted from Sacks et al. (2020)

Category	Description	Example
1	Design and construction management software tools	PlanGrid
2	Software and hardware tools to deliver information from design to the field	HoloLens
3	Software and hardware tools to collect information on the site and transmit it to the inspection sections	BIM 360 Field
4	Robotic tools for the execution of construction operations on site	SCARA robots for construction

5.3.2.2 Adoption and use of IT in construction

Information technologies are continually evolving to respond to the specifications of the construction industry. IT is no longer limited to facilitating information management and data archiving, but rather, has become a facilitator of work execution through programmable and connected tools. More and more, innovative technological tools are surfacing at construction sites to meet specific needs of the industry. Certain factors that are specific to this industry, coupled with organizational characteristics, are interacting to push the adoption of new

technologies (Mitropoulos et Tatum, 2000). Love et al. (2004) conducted a benchmarking study to highlight the advantages, costs and risks of IT investments, particularly for construction companies considered to be “*technological laggards*”. Generally, the technology adopted is characterized by the most influential predictors, including reliability, efficiency and durability (Nnaji et al., 2019). For a number of firms and startups, these needs represent opportunities to design and develop innovative construction support tools. However, a real test ground for evaluating technological tools in construction often presents a brake when developing a new technological tool. Few studies have highlighted the assessment of technological tools, which is a crucial step required to adapt any features developed to the production context and to validate the added value to be brought about by adopting the tool assessed. Sepasgozar et Davis (2019) present dissemination strategies for new technology suppliers involved in Industry 4.0 to resolve the problem of project complexity which affects the process of adoption of new technologies by construction companies.

5.3.2.3 Recent trends

Many trends in construction technology are beginning to take hold in the construction industry and are becoming essential tools and supports for performing construction work and carrying out construction projects.

Construction technologies such as BIM have contributed to the transformation of some processes within the construction industry in order to improve the quality of design, eliminate conflicts, anticipate and avoid possible errors, and consequently, improve productivity based on coordination between stakeholders. These are achieved by synchronizing planning, safety, management and costs (Chen et Luo, 2014).

Boton et al. (2020) examined 2444 scientific articles in peer-reviewed journals between 2010 and 2019 to illustrate Construction 4.0 mapping and provide the community with a capture of recent trends in construction technology. This allows us to deduce recent trends in construction technology for each year starting from 2010, and to see how they evolve. (Figure 5.1) illustrates the construction technology trends for the year 2018.

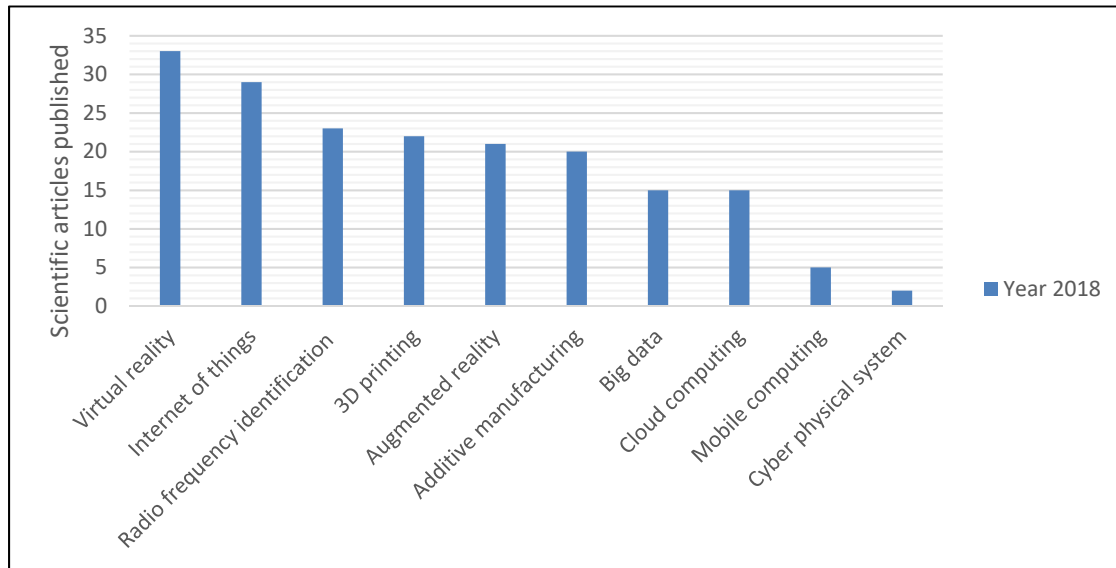


Figure 5.1 Construction technology trends of the year 2018

adapted from Boton et al. (2020)

For its part, though, this research is based only on keywords from published articles, and may not reflect real recent trends in the field, from a professional perspective. Concretely, during the last five years, we begin to see a panoply of companies specialized in the innovation of information technologies and automation for construction. These companies are generally startups that have been boosted by incubator programs, by venture capitalists and by scientific research to give birth to an ecosystem called “*Construction Tech*,” mainly based on BIM, field monitoring, robotics, Artificial Intelligence (AI) and other technologies (Sacks et al., 2020).

Certain studies have discussed the combination of these recent technologies to improve construction and operation efficiency. The approach involving the integration of BIM-IoT devices, for example, allows a connection of complementary data sources between the two technologies, and offers the possibility of connecting to other technologies via Application Programming Interfaces (API) for various uses, such as energy management, construction supervision, occupational health and safety management, and building operation (Tang et al., 2019).

Moreover, laser instruments as a technology helps to perform measurements in construction and surveying, their applications help to improve productivity (Rando et Zankowsky, 1982). Studies on laser applications have traditionally focused on laser scanning for 3D visualization of project status, information modeling, performance monitoring and simulation (Boktor et al., 2014; Bosche et al., 2009; Leite et al., 2016). Nevertheless, the laser projection of construction plans can drastically help in optimizing labor productivity on site by saving time and correcting any errors before carrying out the work. However, the scientific literature has generally shied away from this application of laser (Sacks et al., 2020), and we do not have data to measure its impact on productivity.

5.3.3 Evaluation of the impact of IT on productivity in construction

5.3.3.1 Impact of information technology on productivity in construction

While it is generally recognized that information technology can greatly influence the performance and productivity of companies and projects in the construction industry, very few empirical studies have been proposed to quantify this added value. Berlak et al. (2020) attempted to verify the impact of technologies on productivity increase in the construction industry using three case studies of production robots, 3D printing and BIM software. And then, they go on to build a model based on the Technology Acceptance Model (TAM).

Much research agrees that the impact of information technology on productivity requires further study:

“While we found that the implementation of BIM did influence the predictability of total project costs and labor costs across time, the impact of BIM on labor productivity required further investigation.” (Poirier et al., 2015)

Today, technology is recognized as a factor influencing productivity in construction, coming right after the top-ranked management factors (Dixit et Sharma, 2020) in particular information technology which has the ability to overcome at the same time several factors that influence productivity.

Therefore, methods of measuring the impact of IT on productivity are very important to concretely affirm the added value of technology on labor productivity in the construction industry. This provides an opportunity for future research to develop new frameworks to effectively measure the added value of technological tools and to clarify their impacts on productivity.

5.3.3.2 Existing methods to measure the impact of IT on productivity

Although several methods exist to measure the impact of factors influencing productivity, measurement frameworks proposed by the scientific literature in the construction industry are generally based on two methods. The first is the calculation of the Average Labor Productivity (ALP) to examine the impact of a single input factor, while the second one is the calculation of the Total Factor Productivity (TFP) to effectively examine the impact of all factors (Multifactorial) on productivity (Crawford et Vogl, 2006).

From another perspective, there are other predictive models, such as the one proposed by Goodrum et al. (2011), which consists in estimating the potential of a technology to have a positive impact on productivity in construction. This model groups together the strategic economic analysis and technical feasibility components, in addition to problems using technology to ultimately generate a performance score. This method favors more mature technologies with established histories, qualified by Goodrum et al. (2011) as proven low-risk and highly cost-effective technologies.

Furthermore, there is the development of Information Technology in Construction (ITC), and its impact on increasing productivity (Björk, 1999; Turk, 2000). Mačiulytė-Šniukienė et Gaile-Sarkane, (2014) deduce from retrospective studies the impact of ICT development on labor productivity that they present a controversy, as they depend on many intrinsic parameters for each research (sample, period, territory, level of research). This controversy puts an obstacle to having a generic method that allows us to say that ICT or IT increases labor productivity.

5.3.3.3 Research gap

The contextual aspect of projects in the construction industry, as well as the federation of a large number of stakeholders, make the industrialization of work processes very delicate and, as a result, it is unrealistic to define a standardized problem-solving methods like for the manufacturing industry. We face this difficulty when we attempt to measure labor productivity on site. Although companies in all construction trades are involved in a small part of the project, they must remain competitive. These companies are driven to continually improve their productivity and are constantly trying out all new equipment and technology trends to meet this challenge.

To fill these research gaps, this article focuses on a breakthrough innovation that calls for new research to identify its expected potential to improve productivity and optimize possible errors on site.

5.4 Research methodology

To design the proposed method, this research was inspired by the theoretical framework of Design Science research (Hevner et al., 2004; March et Smith, 1995; Pries-Heje et al., 2008). It was based on an iterative process that relies on four designated phases: Contextualization, Identification, Proposal, and Evaluation. These phases made it possible to build a model for assessing the added value of technological tools on construction sites. The first phase was dedicated to understanding the solution offered by our industrial partner, a startup developing a Technology Aided Construction Tool (TACT). The second phase allowed the understanding of needs for the TACT developed by the industrial partner and consequently, to elaborate the research problem. The third phase was focused on designing the proposed method for assessing the added value of a TACT and establishing the templates supporting the proposed method. The last phase consisted of an evaluation through a case study to initialize the proposed method. (Figure 5.2) summarizes the main phases and actions of our research approach.

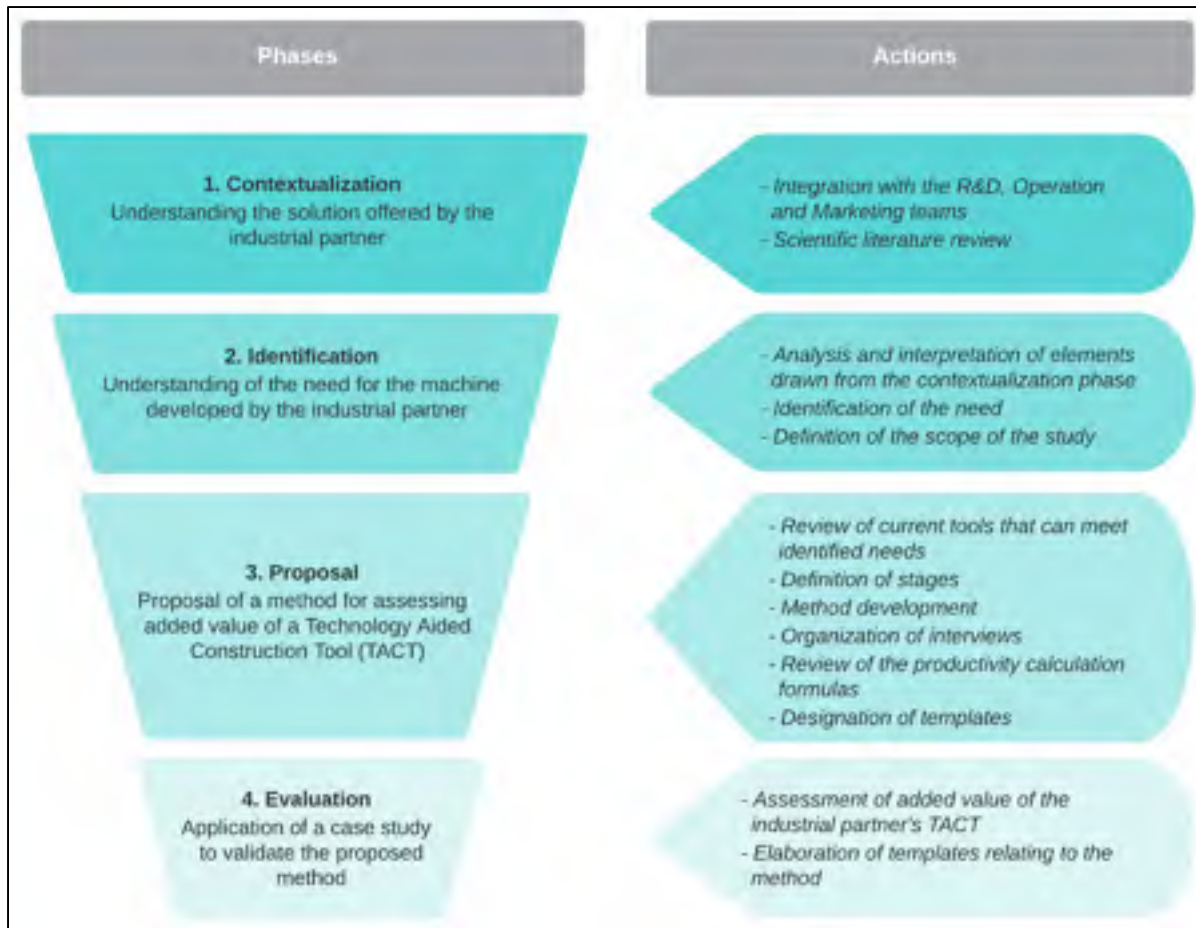


Figure 5.2 Research approach

5.5 An innovative method to assess added value of a new TACT

The proposed method consists of four sequential steps (Figure 5.3). Step one describes the TACT to be tested as well as its use requirements. The second step describes the use situation, that is, the work for which the TACT will be used and the dedicated use resources. This step ends with a validation activity considered as a prerequisite for proceeding to the next step. Validation is done either by external experts or by a multidisciplinary focus group to conduct a quick reflection on the outputs of the second step. The third step is dedicated to the characterization of job practices a) without the TACT, and b) with the TACT, based on results provided by the previous step. The validation of outputs from Step three is critical to examining

the two use scenarios and the job characterizations. The fourth step consists of the assessment of the added value of the TACT based on a multidimensional qualification using the characterizations of the job and the capacity of the TACT to overstate these job characterizations.

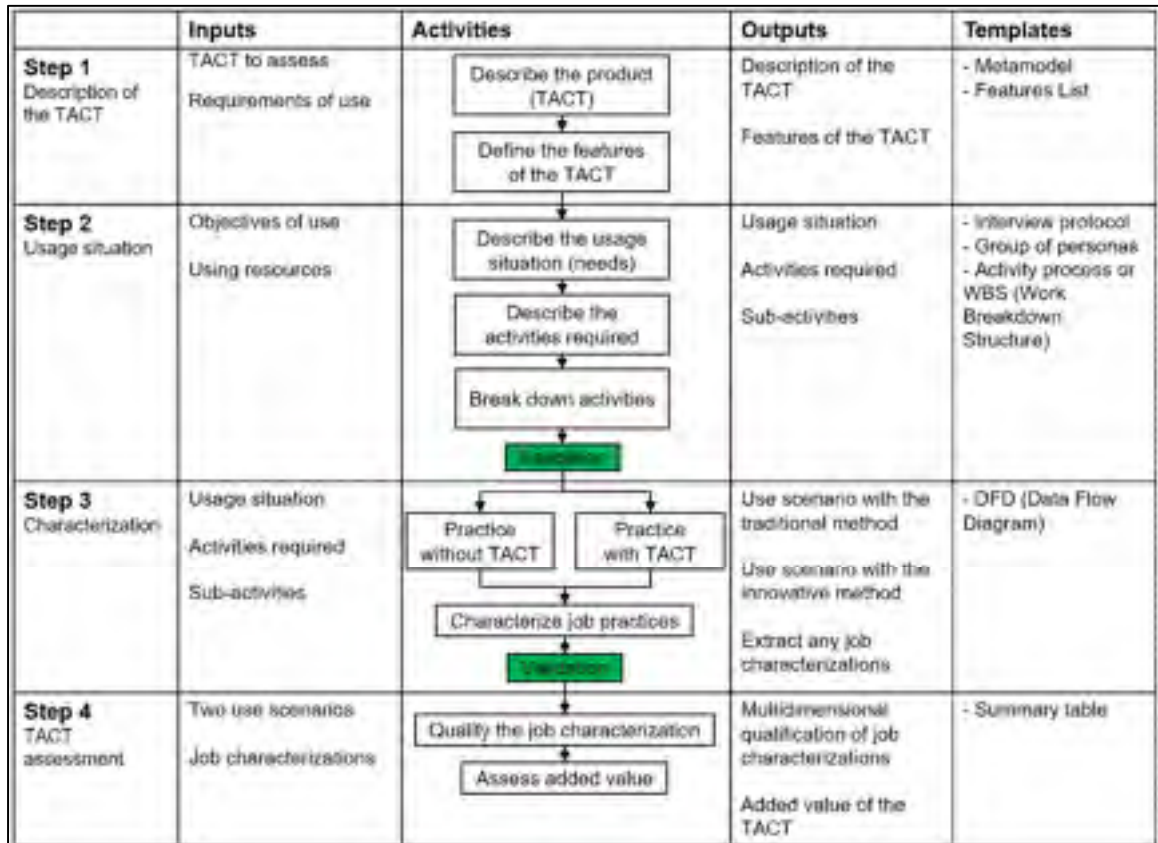


Figure 5.3 Overview of the proposed method

5.5.1 Step 1: Description of the TACT

The first step is a very fine for which the TACT must be well-described. The proposed method provides templates that may facilitate the description of the technological tool. Depending on the prototype evolution level, the proposed method adapts to allow the possibility of modeling the TACT by a metamodel using the UML extension mechanism, if it is not yet produced (Bup-Ki Min et al., 2011). Figure (5.4) suggests modeling a TACT through a metamodel based on the UML class diagram. Moreover, the TACT features should be described in detail in the form of a feature list.

The results of this step first establish a description of what the TACT is able to do through a modeling by the UML class diagram. Then, the inputs and outputs are consolidated into a list of features.

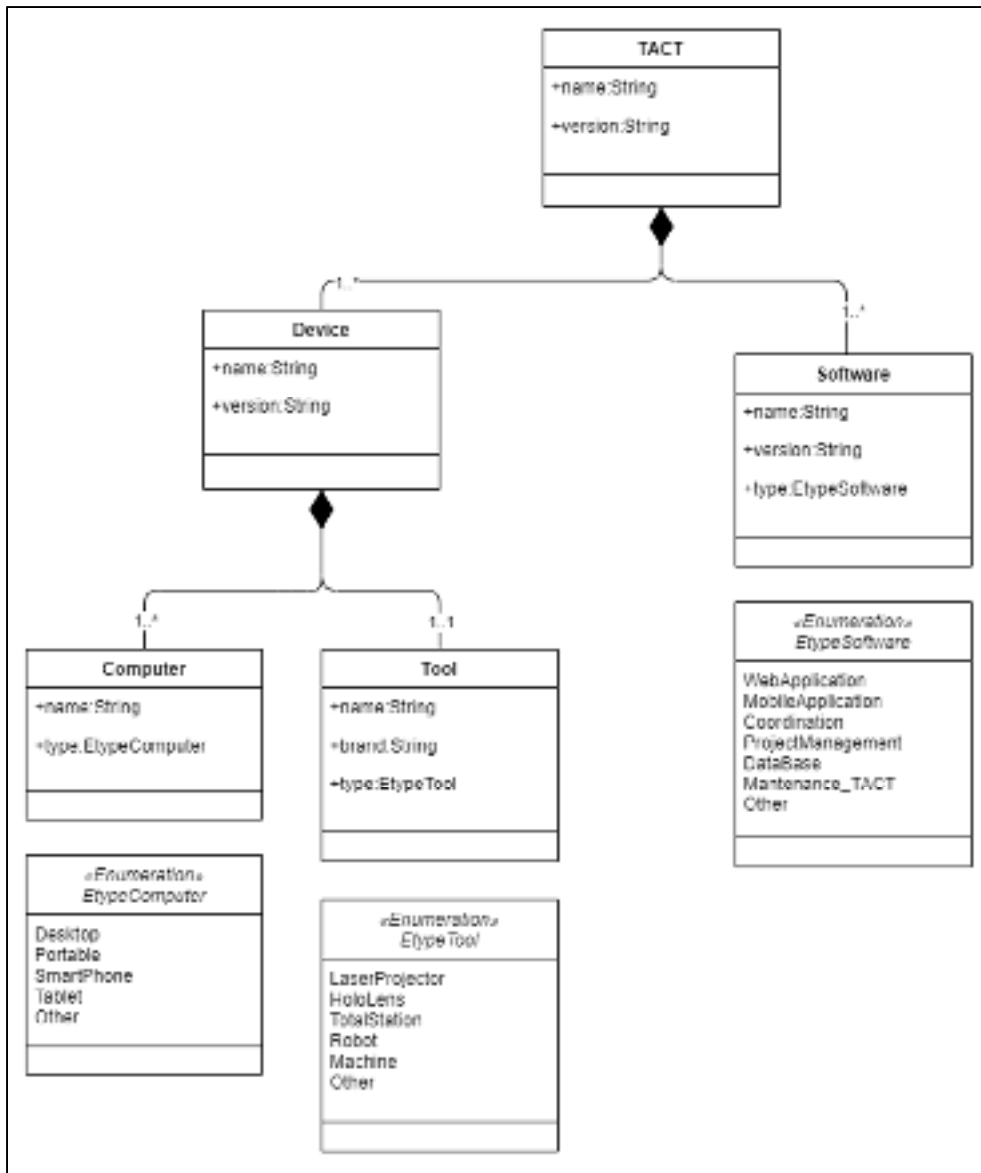


Figure 5.4 TACT metamodel – UML class diagram

5.5.2 Step 2: Usage situation

Once the TACT has been described, we proceed to the second step to describe a usage situation of this tool. To this end, two different complementary approaches are proposed:

- interviews with tradespeople and
- use of collaborative personas.

Interviews with tradespeople provide a snapshot of the use situation mirroring what is done on site. In addition, the use of personas represents an approach for describing collaborative work. It is in effect a model used to represent fictitious users of a man-machine system by individuals similar to real users (Pruitt et Grudin, 2003). This approach has evolved by responding to the needs of collective work and group work communities to become “*Collective Personas*” (Giboin, 2011). Matthews et al. (2010) provide a framework for developing a collaborative workplace in order to design a collaborative medium that meets the specifications of the intended use. Several studies have used this approach in Design science research to design a group of collaborative personas adapted to the context of their tests.

Results of this step are summarized first in the identification of the usage situation, and then in the details of the required activities and sub-activities. These results can be expressed by an activity process or by a WBS and by the group of collaborative personas.

5.5.3 Step 3: Characterization

To characterize job practices, we will need the results of Step 2 and all the data (usage situation, activities required, sub-activities), which as we mentioned above, must first undergo a validation. The usage situation we described in Step 2 can be carried out using two methods, either in the traditional way or in the innovative way with the TACT. This gives two scenarios. Scenario 1 (without TACT) captures the usage situation as it occurs in practice on site, while Scenario 2 (with TACT) represents the new way of conducting the usage situation through the integration of the TACT into the work process. This will therefore be the new script proposed by the developer.

Each scenario presents a breakdown of the activities for which it is necessary to extract information likely to characterize the usage situation as well as the problems faced on site. The best way to fully understand the usage situation studied is to approach tradespeople directly to have them list the concrete characteristics of their respective professions.

Results of the characterization step comprise the two use case scenarios illustrated by the data flow diagram (DFD), as well as a detailed characterization of any problems faced or of the incentive needs resulting from the practice on site. This characterization can be represented by a summary table.

5.5.4 Step 4: TACT assessment

The assessment step consists in qualifying the added value of the TACT. There is no consensus on the meaning of the notion of “*added value*” in the scientific literature; indeed, the concept is quite fragmented (Woodruff, 1997). However, De Chernatony et al. (2000) concluded that added value is a multidimensional construct that can play various roles, and can also be interpreted in different ways by different people. By adopting this definition of De Chernatony et al. (2000), we considered three dimensions, namely:

- a theoretical dimension,
- a commercial dimension,
- a practical dimension.

In addition, the added value qualification of the TACT means its ability to mitigate the problems faced and meet the needs emerging from the understanding of Scenario 1 (without TACT) in relation to the three dimensions.

Results of this step summarize the outcome of the proposed method. This is a multidimensional qualification of the job characterizations resulting from Step 3 and from the added value of the TACT. The case study presented in the next section will show an explicit application of this evaluation method.

5.6 Case study

5.6.1 Step 1: Description of the industrial partner TACT's

This case study is applied to the TACT of our industrial partner (Mechasys), a developer of an innovative solution in “*Construction Tech*” (Sacks et al., 2020) to optimize the performance of stakeholders, and particularly, of subcontractors in the interior system. Indeed, it is a tool in the form of a machine that allows a laser projection of construction plans at the real scale directly at the site, rather than the traditional tracing based on a plan printed on paper. This allows the dematerialization of current construction processes and anticipates errors, corrects them and carries out developments in real time, thereby avoiding waste, controlling deadlines and reducing costs. This solution will be used as a decision support tool to overcome one of one of the challenges facing the construction industry, namely, the fragmentation of the industry (Howard et al., 1989). In addition, this tool receives data and, moreover, makes it possible to produce data resulting from practical constraints on site. These constraints are often difficult to predict during the design phase of a construction project. (Figure 5.5) is a perspective of the on-site result of this technological tool.



Figure 5.5 Laser projection of interior division plane on a concrete slab
by FramR of Mechasys

The FramR model is presented in (Tableau 5.3) as described by the industrial partner

Tableau 5.3 FramR model

FramR Version MVP (Minimum Viable Product)			
Device	Tablet	Mob_App Version 1	Importing of plans on the tablet
			Add references for positioning the FramR
			Command control of laser projector
	Laser projector	FramR Version 0.1	Positioning of the FramR
			Laser projection of plans on site
			Editing of laser lines
Prism	FramR prism	Geo-reference the FramR	
Software	Web_App Version 1	Collaborative platform	
		Deposit and storage of PDF plans	
		System for viewing and modifying initial plans	
		Conversion of PDF plans	

The actual representation of the laser projection device offered by the industrial partner is described by the photo of the FramR laser projector in (Figure 5.6).



Figure 5.6 Real FramR laser projector

(Tableau 5.4) represents the feature list of FramR.

Tableau 5.4 Feature list of TACT – FramR

Features	Inputs	Outputs	Support
Deposit and storage of PDF plans	Mechasys cloud construction project, PDF plan of the subcontractor	PDF plans on Mechasys server	Web_App
Importing of plans on the tablet	MSYS plan on Mechasys server	MSYS plan on tablet	Mob_App
Addition of references for positioning the FramR	3 reference points between the plan and reality entered manually by the user, MSYS plan on tablet, 2 non-parallel axes, Manual offset of the reference axes	References for positioning	Mob_App
Positioning of the FramR	Recognition and monitoring of the prism by camera, References for positioning, 3 measurements of the positioning points, Positioning prism stick	Position of the FramR in relation to the plan and reality, Possible detection of errors in relation to the plan	FramR
Laser projection of plans on site	MSYS plan on Mechasys server, Position of the FramR in relation to the plan and reality	Laser lines on the construction site positioning the materials of the plan	FramR
Editing of laser lines	Laser lines on the site positioning the materials of the plan, MSYS plan on tablet	Corrected laser lines, Plans modified by the user	FramR
Command control of laser projector	Control instructions	Moving and adjusting laser projector	Mob_App

5.6.2 Step 2: The usage situation

The usage situation in this case study consists of the implementation of interior walls for a condominium project on a concrete slab. (Tableau 5.5) represents the outputs of Step 2 based on the evidence drawn from interviews with internal system subcontractors. We carried out a validation activity through a focus group that we formed into multidisciplinary members. The validation activity concluded that the layout of interior walls is essentially subdivided into three steps:

- step (1) preparation of plans,
- step (2) tracing,
- step (3) laying and installation.

Tableau 5.5 Steps for installing interior walls on a concrete slab

Subdivision	General steps and summary description
Preparation of plans	1. Preparation of architectural plans and identification of support for wall components
Tracing	2. Tracing of Floor Axis Lines based on the land surveyor's points used by formwork workers
	3. Tracing of lines on the floor (a concrete slab) of the metal stud.
Laying and installation	4. Installation of steel or wood studs
	5. Systems Installation (Electrical and Plumbing or HVAC)
	6. Thermal and sound insulation (Roxul wool, pink fiberglass, or other insulating materials)
	7. Installation of wall panels or gypsum sheets (Placo) (wall panels can be applied doubly as required)
	8. Finishing of joints between gypsum sheets (by plaster)

We further have developed a collaborative personas group (Tableau 5.6) based on the model proposed by Boton (2018) to describe the usage situation for installing interior walls.

Tableau 5.6 Group of collaborative personas adapted from Boton (2018)

Collaborative personas group		
Group objective	This group is formed to carry out work relating to the installation of interior walls as well as the laying and installation of mechanical systems	
Group members	Member	Function
	1- Workers	Execute plans and carry out work on site
	2- Managers of Subcontractors	Manage all the resources to perform the services relating respectively to the Interior System, Electricity and Plumbing subcontractors
	3- Representatives of the General Contractor	Coordinate with all stakeholders to effectively manage the entire project
	4- Professional representatives	Architecture, design and engineering
	5- Real estate developer	Monitor the progress and smooth running of the project with the EG to meet planned deadlines and allocated budgets
Objective of members	<ol style="list-style-type: none"> 1- Note changes and comments easily 2- Avoid making mistakes, easily make changes in the event of constraints on site, supervise workers' performance in real time and coordinate with stakeholders without delay 3- Follow up and have an inventory in real time 4- Federate the entire supply chain and have a real-time inventory 5- Have a global vision of the progress of the project with a marking of the key points that can cause a budget overrun and/or an extension of deadlines 	
Group tasks	<p>The group must provide services related to:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The installation of the interior walls of a building - Laying and installation of the electrical system - Laying and installation of the plumbing system 	
Group work scenarios	<ul style="list-style-type: none"> - A consensus is established regarding the management of the group When a consensus cannot be reached, the designated general contractor representative makes the appropriate decision. Arbitration from the real estate developer could be requested in the event of communication difficulty 	

<p>Group work scenarios <i>(continuity)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Workers will execute the plans relating to the Interior System by the TACT - The TACT test will consist in finalizing the services on a 500 m² (5381.96 ft²) floor - The representative of the designated general contractor coordinates the test - When a plan change is necessary for any reason, the worker or his manager can report it through the software's mobile interface - Any modification or remark will be notified to the designated representatives respectively of the general contractor and professionals
<p>Collaboration needs</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Communication between group members is open throughout the TACT test period - The members of the group must have the same level of information regarding the features of the TACT - The planning of the project will consider scheduling the test in perfect harmony with the production of the project

5.6.3 Step 3: Characterization of job practices

Our job practices are linked to the interior walls installation process, and can be carried out in two ways: first, in the traditional way (Scenario 1 – Figure 5.7), and secondly, using the innovative way (Scenario 2 – Figure 5.8)

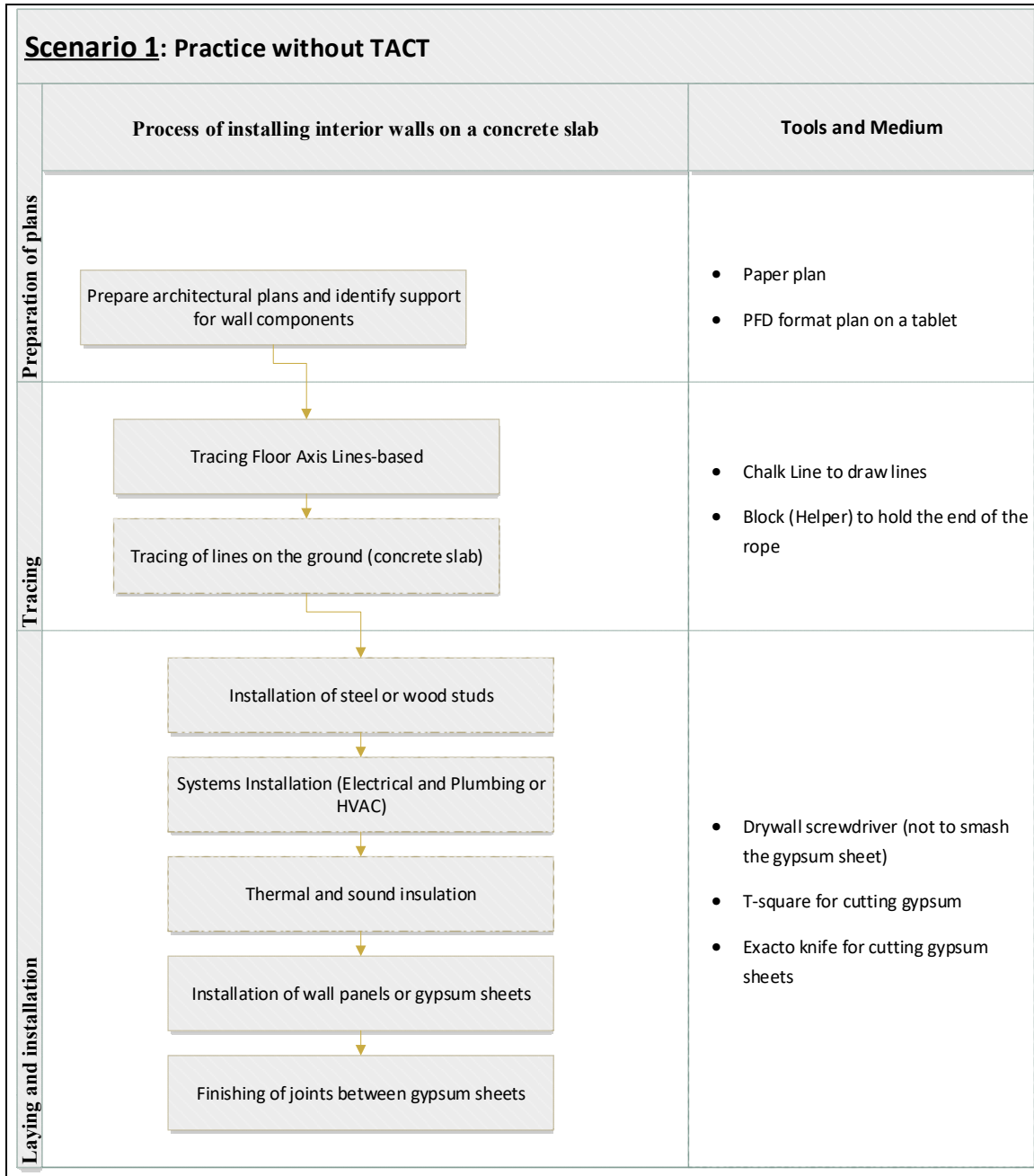


Figure 5.7 Scenario 1 – Process of installing interior walls without TACT

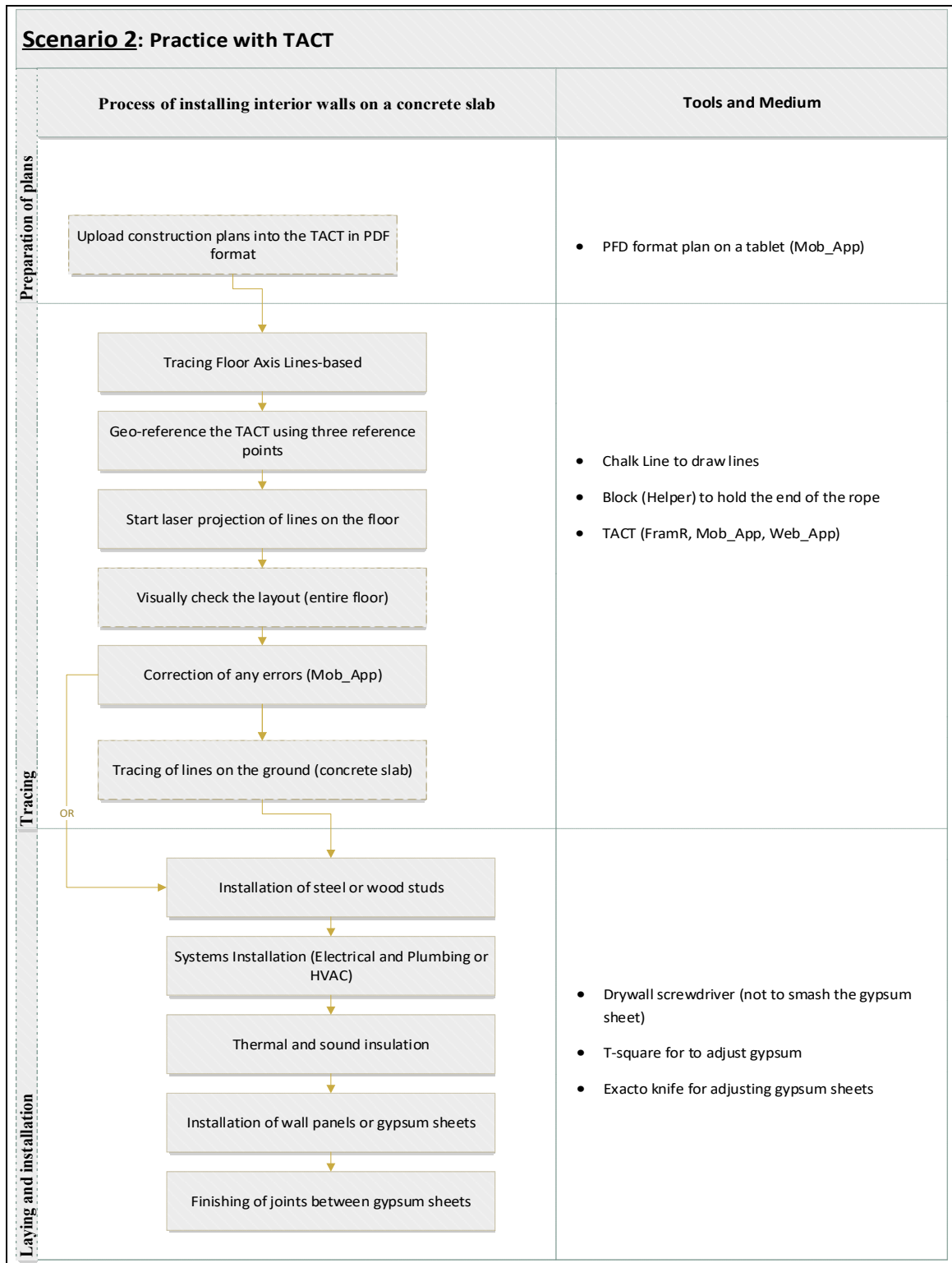


Figure 5.8 Scenario 2 – Process of installing interior walls with TACT

The contextual aspect of each project in the construction industry makes it very difficult to standardize the criteria or parameters allowing a comparison between the two scenarios. This is especially true as the complexity of construction projects does not allow easily isolating the activities of particular job practices for studying. To overcome these difficulties, we relied on a simplistic approach bringing together the main steps of the interior walls installation process (Figure 5.9). Then, we got estimates from our interviewed participants with significant experience as interior systems subcontractors (Tableau 5.7 and Tableau 5.8).

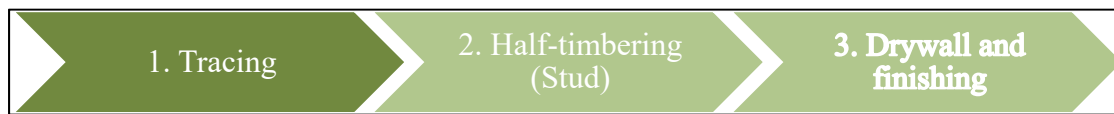


Figure 5.9 Simplistic approach for the interior walls installation process

Tableau 5.7 Estimated time to install interior walls for a standard unit of type 3-1/2

Standard unit of type 3-1/2	Tracing (min)	Half-timbering (Stud) (min)	Drywall and finishing (min)	Weight
Participant 1	-	-	-	1
Participant 2	105	240	2280	1
Participant 3	50	90	2280	1
Normal average	77.5	165	2280	
Weighted average	51.67	110	1520	

Tableau 5.8 Estimated time to install interior walls for a standard unit of type 4-1/2

Standard unit of type 4-1/2	Tracing (min)	Half-timbering (Stud) (min)	Drywall and finishing (min)	Weight
Participant 1	-	-	-	1
Participant 2	120	270	2520	1
Participant 3	50	90	2520	1
Normal average	85	180	2520	
Weighted average	56.67	120	1680	

Unfortunately, Participant 1 was not able to provide reasonable estimates for our questions. However, he was very helpful with qualitative data. That is why it makes more sense to look at the normal average.

To properly characterize interior walls installation practices, we relied on qualitative data from tradespeople we interviewed to determine the problems faced for the tracing step (Tableau 5.9).

Tableau 5.9 Characterization of practices for tracing steps on site

Characterization of tracing step	
Problems faced	Evidence (<i>From tradespeople</i>)
Tracing errors	<ul style="list-style-type: none"> - <i>When we do the tracing, it is sure that errors are made, it can be when we mark wall partitions.</i> - <i>There are several projects that we do not see the layout and we will assemble the half-timbering on them.</i> - <i>Interpretation is an error that also happens, it is never anyone's fault; it can also be the plot surveyor who did not interpret correctly.</i> - <i>What happens sometimes is errors on the size of the openings, the opening is not good, but there are small dots that usually happen.</i>
Site cleanliness	<ul style="list-style-type: none"> - <i>If we want to mark on the floor, it must be clean, so we do a sweep.</i> - <i>We have day laborers who clean all day long, other trades they don't have that.</i>
Incorrect architectural survey	<ul style="list-style-type: none"> - <i>When we do the tracing, we have to live with either the architect's statement which was poorly done or the existing plumbing that we thought was in one place but ultimately was in the other place.</i> - <i>Often the modifications generate errors because the architect expressed himself badly, for example, to move this wall by 4" but at the same time this wall forces the other walls to pack this 4".</i> - <i>There is also the interpretation of the plans, sometimes the architects are not entirely clear on the measures that are written.</i>
Existing plumbing in the wrong place	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Often there are constraints like the pipe is already drilled or it can be a toilet exit that is not in the right place.</i> - <i>When we do the tracing, we have to live with either the architect's statement which was poorly done or the existing plumbing that we thought was in one place but ultimately was in the other place.</i>

Problems faced <i>(continuity)</i>	Evidence (<i>From tradespeople</i>) <i>(continuity)</i>
Communication errors between workers and errors in reading and interpreting plans	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Often communication errors come when there are two workers on the same plan.</i> - <i>Do the tracing together (two workers) you know that it speaks a little at the same time and then all the concentration goes away. you have to stay focused on the plan you are drawing, this is important.</i>
Precision errors from 1 to 2"	<ul style="list-style-type: none"> - <i>It's sure when you follow lasers, sometimes there is a little loss of precision.</i> - <i>A wardrobe background if I pack the division 1" or 2" so that it should be correct, well often we will establish at the start of the site the lines we are allowed to arrive (degree of flexibility allowed).</i> - <i>My plotter on site, if he sees that the pipe can be exceeded from the wall and that it is necessary to move the division of 1", he will move it without asking any question.</i>
Rework	<ul style="list-style-type: none"> - <i>We redo the work if there is a little bit difference, these are things that happen, but you know it's not that frequent.</i> - <i>We tamp the wall, these are things that we are going to transfer there under construction.</i> - <i>I can move a wall, if there is no impact for example on the kitchen and cupboards that are already ordered or other.</i>
A mutual impact between tracing errors directly and installations of mechanical systems	<ul style="list-style-type: none"> - <i>You have to wait for the plumbing systems to go through the walls and then you do the gypsum.</i> - <i>Almost all the mechanics, they want to go and install pipelines now and they are happy to see the lines on land because they are sure to put their line in the right places.</i> - <i>We have our line, it's on if the pipe comes completely to the side, well we have no choice there we raise our hand and then it will be the architect who will tell us what to do.</i>
Marking errors and offsets would be identified when laying the floor	<ul style="list-style-type: none"> - <i>It is true that the errors that are made throughout the construction site and even often happened by tracing.</i> - <i>Sometimes we can't go up the walls right away because we have to live with the mistakes that are made before.</i> - <i>We only see the errors until the end when the guy from the floor arrives and notices that there is a wall with a gap behind.</i>

Problems faced <i>(continuity)</i>	Evidence (From tradespeople) <i>(continuity)</i>
Slight impact on schedule as these are minimal errors or pending approval from the architect or general contractor	<ul style="list-style-type: none"> - I've never seen a construction site delay because of all of this it's always small errors. - We have to wait for the architect to come the next morning or the afternoon, that's why sometimes we do paint marks in the event that we have to leave the site so that the architect comes later or another day or a week sometimes. - There are some that need to be approved, there are a lot of architects and clients who have the visual tone.
Almost zero impact on the costs generated by the errors to be compared with the overall cost of the project, often small errors to be corrected	<ul style="list-style-type: none"> - It is often small errors that money is at the end of it all. - It is certain that on a tower of 12 floors you will not end up with two walls to be packed. - If you have an 8 million in interior system project, errors due to tracing can cost around 2,500 \$ per project out of 8 million. 2500 \$ is not much.
Cost generated by the acquisition of technological equipment	<ul style="list-style-type: none"> - It's good to invest let's admit in technological equipment, the equipment must be profitable. - We must not say we will save errors because that's hard to put a number on it if we are not able to say a number how will a salesman arrive and tell me eh with my new machine (technological equipment) it will be zero errors.
Knowing how to use the technological tool	<ul style="list-style-type: none"> - You have to know how to use them (Technological tools) if you look at me in my case I have about 60 workers and 90% who work on the sites and then I cannot provide them all, for example the laser. - Technology can help us on large construction sites.

It should be mentioned that the same focus group established for the validation activity of Step 2 validated the results obtained from Step 3.

5.6.4 Step 4: Assessment of added value of the FramR

We remind that the qualification of added value of the TACT means its ability to overstate problems and needs emerging from the understanding of scenario 1 (without TACT) in relation to the three dimensions. In the case of FramR, the main stages of the tracing step (Tableau 5.10) should each have the capacity to mitigate the impact of the problems raised site

Tableau 5.10 Main stages of the tracing step by the FramR

Nº	Stage
1	Geo-reference the TACT (FramR) using three reference points
2	Laser projection of lines (Plan) on the floor
3	Visually check the layout on the projection area
4	Correction of any errors (Mob-App)

In order to assess the FramR (Tableau 5.11) presents a qualification of the added value in relation to the three dimensions: Theoretical, Commercial and Practical as well as of each main stages of the tracing step.

Tableau 5.11 Qualification of the FramR added value

Faced problems in tracing step	Dimensions			Added Value of the FramR
	Theoretical	Commercial	Practical	
Tracing errors			✓	Stage Nº 2
Site cleanliness			✓	None
Survey of the architect that was poorly done	✓			None
Existing plumbing in the wrong place			✓	None
Communication errors between workers and errors in reading and interpreting plans			✓	Stage Nº 4
Precision errors from 1 to 2"			✓	Stage Nº 3 & 4
Rework			✓	None
A mutual impact between tracing errors directly and installations of mechanical systems			✓	Stage Nº 2
Marking errors and offsets would be identified when laying the floor			✓	Stage Nº 2
Slight impact on schedule as these are minimal errors or pending approval from the architect or general contractor	✓			Stage Nº 4
Almost zero impact on the costs generated by the errors to be compared with the overall cost of the project, often small errors to be corrected		✓		Stage Nº 3 & 4
Cost generated by the acquisition of technological equipment		✓		None
Knowing how to use the technological tool	✓		✓	None

5.7 Discussion

Design science research has enabled us to build an added value assessment method dedicated mainly to developers of a new technological tool. Due to the nature of each usage situation, the developer is often far from being able to identify all the characteristics and also recognize the actually problems faced. Therefore, the developer must fully understand the usage situation to try to adapt his product as much as possible to directly meet the constraints of potential future users of the new product. The added value of the technological tool at the construction site lies in its ability to mitigate the problems faced on site and help workers carrying out the work.

The case study carried out on the industrial partner's TACT (FramR) allowed us to initiate our method. In addition, this method clarified all the key points concerning the process of installing interior walls in Quebec. The method thus verified the degree to which the FramR can overcome problems faced, and presented avenues for improving the TACT to continually adapt its features to the concrete needs of its potential future users.

The analysis and interpretation of findings (Tableau 5.12) of this case study are done according to the three dimensions adopted for our proposed method.

Tableau 5.12 Analysis and interpretation of findings

Dimension	Analysis	Interpretation
Theoretical	<ul style="list-style-type: none"> - The FramR intervenes in the theoretical dimension in relation to the coordination in the communication between stakeholders, through the mobile application. However, it is difficult to hire professionals (architect and engineer) in view of the organizational and regulatory nature of these professions. - The reason for being announced by the developer of this TACT (FramR) is based on the theoretical capacity to reduce the tracing time. A reflection will then be necessary on the impact of this tool on productivity and therefore on overall profitability. 	<ul style="list-style-type: none"> - The execution of work on a construction site using technological hardware tools increase productivity. This is an affirmation of the quantifiable and positive relationship between the use of equipment and increased productivity (Goodrum et al., 2009; Zhai et al., 2009)
Commercial	<ul style="list-style-type: none"> - The possibility of detecting errors when jobs are executed (even if they are small) offers a way to optimize the triangle (Quality, Cost, Time). - The FramR can help reduce the number of hours of work and its long-term profitability amortizes the initial investment of its acquisition as well as the costs for specific training dedicated to direct users; however, it is not verified with a concrete demonstration. 	<ul style="list-style-type: none"> - The impact of errors is low on cost and time as these are minimal errors or errors pending approval from the architect or general contractor. - Concrete proof will be needed to say that the adoption of a technological tool on the construction site increases long-term profitability.
Practical	<ul style="list-style-type: none"> - The practical use of the FramR is useful due to the laser projection of the scribing lines as well as the precision. Furthermore, the FramR will be able to present an additional utility in coordination and communication on site between the various trades, in particular, mechanical systems (Plumbing, Electricity and HVAC) thanks to the mobile management software, and for large projects, thanks to its capacity to reduce the tracing time, with the ultimate objective of avoiding rework and non-quality. Nevertheless, this tool is limited for use only under special conditions, such as indoors only and in an area designed to guarantee the accuracy of the measurements projected by the laser lines. 	<ul style="list-style-type: none"> - Technological tools are more efficient at coordination. - The potential for using a technological tool is practically valued.

5.8 Conclusion

This paper proposes a method that can support developers of technological tools dedicated to construction. Firstly, it will allow them to have a better understanding of the usage situation. It then allows them to characterize any problems faced, which in turn ultimately allows them to determine the exact added value of their product. The developers can then improve features and adapt their products to the conditions of the intended use situation. The case study carried out in this research work leads to the following conclusions:

- in theory, using technological hardware tools to execute work on a construction site increases productivity.
- in the process of installing interior walls, the impact of errors is low on both cost and time as these are minimal errors or pending approval from the architect or general contractor.
- concrete proof is needed before it can be stated categorically that the adoption of a technological tool on the construction site increases long-term profitability.
- technological tools are more efficient at coordination.
- the potential for using a technological tool is practically valued.

This research work has limitations on the quantitative aspect that should measure labor productivity in both traditional and innovative scenarios. Then, deduce the impact of the technological tool on productivity. However, the TACT of the case study had not yet reached a sufficient level of development to conduct empirical experimentation in real conditions on site. It will therefore be an opportunity for future research work.

CHAPITRE 6

DISCUSSION DES RÉSULTATS

6.1 Méthode proposée

6.1.1 Méthodologie de recherche adoptée

La recherche en science du design constitue un support à l'innovation et servira à repousser les limites des capacités humaines et organisationnelles (Hevner et al., 2004). Cette méthodologie a permis de répondre à la question de recherche à travers la conception d'une méthode proposée aux entreprises et aux startups qui développent des produits innovants. Ces produits combinent entre la technologie de l'information et les techniques d'exécution des travaux en chantier de construction. De plus, l'initialisation dans un cas réel de cette méthode par le biais d'une étude de cas représente l'évaluation ex post (Pries-Heje et al., 2008) et valide cette méthode.

6.1.2 Vocation de la méthode proposée

Les approches qui existent pour évaluer un outil technologique se sont focalisées généralement sur le calcul de la productivité et cela devrait nécessiter des mesures qui proviennent d'une production réelle en chantier. Cependant cette catégorie des outils technologiques se distingue fréquemment par des innovations. Il serait donc délicat de dénicher un espace d'évaluation propice. De plus, les concepteurs ne font pas partie des corps de métier pour lesquels ils développent ces outils, ils auront besoin d'une compréhension qui soit examinée à tous les égards du corps de métier sujet de cette innovation.

La méthode proposée apporte une alternative pour évaluer ces outils et cela en évaluant la valeur ajoutée via une étude qualitative basée sur la caractérisation et la compréhension de la situation d'utilisation. En outre, la faculté d'adaptation de cette méthode aux différents cas d'utilisation et aux différents niveaux de développement du prototype donne la possibilité aux entreprises et aux startups qui souhaitent développer un nouvel outil technologique de se

référer à cette méthode pour évaluer la valeur ajoutée de leurs produits. Cette évaluation permettra d'améliorer les fonctionnalités et d'ajuster les produits aux conditions de la situation d'utilisation prévue.

6.1.3 Limitations

La conception de cette méthode prend en compte l'aspect générique, néanmoins, on ne dispose pas encore de la certitude que la méthode proposée est effectivement générique. Puisqu'elle n'a été initialisée que par une étude de cas, s'agissant de la seule application. De plus, on s'est basé uniquement sur l'avis de trois participants. Ils ont fourni des données valides et très pertinentes du côté de leurs positions par rapport au métier qu'ils représentent et surtout de point de vue de leurs expériences significatives (20, 15 et 10 ans). Cependant, cela peut ne pas être suffisant pour confirmer que cette étude qualitative est suffisante pour évaluer la valeur ajoutée d'un nouvel outil technologique. On pourrait dans de futures recherches interviewer plus de participants et passer au terrain pour extraire plus de données d'ordre quantitatif afin d'avoir un autre moyen pour vérifier l'aspect générique de notre méthode proposée.

6.2 Conclusions tirées de l'étude de cas

L'initialisation de la méthode proposée par une étude de cas menée sur l'OTAC de notre partenaire industriel a permis premièrement de clarifier tous les points clés concernant le processus d'installation des murs intérieurs au Québec. Ensuite, l'analyse des résultats de cette étude de cas a conduit à des interprétations par rapport aux dimensions respectivement; théorique, Commerciale et pratique. Le (Tableau 6.1) consolide les conclusions tirées de cette étude de cas.

Tableau 6.1 Analyse et interprétation des résultats

Dimension	Analyse	Interprétation
Théorique	<p>- Le FramR intervient dans la dimension théorique en relation avec la coordination dans l'aspect communication entre les parties prenantes, et ce, à travers l'application mobile. Cependant, il est difficile de recruter des professionnels (architecte et ingénieur) compte tenu du caractère organisationnel et réglementaire de ces professions.</p> <p>- La raison d'être de cet OTAC (FramR) qui était annoncée par le développeur repose théoriquement sur la capacité de réduire le temps de traçage. Une réflexion sera donc nécessaire sur l'impact de cet outil sur la productivité et donc sur la rentabilité globale.</p>	<p>- L'exécution des travaux sur un chantier par un outil matériel technologique augmente théoriquement la productivité. Il s'agit d'une affirmation de la relation quantifiable et positive entre utilisation de matériel et augmentation de la productivité (Goodrum et al., 2009; Zhai et al., 2009).</p>
Commerciale	<p>- La possibilité de détecter des erreurs au moment de l'exécution des travaux même si elles sont petites offre un moyen pour optimiser le triangle (Qualité, Coût, Temps).</p> <p>- Le FramR peut contribuer à réduire le nombre d'heures de travail et sa rentabilité à long terme amortirait l'investissement initial de son acquisition ainsi que les coûts des formations spécifiques dédiées aux utilisateurs directs, toutefois cela n'est pas vérifié par une démonstration concrète.</p>	<p>- Dans le processus d'installation des murs intérieurs, l'impact des erreurs est faible à la fois sur le coût et le temps, car il s'agit des erreurs minimales ou en attente d'approbation de l'architecte ou de l'entrepreneur général.</p> <p>- Des preuves concrètes seront nécessaires pour confirmer que l'adoption d'un outil technologique en chantier augmente la rentabilité à long terme.</p>
Pratique	<p>- L'utilisation pratique du FramR est utile en raison de la projection laser des lignes de traçage ainsi que de la précision. De plus, le FramR pourrait présenter une utilité supplémentaire dans la fonction de la coordination et de la communication en chantier entre les différents corps de métier, en particulier les systèmes mécaniques (Plomberie, Électricité et HVAC) et cela grâce au logiciel de gestion mobile. Et aussi pour les grands projets grâce à sa capacité à réduire le temps de traçage. Ceux-ci avec l'ultime objectif d'éviter la reprise de travail et la non-qualité. Néanmoins, cet outil présente des limitations d'utilisation pour des conditions particulières telles que l'utilisation intérieure uniquement et sur une superficie aménagée pour garantir la précision des mesures projetées par les lignes lasers.</p>	<p>- Les outils technologiques sont plus efficaces en coordination.</p> <p>- Le potentiel d'utilisation d'un outil technologique est pratiquement valorisé.</p>

6.3 Expérimentation attendue de l'OTAC

Dans le cadre de l'étude de cas menée sur l'outil technologique de notre partenaire industriel, on a essayé dans un premier temps d'avoir des données expérimentales. Cependant ce n'était pas possible de faire une expérimentation en chantier pendant la période de ce travail de recherche, car l'outil est en développement et il n'a pas atteint son niveau de maturité pour être validé. Toutefois on a pu collecter des données qu'on a qualifiées d'hypothétiques jusqu'à la réalisation de ladite expérimentation. Ce qui pourrait éventuellement valider l'aspect générique de la méthode proposée.

Par ailleurs, une réflexion sur la productivité de travail en chantier sera basée sur la nécessité de mener une telle expérimentation pour les deux scénarios de l'installation des murs intérieurs. Cette réflexion confirmera le niveau d'impact des outils technologiques sur la productivité de travail en chantier. Ces données proviennent des entrevues avec les sous-traitants en système intérieur en ce qui concerne le scénario 1 (sans l'OTAC). Il est donc recommandé de faire une expérimentation empirique dans de futurs travaux de recherche pour confirmer ou infirmer les résultats obtenus par rapport aux dimensions respectives; théorique, commercial et pratique.

CONCLUSION

Ce travail de recherche avait comme objectif de mettre l'accent sur les outils technologiques en construction étant une solution pouvant améliorer la productivité en chantier de construction. La productivité est généralement perturbée par le manque de la précision qui engendre la reprise de travail, le non-respect des délais et la non-qualité. Des solutions en technologie de l'information ont offert à l'industrie de la construction des logiciels pour gérer l'aspect managérial des projets en construction. Cependant d'autres problèmes persistent tels que: la coordination, le retard, le dépassement de budget et les erreurs d'exécution, ce qui impacte directement sur la productivité de travail en chantier. La technologie de l'information n'a pas cessé de vouloir améliorer la productivité en proposant des outils matériels capables d'aider à l'exécution des travaux en chantier.

En effet, ces besoins ont conduit à l'initiation de ce travail de recherche en collaboration avec un partenaire industriel et de proposer aux startups et aux entreprises qui développent et produisent d'outils technologiques en construction, une méthode pour évaluer la valeur ajoutée de leurs produits. Ces développeurs d'outils technologiques ont besoin de jauger la capacité de leurs prototypes à atténuer les problèmes rencontrés dans un corps de métier particulier. Ils doivent par conséquent acquérir une compréhension pratique de ce corps de métier qui provienne directement du chantier à travers les utilisateurs potentiels du futur outil technologique. Cela leur permettra premièrement d'identifier les caractéristiques du métier étudié ainsi que les besoins concrets des utilisateurs potentiels au niveau du chantier. Ensuite de déterminer la valeur ajoutée exacte de leur produit afin d'améliorer les fonctionnalités disponibles et d'adapter leurs produits aux conditions de la situation d'utilisation prévue.

La méthode proposée avait été initialisée par le biais d'une étude de cas sur l'outil technologique de notre partenaire industriel (FramR). Nous avons pu positionner leur produit dans sa future situation d'utilisation afin de pouvoir améliorer ses fonctionnalités et en apporter de nouvelles pour maximiser la valeur ajoutée de cet outil technologique. En outre nous nous sommes arrivés à des affirmations générales déduites de l'analyse qualitative des résultats de l'étude de cas. Il s'agit des affirmations suivantes:

- l'exécution des travaux sur un chantier par un outil matériel technologique augmente théoriquement la productivité.
- dans le processus d'installation des murs intérieurs, l'impact des erreurs est faible à la fois sur le coût et le temps, car il s'agit des erreurs minimales ou en attente d'approbation de l'architecte ou de l'entrepreneur général.
- des preuves concrètes seront nécessaires pour dire que l'adoption d'un outil technologique en chantier augmente la rentabilité à long terme.
- les outils technologiques sont plus efficaces en coordination.
- le potentiel d'utilisation d'un outil technologique est pratiquement valorisé.

Néanmoins, ce travail de recherche présente des limitations quant à l'aspect quantitatif qui devrait mesurer la productivité du travail en chantier pour les deux scénarios à la fois; traditionnel et innovant. Ensuite, en déduire l'impact de l'outil technologique sur la productivité du travail en chantier. Toutefois, l'OTAC sujet de l'étude de cas n'avait pas encore atteint le niveau de développement suffisant pour mener une expérimentation empirique en mode production. Ce sera donc l'occasion de futurs travaux de recherche.

ANNEXE I

PROTOCOLE D'ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE

Tableau-A I-1 Protocole d'entrevue semi-dirigée

Volet	Question	Éléments attendus
<p><i>Situation d'utilisation:</i></p> <p>- Cas de l'implantation des murs intérieurs pour un projet de type résidentiel Condominium sur une dalle de béton</p>	<p>1. Pouvez-vous nous décrire comment vous faites l'implantation des murs intérieurs ?</p>	<ul style="list-style-type: none">• Identifier tous les intervenants impliqués directement et indirectement• Identifier les étapes de l'implantation des murs intérieurs• Déterminer la durée moyenne de l'exécution de chaque étape• Identifier les corps de métier qui seront impactés par l'implantation des murs intérieurs• Déterminer les outils et les moyens utilisés pour réaliser les travaux en chantier
<p><i>Erreurs:</i></p> <p>-Reprise de travail -Positionnement des systèmes</p>	<p>2. Selon votre retour d'expérience quelles sont les erreurs fréquentes que vous pouvez rencontrer lors de l'exécution des travaux?</p>	<ul style="list-style-type: none">• Identifier les erreurs fréquentes• Vérifier quelles sont les erreurs liées au positionnement des systèmes Électrique, Plomberie, HVAC et les divisions intérieures (Murs)• Estimer l'impact des erreurs sur la qualité, sur le calendrier (échancier) et sur les coûts.

Tableau-A I-1 Protocole d'entrevue semi-dirigée (suite)

Volet <i>(Suite)</i>	Question <i>(Suite)</i>	Éléments attendus <i>(Suite)</i>
<i>Productivité de travail</i>	3. Comment peut-on améliorer la productivité de travail en chantier?	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer la définition de la productivité de travail en chantier au regard des travailleurs • Identifier les axes d'amélioration possible pour un meilleur rendement des travailleurs en chantier • Mettre le point sur les coûts engendrés par une démarche d'amélioration de la productivité de travail
<i>Coordination</i>	<p>4. Comment échangez-vous les informations en chantier ?</p> <p>5. Est-ce que vous utilisez des outils technologiques pour vos échanges d'information?</p> <p>6. Est-ce que les outils technologiques seront capables d'aider pour améliorer la productivité en chantier?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les types de l'information échangée et déterminer entre quels acteurs • Identifier les outils et les médiums utilisés • Vérifier le degré d'utilisation des logiciels et des outils technologiques de la construction

ANNEXE II

ÉVIDENCES TIRÉES DES ENTREVUES

Tableau-A II-1 Évidences tirées des entrevues

Volet	Question	Évidences tirées des entrevues
1	1. Pouvez-vous nous décrire comment vous faites l'implantation des murs intérieurs ?	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Étapes générales de l'implantation des murs intérieurs</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifier la prise en charge des composants de murs 2. Traçage des lignes d'axes de l'étage 3. Traçage des lignes sur le sol (Une dalle en béton) du montant métallique et sur les murs extérieurs et les murs mitoyens s'ils existent déjà 4. Implantation des colombages en acier ou en bois 5. Installation des systèmes (Électrique et Plomberie ou HVAC) 6. Isolation thermique et sonore (laine roxul ou autres matières isolantes) 7. Pose de panneaux de cloison ou feuilles de gypse (placo) (On peut appliquer doublement les panneaux de cloison en fonction de la prise en charge de la composition de mure) 8. Finition des joints entre les feuilles de gypse (par le plâtre ou l'enduit par exemple) • <u>Outil et moyen</u> <ul style="list-style-type: none"> ChalkLine (cordeau à craie) pour tracer (tirer) les lignes Bloc (Helper) pour tenir le bout du fil Visseuse à gypse (pour ne pas défoncer la feuille de gypse) Équerre en T pour couper le gypse Exacto couteau pour couper les feuilles de gypse • <u>Main-d'œuvre</u> <ul style="list-style-type: none"> - Le traçage se fait par deux travailleurs, mais ça pourrait se faire par un seul travailleur nommé traceur - Selon la loi régie par le syndicat de la construction du Québec le travailleur qui installe les colombages et un autre pose le gypse - Pour les autres étapes au moins deux travailleurs

Tableau-A II-1 Évidences tirées des entrevues (suite)

Volet (Suite)	Question (Suite)	Évidences tirées des entrevues (Suite)
2	2. Selon votre retour d'expérience quelles sont les erreurs fréquentes que vous pouvez rencontrer lors de l'exécution des travaux?	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Erreurs fréquentes en chantier</u> <ul style="list-style-type: none"> - Relevé de l'architecte qui était mal fait - Plomberie existante dans une place erronée - Erreurs de communication entre les travailleurs et des erreurs de lecture et d'interprétation des plans - Erreurs de précisions de 1 à 2'' • <u>Impact des erreurs</u> <ul style="list-style-type: none"> - Les erreurs impactent directement les installations des systèmes mécaniques - Les erreurs et les décalages seraient repérés au moment de la pose du plancher - Impact léger sur le calendrier, car il s'agit des erreurs minimales ou d'une attente d'approbation de l'architecte ou de l'entrepreneur général • Impact quasi nul sur les coûts engendrés par les erreurs à comparer avec le coût global du projet s'agissant souvent de petites erreurs à corriger
3	3. Comment peut-on améliorer la productivité de travail en chantier?	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Axes d'amélioration possible</u> <ul style="list-style-type: none"> - Il faut que le chantier soit propre - Lorsque les axes de l'étage sont déjà identifiés, le temps de la recherche d'axe et de son traçage sera épargné - Le travail se fait idéalement par deux travailleurs un traceur et un assistant (helper) - Travailler à l'aide des équipements et des outils technologiques

ANNEXE III

SONDAGE ÉLECTRONIQUE

Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction

Ce sondage a été élaboré dans le cadre d'un projet de recherche scientifique qui vise à développer un cadre pratique pour l'évaluation de l'impact des outils technologiques sur la productivité en chantier.

Les données recueillies pour ce projet seront confidentielles afin de préserver votre identité et la confidentialité de vos renseignements dans les limites prévues par la loi. Cette recherche scientifique a été approuvée par le comité d'éthique de l'École de Technologie Supérieure - Université de Québec.

La durée pour remplir ce sondage est estimée à 5 min.

Merci pour votre participation à ce sondage.

* **Obligatoire**

1. Être vous ? *

Marquez un seul ovale.

- Propriétaire
- Professionnel (Architecte et/ou ingénieur)
- Entrepreneur général
- Sous-traitant
- Autre : _____

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction

2. Utilisez-vous des outils technologiques en chantier ? *

Un outil technologique en chantier peut être un logiciel de gestion, une plateforme informatique de collaboration et de partage (Ex: SmartUse, BIM 360 Field, PlanGrid...) ou un outil technologique matériel d'aide à l'exécution des travaux (Ex : Ligneur et pointeur laser, Scanner laser 3D, Drone ...).

Marquez un seul ovale.

- Oui Passez à la question 3
 Non Passez à la question 5

3. Si oui, pour quelles raisons les utilisez-vous ? *

Cochez toutes les réponses qui s'appliquent.

- Collaboration
 Visualisation des plans en chantier
 Edition et/ou annotation des plans
 Demande de changement
 Demande d'information
 Exécution des travaux

Autre : _____

4. Pouvez-vous donner des exemples des outils technologiques que vous utilisez ?

(Ex: SmartUse, BIM360 Field, PlanGrid, Scanner laser 3D, Drone)

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction (suite)

5. Selon votre expérience et connaissance personnelle en construction, quel pourcentage d'entreprises de l'industrie adoptent des nouvelles technologies pour leur chantiers régulièrement ? *

Marquez un seul ovale.

- moins de 10%
- de 10 à 25%
- de 25 à 50%
- Plus que 50%

6. A quelles fréquences faites vous face pour ces types de problèmes en chantier ? *

Marquez un seul ovale par ligne.

	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
Reprise de travail due à une erreur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Retards engendrés par les autres corps de métier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erreurs liées au positionnement des systèmes (Électrique, Plomberie, HVAC, implantation des murs etc...)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erreurs liées aux travaux de gros œuvres/structures	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Pensez-vous que les outils technologiques peuvent aider à résoudre les erreurs lors de l'exécution des travaux ? *

Marquez un seul ovale.

- Oui
- Non
- Peut-être

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction (suite)

8. Question optionnelle: Pouvez-vous justifier ?

9. Comment les outils technologiques en construction contribuent-ils au respect des délais ? *

Cochez toutes les réponses qui s'appliquent.

- Faciliter la coordination entre les parties prenantes du projet
- Aider à respecter la planification
- Aider à anticiper les erreurs
- Réduire la durée nécessaire pour l'exécution des travaux

Autre : _____

10. Êtes vous d'accord avec l'expression suivante ? *

Marquez un seul ovale par ligne.

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Neutre	D'accord	Tout à fait d'accord
L'adoption des outils technologiques en phase chantier nécessite un coût important	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction (suite)

11. Quelle information échangez-vous en chantier ? *

Cochez toutes les réponses qui s'appliquent.

- Information sur les plans de construction
- Information sur l'installation du chantier
- Information sur les erreurs
- Information sur les changements
- Information sur l'avancement du projet
- Autre

12. Quel sont les moyens utilisés pour échanger l'information en chantier ? *

Cochez toutes les réponses qui s'appliquent.

- Plans et documents papier
- Plateforme de collaboration
- Application mobile des réseaux sociaux
- Courriel (e-mail)
- Verbalement

Autre : _____

Conclusion

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction (suite)

13. Selon votre retour d'expérience quel est l'impact des outils technologiques sur les aspects suivants en phase chantier? *

Marquez un seul ovale par ligne.

	Très négatif	Plutôt négatif	Sans impact	Plutôt positif	Très positif
Collaboration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visualisation des plans en chantier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edition et/ou annotation des plans	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Demande de changement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Demande d'information	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Respect des délais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Exécution des travaux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Coût de construction	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Réduction des litiges	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Est ce qu'il y a d'autres points que vous aimeriez rajouter ?

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Formulaires

Figure-A III-1 Les outils technologiques au service de l'amélioration de la productivité de travail en chantier de construction (suite)

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akinsiku, O. E., & Akinsulire, A. (2012). Stakeholders' Perception of the Causes and Effects of Construction Delays on Project Delivery. *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2(4), 25-31. <https://doi.org/10.6106/JCEPM.2012.2.4.025>
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—A review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201-204. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00093-3](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00093-3)
- Bankvall, L., Bygballe, L. E., Dubois, A., & Jahre, M. (2010). Interdependence in supply chains and projects in construction. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 385-393. <https://doi.org/10.1108/13598541011068314>
- Berlak, J., Hafner, S., & Kuppelwieser, V. G. (2020). Digitalization's impacts on productivity : A model-based approach and evaluation in Germany's building construction industry. *Production Planning & Control*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1740815>
- Björk, B.-C. (1999). Information technology in construction : Domain definition and research issues. *International Journal of Computer Integrated Design And Construction*, 1(1), 1-16.
- Construction Industry Institute (CII). (1990). "Productivity measurement: An introduction." RS 2-3, Construction Industry Institute, The Univ. of Texas at Austin, Austin, Tex.
- Boktor, J., Hanna, A., & Menassa, C. C. (2014). State of Practice of Building Information Modeling in the Mechanical Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*, 30(1), 78-85. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000176](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000176)
- Bosche, F., Haas, C. T., & Akinci, B. (2009). Automated Recognition of 3D CAD Objects in Site Laser Scans for Project 3D Status Visualization and Performance Control. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(6), 311-318. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2009\)23:6\(311\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2009)23:6(311))
- Boton, C. (2018). Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation. *Automation in Construction*, 96, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.020>

- Boton, C., Rivest, L., Ghnaya, O., & Chouchen, M. (2020). What is at the Root of Construction 4.0 : A Systematic Review of the Recent Research Effort. *Archives of Computational Methods in Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09457-7>
- Bup-Ki Min, Minhyuk Ko, Yongjin Seo, Seunghak Kuk, & Hyeon Soo Kim. (2011). A UML metamodel for smart device application modeling based on Windows Phone 7 platform. *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference*, 201-205. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2011.6129092>
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- Crawford, P., & Vogl, B. (2006). Measuring productivity in the construction industry. *Building Research & Information*, 34(3), 208-219. <https://doi.org/10.1080/09613210600590041>
- de Chernatony, L., Harris, F., & Dall'Olmo Riley, F. (2000). Added value : Its nature, roles and sustainability. *European Journal of Marketing*, 34(1/2), 39-56. <https://doi.org/10.1108/03090560010306197>
- Dixit, S., Mandal, S. N., Thanikal, J. V., & Saurabh, K. (2019). Evolution of studies in construction productivity : A systematic literature review (2006–2017). *Ain Shams Engineering Journal*, 10(3), 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.10.010>
- Dixit, S., & Sharma, K. (2020). An Empirical Study of Major Factors Affecting Productivity of Construction Projects. Dans K. G. Babu, H. S. Rao, & Y. Amarnath (Éds.), *Emerging Trends in Civil Engineering* (Vol. 61, p. 121-129). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1404-3_12
- Durdyev, S., Ismail, S., & Kandymov, N. (2018). Structural Equation Model of the Factors Affecting Construction Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(4), 04018007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001452](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001452)
- Egan, J. (1998). *Rethinking construction*. Department of Environment, Transport and the Region.
- Friedman, W. (1984). *Construction marketing and strategic planning*. McGraw-Hill.
- Gerami Seresht, N., & Fayek, A. R. (2018). Dynamic Modeling of Multifactor Construction Productivity for Equipment-Intensive Activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(9), 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001549](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001549)
- Giboin, A. (2011). *From Individual to Collective Personas Modeling Realistic Groups and Communities of Users (and not Only Realistic Individual Users)*. 5.

- Goodrum, P. M., Haas, C. T., Caldas, C., Zhai, D., Yeiser, J., & Homm, D. (2011). Model to Predict the Impact of a Technology on Construction Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(9), 678-688. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000328](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000328)
- Goodrum, P. M., Zhai, D., & Yasin, M. F. (2009). Relationship between Changes in Material Technology and Construction Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(4), 278-287. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:4\(278\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(278))
- Grau, D., Caldas, C. H., Haas, C. T., Goodrum, P. M., & Gong, J. (2009). Assessing the impact of materials tracking technologies on construction craft productivity. *Automation in Construction*, 18(7), 903-911. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.04.001>
- Hasan, A., Baroudi, B., Elmualim, A., & Rameezdeen, R. (2018). Factors affecting construction productivity : A 30 year systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(7), 916-937. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). *Design Science in Information Systems Research*. 33.
- Howard, H. C., Levitt, R. E., Paulson, B. C., Pohl, J. G., & Tatum, C. B. (1989). Computer Integration : Reducing Fragmentation in AEC Industry. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 3(1), 18-32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1989\)3:1\(18\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1989)3:1(18))
- Kaming, P. F., Holt, G. D., Kometa, S. T., & Olomolaiye, P. O. (1998). Severity diagnosis of productivity problems—A reliability analysis. *International Journal of Project Management*, 16(2), 107-113. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(97\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(97)00036-7)
- Leite, F., Cho, Y., Behzadan, A. H., Lee, S., Choe, S., Fang, Y., Akhavian, R., & Hwang, S. (2016). Visualization, Information Modeling, and Simulation : Grand Challenges in the Construction Industry. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(6), 04016035. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000604](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000604)
- Love, P. E. D., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2004). Industry-centric benchmarking of information technology benefits, costs and risks for small-to-medium sized enterprises in construction. *Automation in Construction*, 13(4), 507-524. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.02.002>
- Mačiulytė-Šniukienė, A., & Gaile-Sarkane, E. (2014). Impact of Information and Telecommunication Technologies Development on Labour Productivity. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 110, 1271-1282. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.974>

- March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4), 251-266. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)
- Matthews, J., Love, P. E. D., Heinemann, S., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunj, O. (2015). Real time progress management : Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in Construction*, 58, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.004>
- Matthews, T., Whittaker, S., Moran, T., & Yang, M. (s. d.). *Collaboration personas : A framework for understanding & designing collaborative workplace tools*. 8.
- Matthews, T., Whittaker, S., Moran, T., & Yang, M. (2010). *Collaboration personas : A framework for understanding & designing collaborative workplace tools*. 8.
- Mitropoulos, P., & Tatum, C. B. (2000). Forces Driving Adoption of New Information Technologies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(5), 340-348. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:5\(340\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:5(340))
- Nasirzadeh, F., & Nojedehi, P. (2013). Dynamic modeling of labor productivity in construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(6), 903-911. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.003>
- Nnaji, C., Gambatese, J., Karakhan, A., & Eseonu, C. (2019). Influential safety technology adoption predictors in construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11), 2655-2681. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2018-0381>
- Park, H.-S. (2006). Conceptual framework of construction productivity estimation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10(5), 311-317. <https://doi.org/10.1007/BF02830084>
- Park, H.-S., Thomas, S. R., & Tucker, R. L. (2005). Benchmarking of Construction Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(7), 772-778. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:7\(772\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:7(772))
- Poirier, E. A., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research. *Automation in Construction*, 58, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002>
- Pries-Heje, J., Baskerville, R., & Venable, J. R. (s. d.). *Strategies for Design Science Research Evaluation*. 13.
- Pruitt, J., & Grudin, J. (2003). Personas : Practice and theory. *Proceedings of the 2003 Conference on Designing for User Experiences - DUX '03*, 1. <https://doi.org/10.1145/997078.997089>

- Rando, J. F., & Zankowsky, D. R. (1982). Laser applications in construction, agriculture, and surveying. *Proceedings of the IEEE*, 70(6), 635-640. <https://doi.org/10.1109/PROC.1982.12361>
- Sacks, R., Girolami, M., & Brilakis, I. (2020). Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>
- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 347-353. <https://doi.org/10.1108/13598541011068260>
- Sepasgozar, & Davis. (2019). Digital Construction Technology and Job-site Equipment Demonstration: Modelling Relationship Strategies for Technology Adoption. *Buildings*, 9(7), 158. <https://doi.org/10.3390/buildings9070158>
- Sezer, A. A., & Bröchner, J. (2014). The construction productivity debate and the measurement of service qualities. *Construction Management and Economics*, 32(6), 565-574. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.831464>
- Smyth, H. (2010). Construction industry performance improvement programmes: The UK case of demonstration projects in the 'Continuous Improvement' programme. *Construction Management and Economics*, 28(3), 255-270. <https://doi.org/10.1080/01446190903505948>
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- Tangen, S. (2005). Demystifying productivity and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), 34-46. <https://doi.org/10.1108/17410400510571437>
- The Kpi Working Group. (2000). KPI Report for The Minister for KPI Report for The Minister for Construction. *Transport, January*, 34.
- Turk, Z. (2000). Construction IT: Definition, framework and research issues. *Faculty of Civil and Geodetic Engineering on the doorstep of the millennium: on the occasion of its 80th anniversary*, 17-32.
- Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M., & Koskela, L. (Éds.). (2020). *Lean construction: Core concepts and new frontiers*. Routledge.
- Vogl, B., & Abdel-Wahab, M. (2015). Measuring the Construction Industry's Productivity Performance: Critique of International Productivity Comparisons at Industry Level.

Journal of Construction Engineering and Management, 141(4), 04014085.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000944](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000944)

Vorster, M. C., & Lucko, G. (2002). Construction technology needs assessment update. *Construction Industry Institute*, 173–11.

Woodruff, R. B. (1997). Customer value : The next source for competitive advantage. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 25(2), 139-153.
<https://doi.org/10.1007/BF02894350>

Xia, B., & Chan, A. P. C. (2012). Measuring complexity for building projects : A Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 7-24.
<https://doi.org/10.1108/09699981211192544>

Yi, W., & Chan, A. P. C. (2014). Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Journals. *Journal of Management in Engineering*, 30(2), 214-225.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000194](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000194)

Zhai, D., Goodrum, P. M., Haas, C. T., & Caldas, C. H. (2009). Relationship between Automation and Integration of Construction Information Systems and Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(8), 746-753.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000024](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000024)

