

Nouvelles technologies, juridiction des métiers et productivité sur les projets de construction québécois

par

Maxime SAGNIER

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 22 MARS 2017

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Maxime, 2017



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 OU THÈSE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Gabriel Lefebvre, directeur de mémoire
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Constantine Katsanis, co-directeur de mémoire
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Adel Francis, président du jury
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Edmond Miresco, membre du jury
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

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

LE 20 MARS 2017

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier M. Constantine Katsanis, chercheur principal à l'Observatoire en construction, pour son accompagnement et ses conseils prodigués tout au long de l'étude. Je le remercie aussi chaleureusement pour le soutien financier qu'il m'a accordé. L'Observatoire en construction est un institut de recherches appliquées sur la gestion dans l'industrie de la construction. Son objectif est notamment de promouvoir l'avancement des connaissances et de l'expertise dans le domaine de la gestion de projet de construction, le tout en collaboration avec l'industrie. Je remercie aussi M. Gabriel Lefebvre d'avoir pris en main la fin de ma maîtrise comme directeur de recherche.

Je remercie également tout particulièrement M. Luc Martin, sans qui cette étude n'aurait pas été possible. Je le remercie pour ses conseils précieux, ses informations et pour le temps qu'il m'a octroyé afin de m'aider. En outre, je tiens à souligner l'aide qu'il m'a fournie pour rencontrer les différents participants de cette étude, mais aussi pour avoir appuyé mes demandes d'observations sur chantiers. La CEGQ, dont il est le vice-président exécutif, regroupe les entrepreneurs généraux les plus actifs au Québec. Ses membres se voient d'ailleurs confier la majeure partie des travaux en entreprise générale. Ils s'engagent auprès des clients privés et publics à livrer les ouvrages avec des obligations quant aux coûts et aux délais d'exécution. Ils sont donc au cœur des problématiques liées au cadre légal de la construction québécoise.

Dans le cadre de mon projet, j'ai eu la chance de pouvoir participer au 19^{ème} congrès annuel des entrepreneurs généraux du Québec, qui fut très enrichissant pour moi. À cet effet, je remercie à nouveau M. Luc Martin, organisateur du congrès, et M. Constantine Katsanis, pour m'avoir permis de présenter mon projet lors d'une conférence. Ce fut une très belle expérience.

Je tiens à exprimer aussi ma gratitude à tous les participants qui ont accepté de participer à cette étude et qui ont mis leur bonne volonté pour répondre à mes questions. Je remercie tout

particulièrement les surintendants et gérants de projet, directeurs d'opération des chantiers que j'ai suivis pour leur compréhension et le temps précieux qu'ils m'ont accordé.

Enfin, la réussite de mon travail n'aurait pas été possible sans le soutien de mes proches. À ce titre, j'aimerais particulièrement remercier mes parents qui m'ont apporté un soutien financier, mais surtout leur soutien moral sans faille qui m'a permis de réussir et Hélène Thieblemont qui m'a soutenu, aidé tout au long de la réalisation de cette étude et qui a pris le temps de m'aider dans la rédaction de ce mémoire.

NOUVELLES TECHNOLOGIES, JURIDICTION DES MÉTIERS ET PRODUCTIVITÉ DANS LES PROJETS DE CONSTRUCTION QUÉBÉCOIS

Maxime SAGNIER

RÉSUMÉ

L'industrie de la construction est en mal de productivité notamment du fait de sa fragmentation. Cette fragmentation semble être favorisée au Québec par des lois et juridictions rigides. L'objectif de la recherche est d'étudier l'impact des spécificités de l'industrie de la construction québécoise sur la productivité, que ce soit au niveau de l'exécution des chantiers ou des nouvelles technologies.

Ce manque de productivité dont pâtit l'industrie de la construction provient notamment de son manque de collaboration entre ses acteurs. Cette fragmentation peut être atténuée par l'utilisation de technologies de l'information et de la communication (TIC). Afin d'étudier les freins et incitatifs à l'implantation des TIC spécifiques au Québec, des entretiens ont été réalisés avec des acteurs de la construction non précurseurs dans les TIC puis leurs réseaux sociaux ont été analysés. Les résultats ont permis de confirmer les freins trouvés dans la littérature (fragmentation, manque de confiance, manque de compétences...) mais avec une cause différente : le cadre légal québécois.

Ce cadre légal, avec notamment la juridiction des métiers, est aussi à l'origine de la multiplicité des sous-traitants. Afin de valider et de quantifier les impacts identifiés dans la littérature et de comprendre les dynamiques engendrées par cette multiplicité, des observations sur le chantier ont été réalisées afin d'élaborer un modèle de dynamique des systèmes. Une interface graphique a été réalisée afin de mettre à disposition aux lecteurs un modèle utilisable librement. Les résultats ont montré que la juridiction des métiers semble augmenter la gestion à réaliser sur les chantiers et causer une baisse de productivité sur des chantiers de moyenne envergure (5M\$). Néanmoins, ces impacts semblent être plus importants sur des chantiers de plus petite envergure d'une durée de quelques semaines, comme montrés par le modèle de dynamique des systèmes.

Ainsi, le cadre légal de la construction québécoise semble devoir s'adapter afin de permettre une meilleure implantation des TIC et améliorer la productivité des travaux. En effet, les responsabilités semblent devoir être redéfinies, les lois et règlements sur les professionnels et la juridiction des métiers être assouplies, le paiement des acteurs être révisé et les TIC doivent être exigées dans les contrats.

Mots-clés : fragmentation, juridiction des métiers, dynamique des systèmes, productivité, analyse de réseaux sociaux, technologies de l'information et de communication.

NEW TECHNOLOGIES, TRADE JURISDICTIONAL ASSIGNMENT AND PRODUCTIVITY IN QUEBEC CONSTRUCTION PROJECTS

Maxime SAGNIER

ABSTRACT

Compared to other industries, construction industry productivity is poor, especially because of its fragmentation. This fragmentation seems to be favored by rigid Quebec's laws and regulations. The objective of this research is to study the impact of the legal framework of the Quebec construction industry on productivity and implementation of information and communication technologies (ICT).

The construction industry lack of productivity is also due to its lack of collaboration among its players. This fragmentation can be softened by the use of ICT. By analyzing social networks, in order to study the specific constraints and incentives for the ICT implementation in Québec, we have analyzed interviews with construction stakeholders, but not precursors in ICT. Results have confirmed the barriers found in the literature (Fragmentation, lack of confidence, lack of skills, etc.). Nevertheless, results show a different cause than those found in the literature: the legal framework in Quebec.

The trade jurisdictional assignment has involved a proliferation of subcontractors. In order to validate and quantify the impacts identified in the literature and to understand the dynamics generated by the significant number of subcontractors, we made observations on construction sites to develop a model of system dynamics. A graphical interface has been realized in order to provide a usable free model for readers. Results show that the trade jurisdictional assignment seems to increase the construction sites management and cause a decrease of productivity on average sized projects (5M \$). However, these impacts seem more significant on smaller sized sites of a few weeks' duration, as shown by the system dynamics model.

Therefore, the Quebec construction industry legal framework seems to need to be adjusted in order to allow a better implementation of ICT and to improve the site productivity. Indeed, the responsibilities seem to have to be redefined, the laws and regulations on professionals and the trade jurisdictional assignment to be relaxed and the payment of the actors to be revised.

Keywords : fragmentation, trades regulation, systems dynamic, productivity, social networks analysis, information and communication technologies.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE.....	5
1.1 Relation entre les acteurs	5
1.1.1 Processus de conception intégrée.....	6
1.1.2 L'utilisation de la technologie au service du PCI	8
1.1.2.1 PCI et TIC	8
1.1.2.2 Building information modeling.....	8
1.1.2.3 TIC et collaboration	9
1.2 Les freins aux nouvelles technologies	10
1.2.1 Facteurs de succès.....	11
1.2.2 Barrières du cadre légal	12
1.2.3 Facteur culturel et relations entre les acteurs	13
1.2.4 Freins financiers.....	13
1.2.5 Faible maturité	14
1.2.6 TIC au Québec	15
1.3 Analyses de réseaux sociaux.....	16
1.3.1 Applications	18
1.3.2 Avantages et inconvénients de l'analyse des réseaux sociaux.....	20
1.4 L'entretien.....	21
1.5 La juridiction des métiers.....	23
1.5.1 Impacts de la juridiction des métiers	25
1.6 Les dynamiques de projet	26
1.7 La théorie de la dynamique des systèmes	28
1.7.1 Applications de la dynamique des systèmes.....	31
1.7.1.1 Étude de l'efficacité de la construction.....	32
1.7.1.2 Outil d'aide à la décision	34
1.7.1.3 Récapitulatif.....	34
1.7.2 Obtention des données pour la dynamique des systèmes	35
1.8 Les reprises des travaux de construction	36
1.9 Productivité des ouvriers.....	38
1.10 Pertinence des travaux de la littérature	39
1.10.1 Pertinence des travaux pour les nouvelles technologies.....	40
1.10.2 Pertinence des travaux pour la juridiction des métiers	41
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	43
2.1 Méthodologie sur les nouvelles technologies	43
2.1.1 Objectif et hypothèse	43
2.1.2 Méthode de recherche	44
2.1.3 Analyse des documents légaux	45
2.1.4 Interviews.....	46

	2.1.4.1	Échantillon	46
	2.1.4.2	Déroulement.....	48
	2.1.4.3	Questions.....	48
	2.1.5	Observations de réunions.....	50
	2.1.6	Analyse	50
2.2		Méthodologie sur les impacts de la juridiction des métiers.....	50
	2.2.1	Choix de la méthode de recherche	51
	2.2.2	Hypothèses.....	51
	2.2.2.1	Période d'assimilation des nouveaux ouvriers (H1)	52
	2.2.2.2	Problème de mobilisation des sous-traitants (H2)	52
	2.2.2.3	Gestion importante des S-T (H3).....	53
	2.2.2.4	Gestion de la sécurité (H4)	53
	2.2.2.5	Conflits juridiques et spatiaux (H5).....	54
	2.2.2.6	Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6)	54
	2.1	Méthode de recherche de chantier	55
	2.1.1	Méthode d'agrégation des données.....	56
	2.1.1.1	Méthode d'observation	56
	2.1.1.2	Journée d'observation au chantier	57
	2.1.1.3	Fiches de notes et définition du vocabulaire utilisé.....	58
	2.1.1.4	Évènements impliquant plusieurs sous-traitants.....	61
	2.1.1.5	Calcul de la productivité	61
	2.1.1.6	Résumé de la méthode d'observation sur les chantiers	61
	2.1.2	Modélisation	62
CHAPITRE 3		RÉSULTATS.....	63
3.1		Résultats de l'analyse des documents légaux et contractuels	63
	3.1.1	Impression des documents	63
	3.1.2	Signature et sceau	64
	3.1.3	Connaissances et compétences	65
	3.1.4	Demandes pour soumission et honoraires.....	66
	3.1.5	Répartition des missions et collaboration	67
	3.1.5.1	Freins à la collaboration.....	67
	3.1.5.2	Incitatifs à la collaboration.....	69
	3.1.5.3	Incertitude sur le rôle de l'architecte	70
	3.1.6	Confidentialité des documents.....	71
	3.1.7	Composition des équipes de projet	71
	3.1.8	Points mal définis dans les contrats	72
3.2		Résultats des entrevues	72
	3.2.1	Résultats qualitatifs.....	73
	3.2.1.1	Maturité des entreprises et freins	73
	3.2.1.2	Freins du cadre légal	73
	3.2.2	Réponses aux questions	74
	3.2.2.1	Collaboration réelle entre les acteurs.....	75
	3.2.2.2	Confiance entre les acteurs	75
	3.2.2.3	Visions communes entre les acteurs	76

	3.2.2.4	Sentiment de partage d'objectifs.....	76
	3.2.2.5	Moyens de communication.....	77
	3.2.2.6	Efficacité des communications.....	78
	3.2.2.7	Formats échangés.....	78
	3.2.2.8	Vision de l'interopérabilité.....	79
	3.2.3	Entretiens au sujet des nouvelles technologies.....	79
3.3		Résultats des observations de réunions.....	80
3.4		Résultats des observations sur chantier.....	85
	3.4.1	Présentation générale des chantiers observés.....	85
	3.4.2	Mise en place du processus d'observation pendant la période de test.....	86
	3.4.2.1	Résultats de la période de test.....	86
	3.4.2.2	Ajustement de l'analyse de la productivité.....	87
	3.4.3	Résultats de l'étude de cas 1.....	89
	3.4.3.1	Résultats qualitatifs.....	90
	3.4.3.2	Communications (H3).....	92
	3.4.3.3	Gestions (H3, H4).....	94
	3.4.3.4	Déficiences (H5).....	95
	3.4.3.5	Retardements (H2).....	96
	3.4.3.6	Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6).....	98
	3.4.3.7	Productivité des sous-traitants (H1).....	99
	3.4.3.8	Journée d'observation au chantier (H3).....	100
	3.4.4	Résultats de l'étude de cas 2.....	101
	3.4.4.1	Résultats qualitatifs.....	102
	3.4.4.2	Communications (H3).....	103
	3.4.4.3	Gestions (H3, H4).....	105
	3.4.4.4	Déficiences (H5).....	107
	3.4.4.5	Retardements (H2).....	107
	3.4.4.6	Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6).....	109
	3.4.4.7	Productivité des sous-traitants (H1).....	110
	3.4.4.8	Journée d'observation au chantier (H3).....	111
	3.4.5	Résultats de l'étude de cas 3.....	112
	3.4.6	Résultats de l'étude de cas 4.....	113
CHAPITRE 4		ANALYSE DES RÉSULTATS.....	115
4.1		Analyse des entretiens.....	115
	4.1.1	Présentation générale de l'analyse.....	115
	4.1.2	Collaboration réelle entre les acteurs.....	116
	4.1.3	Confiance entre les acteurs.....	119
	4.1.4	Visions communes entre les acteurs.....	120
	4.1.5	Sentiment de partage d'objectifs.....	121
	4.1.6	Moyens de communication.....	123
	4.1.7	Efficacité des communications.....	124
	4.1.8	Formats échangés.....	125
	4.1.9	Vision de l'interopérabilité.....	126
	4.1.10	Général.....	127

4.2	Analyse des observations de réunions et des documents légaux	129
4.2.1	Bilan de l'étude des documents légaux et contractuels	129
4.2.2	Analyse des observations de réunions	131
4.3	Analyse des résultats des observations sur chantier	131
4.3.1	Période d'assimilation des nouveaux ouvriers.....	132
4.3.2	Problème de mobilisation des sous-traitants.....	132
4.3.3	Gestion importante des S-T	135
4.3.4	Gestion de la sécurité.....	137
4.3.5	Conflits juridiques et spatiaux	137
4.3.6	Évènements impliquant plusieurs sous-traitants.....	138
4.4	Interprétations des données grâce à la dynamique des systèmes.....	139
4.4.1	Période d'assimilation des nouveaux ouvriers.....	140
4.4.1.1	Étude des dynamiques du modèle d'Abdel-Hamid (1989).....	140
4.4.1.2	Adaptation du modèle d'Abdel-Hamid (1989) aux observations.....	141
4.4.2	Communications et gestions	142
4.4.2.1	Modélisation du temps de gestion initial	142
4.4.2.2	Modélisation des erreurs	143
4.4.2.3	Modélisation de l'effet de la gestion sur la productivité.....	145
4.4.3	Gestion de la sécurité.....	146
4.4.4	Mobilisation des sous-traitants et nombre d'ouvriers.....	146
4.4.5	Simulations	148
4.4.5.1	Chantier de taille moyenne	148
4.4.5.2	Chantier de petite taille	149
4.4.5.3	Mise à disposition du modèle	150
CHAPITRE 5	DISCUSSION	151
5.1	Synthèse	151
5.1.1	Contexte freinant l'implantation des TIC	151
5.1.2	Contexte incitant l'implantation des TIC.....	152
5.1.3	Frein à l'implantation des TIC.....	153
5.1.4	Impacts de la juridiction des métiers	154
5.2	Implications pour l'industrie de la construction et le cadre légal	155
5.3	Implications des impacts de la juridiction des métiers	157
5.4	Limitation.....	158
5.5	Directions futures.....	159
CONCLUSION	163
ANNEXE I	LISTE DES DOCUMENTS LÉGAUX ÉTUDIÉS	167
ANNEXE II	GUIDE D'ENTRETIENS.....	169
ANNEXE III	RÉSULTATS DES ENTRETIENS AVEC LES ACTEURS.....	177
ANNEXE IV	COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS OBSERVÉES	199

ANNEXE V	SOUS-TRAITANTS DES CHANTIERS OBSERVÉS	237
ANNEXE VI	FEUILLES DE NOTES DE CHANTIERS	241
ANNEXE VII	RÉSULTATS DES OBSERVATIONS SUR LES CHANTIERS 1 ET 2	247
ANNEXE VIII	PRODUCTIVITÉ DES SOUS-TRAITANT	263
ANNEXE IX	ÉQUATIONS DU MODÈLE DE DYNAMIQUE DES SYSTÈMES	267
ANNEXE X	RÉSULTATS GRAPHIQUES DES SIMULATIONS.....	275
ANNEXE XI	MODÈLE ITHINK (CD).....	277
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	279

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Comparaison du PCI et du processus traditionnel7
Tableau 1.2	Comparaison entre questions ouvertes et fermées22
Tableau 2.1	Exemples de relations pour 3 S-T.....61
Tableau 3.1	Répartition des rôles des personnes interrogées72
Tableau 3.2	Barème des relations sur la collaboration ressentie75
Tableau 3.3	Points attribués pour la confiance entre les acteurs75
Tableau 3.4	Points attribués pour la vision commune76
Tableau 3.5	Points attribués pour le sentiment de partage de vision77
Tableau 3.6	Points attribués aux acteurs pour les moyens de communication.....77
Tableau 3.7	Points attribués sur l'efficacité des communications78
Tableau 3.8	Points attribués sur les formats échangés.....79
Tableau 3.9	Pointage pour la vision de l'interopérabilité79
Tableau 3.10	Comparaison des positions des acteurs.....82
Tableau 3.11	Comparaison des points de vue sur la cession de la maquette.....83
Tableau 3.12	Comparaison des points de vue les points techniques84
Tableau 3.13	Résumé des cas d'observations85
Tableau 3.14	Statistiques sur les observations faites sur les chantiers86
Tableau 3.15	Étendue des travaux (cas 1)90
Tableau 3.16	Étendue des travaux (Cas 2)102
Tableau 3.17	Tableau des sous-traitants observés sur le cas 4114
Tableau 4.1	Matrice de la collaboration ressentie par les acteurs117
Tableau 4.2	Données du modèle.....139

XVIII

Tableau 4.3	Durée des projets simulés d'un projet de moyenne envergure.....	149
Tableau 4.4	Durée des projets simulés d'un projet de petite envergure.....	149
Tableau 5.1	Résumé de la réunion avec le deuxième CP	224

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Dynamiques de projets typiques,	27
Figure 1.2	Diagramme d'une boucle causale positive (a) et négative (b).....	30
Figure 1.3	Diagramme causale du système d'une population	30
Figure 1.4	Éléments des reprises	37
Figure 2.1	Diagramme de la méthode sur l'implantation des TIC	44
Figure 2.2	Méthodes d'observations sur chantier	62
Figure 3.1	Échéanciers des observations.....	85
Figure 3.2	Plan schématique du chantier de l'étude de cas 1	89
Figure 3.3	Graphique du nombre de communications du S-T classé en fonction de l'ampleur du S-T (cas 1).....	92
Figure 3.4	Taux de communication en fonction des jours-personnes (Cas 1)	93
Figure 3.5	Taux de gestion en fonction des jours-personnes (Cas 1).....	94
Figure 3.6	Répartition des gestions classées selon leur cause (Cas 1).....	95
Figure 3.7	Répartition des catégories de déficiences (Cas 1).....	95
Figure 3.8	Taux de retardements classés en fonction de l'ampleur du S-T (Cas 1)....	96
Figure 3.9	Taux de retardements en fonction des jours-personnes (Cas 1)	97
Figure 3.10	Répartition des catégories de retardements (Cas 1).....	97
Figure 3.11	Diagramme des interdépendances entre les S-T (Cas 1)	98
Figure 3.12	Avancement cumulé et nombre d'ouvriers de systèmes intérieurs (Cas 1).....	99
Figure 3.13	Productivité moyenne et nouveaux ouvriers du S-T en systèmes intérieurs (Cas 1).....	99
Figure 3.14	Graphique de la répartition des tâches du surintendant (Cas 1).....	100

Figure 3.15	Plan schématique du bâtiment en rénovation de l'étude de cas 2	101
Figure 3.16	Graphique du nombre de communications du S-T classé en fonction de l'ampleur du S-T (cas 2).....	104
Figure 3.17	Taux de communication en fonction des jours-personnes (Cas 2)	105
Figure 3.18	Taux de gestion en fonction des jours-personnes (Cas 2).....	106
Figure 3.19	Répartition des gestions classées selon leur cause (Cas 2).....	106
Figure 3.20	Répartition des catégories de déficiences (Cas 2).....	107
Figure 3.21	Taux de retardements classés en fonction de l'ampleur du S-T (Cas 2)..	108
Figure 3.22	Taux de retardements en fonction des jours-personnes (Cas 2)	108
Figure 3.23	Répartition des catégories de retardements (Cas 2).....	109
Figure 3.24	Diagramme des interdépendances entre les S-T (Cas 2)	110
Figure 3.25	Avancement cumulé et nombre d'ouvriers de systèmes intérieurs (Cas 2).....	111
Figure 3.26	Productivité moyenne et nouveaux ouvriers du S-T en systèmes intérieurs (Cas 2).....	111
Figure 3.27	Graphique de la répartition des tâches du surintendant (Cas 2).....	112
Figure 4.1	Diagramme de la collaboration ressentie entre les acteurs	117
Figure 4.2	Diagramme des différences du ressenti de chaque acteur	119
Figure 4.3	Confiance entre les acteurs	120
Figure 4.4	Diagramme des visions communes entre les acteurs.....	121
Figure 4.5	Diagramme de sentiment de partage de vision	122
Figure 4.6	Diagramme des moyens de communication communs voulus par les acteurs	123
Figure 4.7	Diagramme de la vision de l'efficacité des communications des acteurs	124
Figure 4.8	Diagramme des formats utilisés pour échanger les documents entre les acteurs.....	125

Figure 4.9	Diagramme de la vision de l'interopérabilité entre les acteurs	126
Figure 4.10	Diagramme de la somme normalisée de l'ensemble des relations analysées	127
Figure 4.11	Dendrogramme de la somme normalisée de toutes les relations analysées.....	128
Figure 4.12	Dynamiques de l'assimilation d'un ouvrier modélisé par les SD	141
Figure 4.13	Diagramme causale des communications et de la gestion	142
Figure 4.14	Temps de gestion en fonction de l'ampleur des travaux des ST (cas 1) ..	143
Figure 4.15	Relation entre la gestion et les erreurs	145
Figure 4.16	Effet de la gestion sur la productivité	145
Figure 4.17	Diagramme causale des accueils sécurité	146
Figure 4.18	Diagramme causale de la mobilisation	147
Figure 4.19	Nombre d'ouvriers souhaités par S-T en fonction de l'avancement de leurs travaux	147
Figure 5.1	Résumé des discussions sur l'implantation des TIC.....	156

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AAPPQ	l'Association des architectes en pratique privée du Québec
AFG	Association des firmes de génie-conseil
ASST	Attribué à la sur sous-traitance
BIM	Building information modeling
BSDQ	Bureaux des soumissions déposées du Québec
CCDC	Comité canadien des documents de construction
CCQ	Commission de la construction du Québec
DS	Dynamiques des systèmes
H1	Hypothèse sur l'assimilation des nouveaux ouvriers
H2	Hypothèse sur les problèmes d'assimilation des sous-traitants
H3	Hypothèse sur la gestion importante des sous-traitants
H4	Hypothèse sur la gestion de la sécurité
H5	Hypothèse sur les conflits juridiques et spatiaux
H6	Hypothèse sur les événements impliquant plusieurs sous-traitants
PCI	Processus de conception intégrée
PCT	Processus de conception traditionnel
S-T	Sous-traitant
SQI	Société Québécoise des infrastructures
SNA	<i>Social network analysis</i>
TIC	Technologies de l'information et de la communication

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

2D	deux dimensions
3D	trois dimensions
m	mètre
m ²	mètre carré
pi ²	pied carré
h	heure
j	jour
min	minutes
M\$	Million de dollar canadien

INTRODUCTION

L'industrie de la construction est un secteur majeur au Québec. En 2013, elle représentait 13 % du PIB, soit des investissements d'environ 48 milliards de dollars, et un emploi sur vingt de la province est dans le secteur de la construction (CCQ, 2016). De plus, elle est au service de nombreux autres secteurs (industriel, commercial, résidentiel, etc.) qui en dépendent. De nombreux chercheurs ont mis en évidence le niveau de productivité faible de l'industrie de la construction et affirmé son retard sur d'autres secteurs en matière d'amélioration de l'efficacité (Bankvall *et al.*, 2010). Alors que l'ensemble des industries du Canada ont vu leur productivité du travail augmenter de 3,6 % entre 2009 et 2013, celle de la construction a diminué de 0,2 % (Gouvernement du Canada, 2015). Par conséquent, l'industrie de la construction a besoin d'augmenter sa productivité.

L'industrie de la construction est décrite par Davidson (1988) comme une « multi-industrie » structurée en un réseau d'organisations. Ce réseau traduit la nature segmentée propre à l'industrie de la construction, segmentation qui est reconnue comme un des facteurs majeurs entraînant la stagnation de la productivité. La particularité des projets de construction est leur unicité, aussi bien dans leur conception que dans la composition de l'équipe qui les réalise. Cette équipe de projet forme une multi-organisation où les différents professionnels aux domaines d'expertise variés s'engagent à différents moments dans le projet et n'ont pas les mêmes objectifs (Liston, Fischer et Winograd, 2001). Ces disparités entre les différents membres rendent complexes les relations, alors que ceux-ci doivent échanger des informations (Woo, Lee et Sasada, 2001) et collaborer efficacement (Howard *et al.* 1989). Ainsi, la collaboration et les communications entre les membres de l'équipe de projet sont entravées par la structure fragmentée de l'industrie (Dupagne, 1991 ; Rush et American Institute of Architects, 1986).

Dans le monde entier, en raison de la fragmentation des équipes, la majorité des tâches d'un projet consiste à produire et partager de l'information. Selon des recherches récentes, la

difficulté à accéder rapidement à l'information est l'une des causes des écarts importants entre productivité dans la construction et celle des autres industries (Löfgren, 2007 ; Hewage, Ruwanpura et Jergeas, 2008). Les technologies de l'information et de la communication (TIC) permettent alors de pallier cette fragmentation par l'amélioration des communications et de la coordination (Forgues, Frenette et Tahrani, 2014).

Si les nouvelles technologies ont déjà prouvé leur capacité à augmenter la productivité des processus, l'industrie de la construction se doit d'améliorer leur implantation (Abduh et Skibniewski, 2003) comme le reconnaissent ses dirigeants et cadres (Rivard, 2000). En effet, l'industrie de la construction accuse un retard sur les autres industries dans les nouvelles technologies dû à un certain nombre de freins à leur adoption, notamment un processus d'intégration lent et une attitude réfractaire aux changements (Bowden *et al.*, 2005a).

La situation au Canada est particulière de par la grande variation de l'industrie de la construction d'une province à l'autre. La question de l'implantation des TIC est donc à prendre de manière spécifique pour chaque province. Au Québec, l'industrie est très fragmentée; 83% des entreprises avaient moins de 5 salariés en 2014 (CCQ, 2015). Il est alors important d'observer le cas spécifique du Québec.

L'approche traditionnelle (contrat forfaitaire), majoritaire au Québec, est un processus où les décisions sont souvent prises en silo (Fruchter, 1999). De plus, le cadre légal, c'est-à-dire les lois et juridictions du Québec ainsi que les contrats des projets de construction, crée une fragmentation tout au long des projets. En effet, d'après les acteurs de la construction, les lois ont créé des séparations entre les différentes spécialités (ingénieur, architecte, entrepreneur) plus fermes que dans d'autres pays. Au Québec, l'industrie de la construction est réglementée depuis 1968 par :

- la loi sur les relations du travail, la formation professionnelle et de la gestion de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction (RLRQ, c. R-20);
- le règlement sur la formation professionnelle de la main-d'œuvre de l'industrie de la construction (RLRQ, c R-20, r.8);

- la loi sur le bâtiment (RLRQ, c B-1.1);
- le bureau des soumissions déposées du Québec (BSDQ).

Ces règlements imposent notamment une formation obligatoire pour 25 métiers alors que dans les autres provinces du Canada un maximum de 11 métiers à formation obligatoire existe et certaines provinces n'ont aucune formation obligatoire. Ces règlements ont été imposés afin de spécialiser les ouvriers et augmenter leur productivité comme sur les chaînes de production. Cependant, ce nombre élevé de métiers à formation entraîne un nombre élevé de sous-traitants (S-T) sous la charge des entrepreneurs généraux. Cette juridiction complexifie alors la gestion de l'échéancier, des contrats, des déficiences et des communications avec les S-T. Elle induit une dégradation des relations entre entrepreneurs généraux et S-T, de la santé et de la sécurité du travail et de la productivité des ouvriers (Gautier, Katsanis et Martin, 2015).

Par conséquent, cette étude visait à mieux identifier les spécificités québécoises de l'industrie de la construction influençant la productivité des projets. Plus particulièrement, deux objectifs majeurs ont été définis :

- réaliser une étude sur les freins et incitatifs à l'adoption des nouvelles technologies dans un contexte québécois, considérant la grande fragmentation de l'industrie dans cette province. La recherche visait à déterminer les facteurs limitant l'adoption des TIC et trouver les améliorations possibles dans le contexte québécois. Pour cela, nous avons étudié des documents du cadre légal et nous avons observé des réunions. De plus, un échantillon de l'ensemble des acteurs majeurs de la construction a été consulté pour connaître leurs habitudes et visions. Les répondants étaient non-précurseurs dans les TIC;
- réaliser une analyse quantitative et qualitative des impacts de la juridiction québécoise sur l'exécution des travaux, basée sur des observations sur chantiers puis une modélisation par la dynamique des systèmes.

Le présent document s'articule en cinq chapitres. Ainsi, le chapitre 1 fait état de la littérature sur l'étude des freins aux TIC ainsi que sur l'analyse des réseaux sociaux comme outils

puissants pour analyser les relations entre les acteurs de la construction. Puis nous faisons état de la littérature sur la juridiction des métiers et ses impacts, mais aussi sur la méthode de la dynamique des systèmes comme outils pour quantifier l'impact de cette juridiction. Le chapitre 2 illustre la méthode utilisée pour quantifier et valider les impacts de la juridiction des métiers. Nous expliquons la méthode afin d'analyser les freins et incitatifs à l'implantation des TIC au Québec. Les méthodes d'étude des documents légaux du Québec, d'interview des acteurs de la construction et d'observation de réunions sont présentées. Ensuite, nous présentons la méthode d'observation sur chantier réalisée afin de modéliser ensuite un modèle par la dynamique des systèmes. Le chapitre 3 présente les résultats des observations sur les TIC et des chantiers étudiés. Le chapitre 4 présente l'analyse des interviews des différents acteurs de la construction, des observations des réunions et des résultats des observations sur chantier puis la modélisation par la dynamique des systèmes. Finalement, les résultats sont discutés dans le chapitre 5.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Pour étudier l'implantation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le domaine de la construction, nous parcourons la littérature scientifique (parties 1.1 à 1.4). Ensuite, nous parcourons la littérature scientifique pour étudier la juridiction des métiers et ses impacts (parties 1.5 à 1.9). Enfin, nous résumons la pertinence des travaux de la littérature dans la partie 1.10.

Pour commencer, puisque les TIC viennent faciliter les échanges entre les personnes, nous nous intéressons aux relations entre les acteurs de la construction.

1.1 Relation entre les acteurs

Aujourd'hui, dans l'industrie de la construction, de multiples modes de réalisation peuvent être choisis par le maître d'ouvrage afin de réaliser son projet. Ces modes de réalisation ont vu le jour par la volonté des clients, mais aussi des professionnels et des entrepreneurs afin de réduire les délais, coûts et litiges, tout en augmentant la qualité de construction (Institut royal d'architecture du Canada, 2009). Cela a abouti à des modes de réalisation classables selon les 4 catégories suivantes :

Mode traditionnel : Le mode traditionnel, aussi appelé « design-bid-build » ou forfaitaire comporte 3 étapes distinctes : conception, offre et réalisation. Ce mode de réalisation est reconnu pour présenter un facteur risque moins élevé pour le maître de l'ouvrage. Néanmoins, il est reconnu qu'il implique un temps de projets plus long et des coûts plus élevés où les changements potentiels ont un plus grand impact négatif sur les performances du projet. Aujourd'hui, le mode dit traditionnel est prédominant au Québec (Institut royal d'architecture du Canada, 2009).

Mode de gérance : Dans ce mode, le client engage dès le début un gérant de construction chargé de surveiller certains aspects du projet. Ce mode procure une meilleure gestion du

projet, mais augmente les coûts par l'embauche du gérant et peut complexifier les relations au sein du projet (Institut royal d'architecture du Canada, 2009).

Mode conception-construction (Design/Build) : une firme unique exécute pour le maître d'ouvrage la conception et la construction. L'entrepreneur général est donc engagé avant que la conception soit terminée. D'après le Design-Build Institute of America (1994), les bénéfices sont : la qualité, les gains de temps et d'argent, le potentiel soulagement de l'administratif; la connaissance précoce des coûts des firmes et une gestion des risques améliorée.

Partenariat public-privé (PPP) : L'entreprise titulaire du marché est chargée de l'ingénierie détaillée, l'approvisionnement, la construction et l'exploitation des ouvrages. Cette entreprise finance la construction et récupère les revenus d'exploitation. Ce mode de réalisation est plus courant pour les projets d'infrastructures et les grands édifices publics.

Les nouveaux modes de construction essaient tous d'augmenter la collaboration avec notamment un entrepreneur général impliqué plus tôt et des rôles centrés autour d'un seul acteur principal. En plus des modes de construction, il apparaît aussi de nouveaux processus de construction qui peuvent s'appliquer aux différents modes.

1.1.1 Processus de conception intégrée

Le processus de conception intégrée (PCI) est une nouvelle approche voulant favoriser l'optimisation continue et la collaboration multidisciplinaire. Le PCI a été conçu pour changer le processus de conception traditionnel (PCT) qui se concentre sur l'optimisation de la conception par discipline. Le PCI est classé hors des modes de réalisation précédente. En effet, selon AIA (Aia, 2007) les principes du PCI peuvent être appliqués à de multiples modes de réalisation.

Le PCI vise à interroger l'adéquation des solutions par rapport aux objectifs afin de favoriser la recherche continue d'optimisation des solutions (Reed, 2009). Tous les intervenants collaborent et participent, contrairement au PCT où le travail est en silo, sans partage des hypothèses, et les décisions de conception sont limitées (Busby Perkins et Will Stantec

Consulting, 2007). Le cadre du PCI appelle à l'intégration de personnels professionnels de diverses entreprises participantes, l'utilisation de toutes les technologies disponibles, des structures organisationnelles et hiérarchies alternatives, et de nouvelles méthodes pour la génération de profits (Aia, 2007). Plusieurs études se sont intéressées aux différences entre PCI et PCT. Aia (2007) a réalisé une comparaison divisée en six thèmes entre le PCI et le PCT, présenté en Tableau 1.1. Matthews et Howell (2005) ont noté les impacts sur quatre fronts : « la créativité de la conception, la coopération, l'innovation et la collaboration ». Principalement, ces études ont mis en lumière le manque de collaboration et de synergie du PCT par rapport au PCI.

Tableau 1.1 Comparaison du PCI et du processus traditionnel
Adapté de Aia (2007, p. 1)

Thèmes	Processus de conception intégrée (PCI)	Processus de conception traditionnelle (PCT)
Équipes	<ul style="list-style-type: none"> • intégrées et considérées comme une entité; • composées des parties prenantes clés du projet; • assemblées tôt dans le processus • ouvertes et collaboratives. 	<ul style="list-style-type: none"> • fragmentées; • assemblées sur un minimum nécessaire ; • contrôlées et fortement hiérarchisées.
Processus	<ul style="list-style-type: none"> • partage de la connaissance et de l'expertise tôt dans le projet; • information ouvertement partagée; • confiance et respects des parties prenantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • linéaires; • en silo; • connaissances collectées à minima.
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • gérés collectivement; • partagés de façon appropriée. 	<ul style="list-style-type: none"> • gérés individuellement; • transférés.
Récompenses	<ul style="list-style-type: none"> • succès de l'équipe lié au succès du projet; • basées sur la valeur. 	<ul style="list-style-type: none"> • poursuivies individuellement; • basées sur le premier coût établi.
Technologies	<ul style="list-style-type: none"> • numériques (dont bim). 	<ul style="list-style-type: none"> • sur papier.
Accord	<ul style="list-style-type: none"> • partage des risques. 	<ul style="list-style-type: none"> • répartition et transfert des risques; • pas de partage.

1.1.2 L'utilisation de la technologie au service du PCI

1.1.2.1 PCI et TIC

Dans la littérature, plusieurs recherches ont étudié l'utilisation de la technologie au service du PCI. Par exemple, une méthodologie qualitative en deux étapes comportant des entrevues de l'industrie et un questionnaire subséquent de l'enquête a été proposée par Kent et Becerik-Gerber (2010). Cette méthode a permis de mieux comprendre les attitudes et les perceptions au sujet du PCI. Leurs conclusions indiquent que : (1) le PCI n'est pas encore largement utilisé dans l'industrie; (2) la confiance, le respect, et de bonnes relations de travail entre les membres de l'équipe sont la clé et un facteur de succès; et (3) ceux ayant une expérience en PCI ont également une plus grande expérience avec le building information modeling (BIM) (Kent et Becerik-Gerber, 2010, p. 824). La troisième constatation est la preuve d'un potentiel de synergie entre la technologie et la stratégie du PCI, qui peut entraîner des résultats de projet améliorés.

1.1.2.2 Building information modeling

Le BIM, en tant que processus et outil, marche de pair avec le PCI pour une conception itérative et intégrée. Le BIM est un outil centré sur une maquette numérique modélisant le bâtiment et contenant toutes les informations pertinentes sur celui-ci et ces éléments qui le composent. Cette maquette numérique permet de modéliser et visualiser en 3D le projet. Le BIM comprend divers outils pour la modélisation, l'analyse (énergétique, structurale...), et l'exploitation (planification, estimation, métrés...). La société AIA (2007) affirme que le BIM est un outil, et non une méthode de livraison du projet, mais la méthode PCI travaille main dans la main avec le BIM et permet d'exploiter les capacités de cet outil.

Une liste des principaux avantages du BIM perçus dans l'industrie de la construction est donnée ci-dessous (Fischer, Haymaker et Liston, 2003 ; Eastman, Sacks et Lee, 2003) :

- temps de conception raccourci et diminution des erreurs de conception;
- permet des analyses supplémentaires qui seraient difficiles sans cet outil;

- permet l'examen de plus d'alternatives de conception;
- réduction du temps entre la conception et la production;
- réduction du temps de la conception technique et de l'estimation des coûts ;
- réduction des travaux d'ingénierie non seulement hors site, mais aussi sur site;
- amélioration de la qualité de la construction par la production mieux contrôlée des éléments préfabriqués;
- résolution de problèmes complexes et particulièrement pour la coordination entre la mécanique, l'électricité et la plomberie (Dossick et Neff, 2011).

1.1.2.3 TIC et collaboration

Aujourd'hui, les multiples outils des nouvelles technologies comme le BIM sont des outils qui permettent de soutenir les aspects essentiels de la collaboration et donc d'aider la mise en place d'une méthode de PCI. Ils permettent par exemple la visualisation facilitée du projet et un échange de communications plus aisées. Cette amélioration de la communication favorise l'interaction entre les membres d'une équipe multidisciplinaire (Korkmaz et Messner, 2010). Dans les réunions traditionnelles, les plans à jour ne sont pas forcément disponibles ou visibles par tout le monde. Le discours n'est alors pas compréhensible et accessible à tous les participants et les annotations sont faites sur un exemplaire unique jamais diffusé. Les « Smartboards » ou table tactile permettant de visualiser, parcourir et annoter les plans à la vue de tous les membres d'une réunion. Aujourd'hui, ces Smartboards apportent une solution à ces problèmes. Elles fournissent une visualisation des plans ou autres documents à jour et les annotations sont disponibles pour tous.

En outre, l'application de ces technologies supporte le développement d'environnements virtuels intégrés, permettant aux membres de l'équipe d'être plus innovants et créatifs (Izam Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2013). Ces technologies de l'information favorisent aussi le partage des connaissances ainsi que la compréhension des objectifs du projet (Ruiz-Dominguez, 2005). Les technologies comme l'infonuagique (Cloud) permettent une

accessibilité des documents de projets à tous les intervenants, favorisant ainsi leur connaissance de l'intégralité des objectifs du projet.

Ces nouvelles technologies semblent donc de formidables outils améliorant les projets de construction et notamment les processus innovants comme le PCI. En effet, la plupart des tâches d'un projet consistent à produire et à partager de l'information, à décrire le produit souhaité et à établir les instructions pour le réaliser. Les TIC permettent alors de pallier cette fragmentation (Forgues, Frenette et Tahrani, 2014). Selon des recherches récentes, la difficulté pour accéder rapidement à l'information est l'une des causes de l'écart important de productivité entre la construction et les autres industries (Löfgren, 2007 ; Hewage, Ruwanpura et Jergeas, 2008). Les TIC sont donc l'une de clés pouvant permettre l'augmentation de la production dans l'industrie de la construction. Cependant, les nouvelles technologies semblent avoir du mal à s'implanter dans cette industrie.

1.2 Les freins aux nouvelles technologies

Partout dans le monde, l'industrie de la construction accuse sur les autres industries un retard dans les nouvelles technologies dû à un certain nombre de freins à leur adoption. L'industrie de la construction possède en effet de façon reconnue un processus d'intégration lent et une attitude réfractaire aux changements (Bowden *et al.*, 2005a). Nous pouvons citer plusieurs exemples concernant les technologies précédentes, notamment l'utilisation d'internet et des ordinateurs. Ainsi, au début du siècle en dépit d'une croissance explosive de l'utilisation d'internet dans de nombreuses industries, l'industrie de la construction ne l'avait pas adopté (Brandon, 2000 ; Abduh et Skibniewski, 2003). De même, alors que les ordinateurs étaient présents dans toutes les entreprises, celles-ci continuaient cependant à s'échanger les plans et devis par format papier malgré l'utilisation de logiciels complexes comme le dessin assisté par ordinateur (Rivard, 2000).

Les différentes recherches sur le sujet des nouvelles technologies et les freins à leur implantation dans l'industrie de la construction s'axent sur différentes bases :

- une partie des recherches étudient la conception intégrée assistée par les nouvelles technologies comme simple intermédiaire favorisant la communication. Pour Forgues, Chicchio, Lavalée et Laberge (1989) les TIC sont vues comme moyen de présentation plus efficace des informations. D'autres recherches comme celle de Tahrai *et al.* (2015) s'intéressent au PCI couplé aux nouvelles technologies et notamment le BIM;
- un grand nombre d'études se focalise sur le BIM et son implantation (Forgues *et al.*, 2014 ; Johnny *et al.*, 2014 ; Morlhon, Pellerin et Bourgault, 2014a) ou plus généralement l'intégration des TIC comme Hua (2013) qui a étudié les plans économiques pour l'intégration des technologies de l'information;
- enfin, les recherches étudient aussi les TIC dans leur ensemble. Forgues, Frenette et Tahrani (2014) étudient les technologies mobiles permettant l'accès rapide et mobile aux informations. Et Hassan Ibrahim (2013) a étudié toutes les nouvelles technologies permettant la collaboration.

Leurs principales conclusions sont expliquées ci-dessous.

1.2.1 Facteurs de succès

Les différentes recherches se sont beaucoup intéressées aux facteurs critiques de succès sans avoir trouvé de consensus (Khosrowshahi et Arayici, 2012). Dans les facteurs de succès trouvés, certains se dégagent, par exemple, la mise en place de :

- un plan de stratégie économique concernant les TI (Hua, 2013);
- une approche stratégique pour la mise en œuvre du BIM sur le plan organisationnel (Forgues *et al.*, 2014 ; Morlhon, Pellerin et Bourgault, 2014a);
- une meilleure harmonisation sur le plan organisationnel, procédural et technologique entre les organisations qui cherchent à collaborer dans un environnement BIM (Forgues *et al.*, 2014).

De plus, Forgues *et al.* (2014) affirment que le contexte du projet a une grande incidence sur l'étendue de l'utilisation du BIM. Ce contexte comprend la méthode de réalisation, les

anciennes relations des membres de l'équipe de projet ainsi que le type et la complexité du projet.

1.2.2 Barrières du cadre légal

Bien que ces technologies aient des avantages potentiels, des barrières existent (Becerik, 2004). La littérature est riche en études sur les freins aux TIC. Ceux-ci sont révélés par des études spécifiques aux freins à l'implantation des TIC, mais aussi au sein de recherches plus générales et des études de cas. Tout d'abord, des barrières légales sont observées (Aranda-Mena *et al.*, 2009). Ces barrières se traduisent par une norme imposée aux professionnels responsables et certifiés du projet (Allen *et al.*, 2005). Cette norme impose le format juridique légal des documents de conception en format papier. Tout document électronique doit être imprimé et signé afin qu'il possède une valeur lorsqu'il est sorti de la firme émettrice.

De plus, les questions contractuelles sont actuellement considérées comme le principal obstacle à l'adoption et l'intégration du BIM et du « cloud computing » (Redmond *et al.*, 2012). L'utilisation des TIC doit faire face à des problèmes de droits d'auteurs et de responsabilités légales (Allen *et al.*, 2005). En effet, les décisions sont collaboratives et tous les intervenants d'un projet peuvent modifier un document grâce aux TIC. Les TIC font face aussi à un concept incertain où les documents 3D et plans électroniques ne sont pas sujets au scellement comme les supports papier. En outre, des incertitudes sur la propriété des données partagées et des insuffisances dans les relations contractuelles existent.

Au Québec, l'industrie de la construction est très réglementée, ce qui complexifie les relations entre les acteurs. « Les codes de déontologie professionnels qui régissent les pratiques, ainsi que les contrats normatifs utilisés au Québec pour la réalisation de projet, encouragent une conception linéaire et fragmentée, instaurant une rigidité dans les relations entre les parties prenantes » (CERACQ, 2015, p. 3). Ainsi le cadre légal québécois est une barrière à la bonne utilisation des TIC.

1.2.3 Facteur culturel et relations entre les acteurs

D'autre part, la culture organisationnelle est considérée comme un facteur essentiel à l'intégration du BIM (Khosrowshahi et Arayici, 2012). La nature cloisonnée et fragmentée de l'industrie de la construction empêche alors l'adoption totale et uniforme du BIM (Forgues *et al.*, 2014). Ce cloisonnement est l'un des principaux soucis pour son adoption (Morlhon, Pellerin et Bourgault, 2014b). La barrière culturelle et la fragmentation se retrouvent dans l'incitation des disciplines à garder leurs pratiques traditionnelles freinant ainsi l'intégration d'outils nouveaux (Allen *et al.*, 2005 ; Forgues, Koskela et Lejeune, 2009). Fruchter (1999) a souligné le conditionnement des professionnels par leur formation les poussant à reproduire les pratiques apprises à l'université. Ces méthodes de travail rentrées dans les habitudes sont difficiles à faire évoluer (Allen *et al.*, 2005 ; Yum, 2005). Le secteur de la construction est reconnu pour avoir un processus d'intégration lent et une attitude réfractaire aux changements (Nourbakhsh, 2012 ; Bowden *et al.*, 2005b). Cela entraîne le refus d'adoption des nouvelles technologies (Forgues, Frenette et Tahrani, 2014).

Finalement, un leadership est nécessaire pour une bonne implantation des TIC (Hassan Ibrahim, 2013 ; Li, Lu et Huang, 2009), mais celui-ci est encore inexistant. Néanmoins, celui-ci pourrait entraîner des relations de forces freinant la collaboration (Yoo, Boland et Lyytinen, 2006).

1.2.4 Freins financiers

Ce manque d'ouverture des acteurs de l'industrie, vu dans la partie précédente, peut aussi s'expliquer en partie par la rareté des exemples de réussite d'intégration des technologies mobiles en construction (Bowden *et al.*, 2005b) et un manque de temps pour évaluer la technologie (Forgues, Frenette et Tahrani, 2014). Ces conditions induisent un manque de vision de rentabilité qui pénalise l'adoption des TIC dans l'industrie (Hassan Ibrahim, 2013).

En effet, le risque financier lié aux besoins d'investissement important en ressources spécialisées et en infrastructures technologiques est l'un des principaux freins à l'adoption

des TIC, et particulièrement du BIM (Forgues *et al.*, 2011). Par exemple, pour le client et les concepteurs, l'intégration des TIC représente souvent un risque financier (Allen *et al.*, 2005). Le client peut être effrayé que le coût d'intégration des TIC ne soit pas amorti par les avantages apportés par celles-ci. Pour les concepteurs, ils doivent investir dans du matériel informatique et des logiciels, auxquels il faut ajouter du temps d'implantation. En plus d'un investissement, le risque financier provient de la baisse de la productivité qu'entraîne l'apprentissage des TIC que doit suivre les travailleurs (Allen *et al.*, 2005).

1.2.5 Faible maturité

La maturité des entreprises en matière de TI est un facteur clé de l'implantation (Forgues *et al.*, 2014). Dans les cas de faible maturité, plusieurs freins importants en découlent. Tout d'abord, les TIC font peur de par la nouveauté des technologies. En effet, la sécurité de l'information (technologies mobiles) (Forgues, Frenette et Tahrani, 2014), le risque de manquer ou d'être submergé de données (Fischer, Haymaker et Liston, 2003) et la difficulté de garder les données à jour (Staub-French et Khanzode, 2007) sont des éléments freinant la volonté des entreprises d'implanter des TIC. L'adoption des TIC en collaboration est influencée par l'utilité perçue et la facilité d'utilisation des outils (Rezgui, 2007). Des outils très performants ne seront pas adoptés si leur utilisation est trop complexe. Il est donc important d'équilibrer la performance et la simplicité d'utilisation. De plus, dans certains cas, la technologie peut ne pas être adéquate aux besoins et aux demandes (Hassan Ibrahim, 2013) et poser des problèmes d'interopérabilité (Grilo et Jardim-Goncalves, 2010 ; Shen *et al.*, 2010). L'utilisation des TIC n'est donc pas directe et doit être adaptée à chaque cas.

Un autre frein à l'adoption des TIC est le faible niveau d'expérience des membres de l'équipe de projet en ce qui concerne le BIM (Forgues *et al.*, 2014 ; Hassan Ibrahim, 2013). Ce faible niveau d'expérience passe par l'incapacité de développer, de maintenir et d'utiliser le BIM de façon constante tout au long de l'expérimentation. Ce manque d'expérience traduit aussi le manque de l'éducation à ce niveau, considéré comme un facteur essentiel (Khosrowshahi et Arayici, 2012).

1.2.6 TIC au Québec

Le Québec semble en retard lorsqu'il s'agit d'adoption des nouvelles technologies. Par exemple pour le BIM, contrairement à des pays comme l'Angleterre où les projets publics sont obligatoirement réalisés en BIM, seuls de récents projets de grosse envergure au Québec se sont lancés dans le BIM. L'enquête de Forgues *et al.*(2011) réalisée auprès d'acteurs de la construction au Canada a montré le retard dans l'adoption du BIM qu'ont les entreprises canadiennes par rapport à leurs homologues américaines.

En effet, Forgues *et al.* (2011) ont établi l'état de la connaissance des TIC dans l'industrie. Pour ce faire, ils étudient les pratiques actuelles canadiennes et la littérature. Cette recherche est la prémisse d'une recherche où des projets pilotes sont mis en place afin d'améliorer la productivité en utilisant les outils du BIM (Forgues *et al.*, 2014). Mais l'étude a aussi permis dans un but secondaire d'identifier les TIC émergentes et les pratiques du BIM. Elle a aussi déterminé les bénéfices et obstacles au BIM ainsi que les changements nécessaires à son adoption. Cette recherche a combiné des analyses quantitatives et qualitatives en réalisant un sondage et des entrevues semi-dirigées. Le sondage et les entrevues ont été réalisés au sein d'un échantillon d'acteurs de la construction canadienne. Les firmes retenues ont été choisies pour leur innovation et adoption précoces dans les TIC. Cette étude est donc basée uniquement sur des précurseurs, connaissant et utilisant les TIC. Cette recherche a permis de comparer l'industrie de la construction canadienne à celle des États-Unis dans son adoption des TIC et du BIM. Les résultats montrent que l'industrie de la construction canadienne accuse un certain retard dans le niveau d'implantation du BIM. De plus, la recherche a permis de dégager des facteurs empêchant la pleine utilisation du BIM. Parmi ceux-ci, nous retrouvons : le manque d'expérience des utilisateurs ; les faibles demandes des clients ou d'autres firmes sur les projets; le manque de ressources; le manque de maturité des consultants.

Comme écrit précédemment, Forgues *et al.* (2014) soulignent l'importance du contexte. Leur étude (Forgues *et al.*, 2011) se base sur l'avis de personnes innovatrices ou utilisatrices

précoces des TIC et en ont donc une bonne connaissance. De plus, ces personnes interrogées travaillent dans plusieurs provinces du Canada. Dans une industrie variant beaucoup d'une province à l'autre, les spécificités du Québec restent à étudier. Ainsi, aucune des recherches à la connaissance du chercheur n'a cherché à spécifier les problèmes en fonction des acteurs afin de localiser entre quels acteurs et où se situe les freins afin de mieux les comprendre. De plus, toutes études ont été réalisées avec des personnes qui utilisent le BIM et qui peuvent donc avoir un biais dans la vision des freins à l'implantation pour ceux qui ne l'utilisent pas encore.

1.3 Analyses de réseaux sociaux

Pour analyser des interdépendances, plusieurs types d'analyses sont possibles, dont l'analyse de réseaux sociaux. Un réseau social est une structure composée d'acteurs, d'individus ou d'organisations, qui sont liés par certaines relations. Les différents acteurs sont considérés comme interdépendants. Les liens entre les personnes peuvent s'effectuer de plusieurs manières et toute activité peut transmettre des informations ou connaissances et peut être de différents types : « informels, fonctionnels, contractuels, bilatéraux ou professionnels » (Katsanis et Chinowsky, 2011). Lorsque le nombre d'acteurs devient important, et que les interdépendances et communications ne sont plus visibles au premier regard, un réseau social peut devenir alors complexe à visualiser.

Social Network Analysis (SNA), c'est-à-dire l'analyse des réseaux sociaux est un instrument qui est apparu pour résoudre bon nombre de problèmes dans des domaines aussi diversifiés que la sociologie, les sciences de l'information, les études organisationnelles et la biologie. Il a été utilisé comme instrument de recherche depuis son introduction par Moreno en 1934 (Moreno, 1960). Cet instrument utilise à la fois la représentation graphique de chemin d'échanges et de communications entre des acteurs, mais aussi une base mathématique solide permettant ainsi d'avoir des analyses poussées de systèmes complexes (Alba, 1982). Représentés par des nœuds dans les SNA, les acteurs peuvent être caractérisés par un nom, des organisations, des rôles, des niveaux d'une organisation. Les liens entre les acteurs sont

caractérisés par des mesures simples et objectives. Ces caractéristiques doivent être décrites précisément afin de pouvoir récolter les données correspondantes lors de l'étude (Robins et Pattison, 2006).

Dans le cas des projets de construction, les acteurs (nœuds) peuvent être par exemple les membres des équipes de projets. Les connexions entre ces acteurs et les paramètres analysés peuvent être les communications, les échanges d'informations, la confiance, la valeur de partage et l'expérience (Galotti Boetti et Chinowsky, 2008).

La SNA se sert de représentations graphiques où d'éventuels problèmes peuvent être identifiés de manière simple. Cependant, lorsque le réseau étudié est trop compliqué et important, ces représentations graphiques ne sont pas toujours analysables. Alors, il est important de réaliser une étude numérique du réseau social. Pour cela, plusieurs grandeurs peuvent être mesurées ou calculées pour analyser un réseau social (Chinowsky, Diekmann et O'Brien, 2009). Par exemple, on peut citer Katsanis et Chinowsky (2011) et Chinowsky *et al.* (2009) qui ont utilisé :

La densité : reflète le nombre de relations au sein du réseau. La densité est le rapport entre le nombre de relations possibles totales et le nombre de relations réelles;

La centralité : reflète la distribution des relations au sein du réseau. Plus la centralité est basse, plus les relations sont distribuées de manière égale entre les différents acteurs;

Le pouvoir : Il reflète l'influence de l'individu dans le réseau. Il révèle si l'individu a beaucoup d'influence sur les actions prises par les autres;

La distance géodésique : décrit la distance entre deux acteurs en fonction du nombre de nœuds par lesquels doit passer l'information pour être transféré entre ces deux acteurs.

De manière pratique, la SNA peut s'effectuer grâce à un sondage réalisé avec NetworkGenie (Hansen *et al.*, 2008). Ensuite, les données peuvent être extraites pour être ensuite analysées de manière mathématique et/ou graphique par le logiciel UCINET (Borgatti, Everett et Freeman, 2002). Ce logiciel a fait ses preuves dans le domaine de la construction étant utilisé notamment par Almahmoud et Doloi (2015), Chinowsky Diekmann et Galotti (2008),

Chinowsky, Robinson et Robinson (2013), Chinowsky *et al.* (2009), Chinowsky et Songer (2011), Galotti Boetti et Chinowsky (2008), Ximing, Ochieng, Price et Egbu (2013).

1.3.1 Applications

Intéressons-nous maintenant aux applications faites de la SNA dans la littérature scientifique et spécifiquement dans le domaine de la construction. Robins (2006) affirme que l'intérêt de la recherche sur les réseaux notamment organisationnels ont connu une importante augmentation ces dernières années. Les études concernant la construction sont présentées dans les paragraphes suivants.

Plusieurs recherches ont étudié la communication au sein des équipes. Katsanis et Chinowsky (2011) ont utilisé la SNA avec un projet de construction simulé dans une classe d'université afin d'étudier le partage d'informations. Un sondage en ligne a été complété par les étudiants et analysé grâce au logiciel UCINET. Cette étude a montré l'efficacité de ces deux méthodologies (SNA et simulation d'un projet). Elles permettent de comprendre les différents problèmes observables au sein d'un réseau social. Concernant un sujet proche, Soetanto (2012) a étudié les modes de communication et les facteurs influençant les performances d'une équipe virtuelle (équipe divisée en plusieurs groupes travaillant en collaboration uniquement par le biais de moyens électroniques). Un projet de construction a été simulé entre des élèves du Canada et du Royaume-Uni. Les données ont été recueillies à différents moments du projet par des entrevues, questionnaires, retours des professeurs et réflexions personnelles. Dans cette recherche, la collaboration intègre le concept important de confiance. La confiance a été interprétée comme la perception de la fiabilité de l'autre. Par la méthode de la SNA, les résultats ont été analysés. Ils ont montré que la qualité perçue des membres de l'équipe, l'honnêteté entre les membres du projet et le besoin de contrôler l'avancement influencent grandement la collaboration des équipes.

Plusieurs études ont travaillé sur la collaboration des équipes. Chinowsky *et al.* (2008) ont découvert par la SNA que les architectes étaient isolés des équipes de construction et

d'ingénieries pendant les prises de décisions. Dans le cadre de concours d'architecture, des liens entre les faibles performances architecturales et la place des architectes dans le réseau peuvent être alors faits. Même si cette étude de cas ne se base que sur un seul réseau social, les auteurs concluent que les causes de faibles performances d'un projet dans les classements de concours peuvent être identifiées par l'étude de leur réseau par la SNA. Ainsi ces analyses de réseaux permettent d'indiquer les relations à changer pour l'amélioration des équipes de projet. De même, Heedae *et al.* (2011) ont examiné la collaboration dans la construction internationale. Cette recherche avait pour but de fournir un guide pratique afin d'établir des stratégies pour des entreprises internationales (de petites à grosses) lorsqu'elles veulent former des alliances coopératives internationales. Ils ont montré que de façon générale, les petites entreprises gagnent à avoir un nombre limité de relations à long terme et les grandes entreprises gagnent à étendre leur réseau. Ainsi, le succès d'une entreprise est trouvé comme fortement lié à son réseau.

Swan, McDermott et Khalfan (2007) ont travaillé sur la confiance et son influence sur la performance des projets de construction. En supposant que les quantités de communication sont réalisées en fonction du niveau de confiance, les auteurs ont quantifié les relations de confiance existantes au sein de 4 projets durant 12 mois. Les individus « importants » ayant un grand degré de centralité ou de « betweenness » ont été soumis à un sondage d'inventaire de confiance (Swan *et al.*, 2005). Ce sondage est aussi mené sur d'autres individus pour obtenir une comparaison avec les individus moins « importants » dans le réseau et ainsi apporter de la validité aux résultats. Les résultats montrent que la confiance s'établit et se maintient plus facilement lorsque le nombre de responsables est moins important et que les communications se réalisent en face à face. De plus, le fait qu'il existe une plus grande confiance au sein d'une organisation qu'en dehors révèle la nécessité d'établir des relations sur le long terme afin d'établir plus de confiance. Cette recherche n'a pas examiné toutes les relations ni tous les aspects de confiance que les auteurs auraient voulu. Comme la SNA est très chronophage, les études sont limitées par le temps et les ressources disponibles. Cependant, les résultats obtenus restent très révélateurs.

Finalement, Ximing, Ochieng, Price et Egbu (2012) ont utilisé la SNA sur quatre études de cas afin d'étudier l'intégration des connaissances. Les données ont été recueillies par des entrevues avec les participants de différents projets. Les différents chemins d'intégration des connaissances de deux projets compétitifs et deux projets collaboratifs ont été comparés. Cette analyse a montré que le réseau social des projets collaboratifs possède plus de partis collaborant à la connaissance que le réseau des projets « compétitifs ». Ainsi, la SNA a pu faire ressortir que la collaboration amène à des relations informelles (en dehors d'engagements contractuels) et convoie un partage de connaissance bien supérieur au travail traditionnel en construction.

1.3.2 Avantages et inconvénients de la SNA

Ainsi, la littérature montre que la SNA est un instrument puissant de recherche permettant d'analyser des réseaux sociaux. L'avantage de la SNA est son analyse dans une dimension sociale. Tous les individus et organisations y sont observés au sein de leur réseau social. Les études organisationnelles traditionnelles se concentrent sur les caractéristiques individuelles des organisations dans une dimension économique (Ximing *et al.*, 2012). Lorsque le réseau est assez modeste, la SNA a l'avantage d'avoir une interprétation et une identification des chemins de communications à partir des graphiques. Ces chemins aident à reconnaître les forces et faiblesses d'un réseau (Hanneman et Riddle, 2005). Cependant, du fait du caractère chronophage de la SNA, les conclusions se fabriquent sur un nombre limité d'études de cas et dans des conditions plus ou moins contrôlées pouvant mettre en doute la validité des résultats.

De plus, la SNA a besoin de données sur les communications faites entre les différents acteurs. Pour se faire, trois méthodes principales sont utilisées :

- un questionnaire envoyé aux acteurs du réseau (Chinowsky, Diekmann et O'Brien, 2009 ; Katsanis et Chinowsky, 2011) ;
- des entretiens de différents acteurs principaux (Ximing *et al.*, 2012);
- des données historiques collectées (Heedae *et al.*, 2011).

Néanmoins, en ce qui concerne les entrevues et questionnaires, la fiabilité des réponses, les acteurs peuvent occulter ou modifier les résultats. De plus, les questionnaires peuvent être mal formulés ou incomplets vis-à-vis des caractéristiques étudiées par la suite. Les entrevues doivent être bien conduites pour ne pas fausser les résultats et obtenir les données utiles à l'analyse future. Ces entrevues et questionnaires sont réalisés en fonction des caractéristiques visées, définies en premier lieu. Il est donc important de définir au début de l'étude quelles caractéristiques étudier pour avoir une analyse servant le but de l'étude. De plus, la particularité des réseaux instables de l'industrie de la construction complique l'application de la SNA en rendant les réseaux sociaux dynamiques (Chinowsky, Diekmann et Galotti, 2008).

1.4 L'entretien

Une des méthodes de récolte des données de la SNA est l'entretien (Ximing *et al.*, 2012). L'entretien permet par l'échange à l'intervieweur d'accompagner l'interviewé dans le repérage de ses sentiments et perceptions (Boutin, 2006).

Plusieurs modes d'investigation sont possibles selon le but poursuivi. L'entretien centré est un des nombreux types d'entretiens. L'entretien centré est « conduit à partir d'un schéma plus ou moins détaillé, mais qui tourne toujours autour d'un thème prédéterminé qu'on veut explorer. [...] L'intervieweur joue ici un rôle très actif en faisant converger l'attention des interviewés sur les aspects en question » (Boutin, 2006, p. 30). Fenneteau (2002) parle lui d'entretiens centrés où le chercheur dirige l'entretien en posant des questions. Les personnes interrogées répondent sans aucune modalité de réponse prédéterminée et librement. Le répondant est invité à développer un petit discours sur le sujet. L'intervieweur intervient afin de relancer, demander des précisions ou réorienter le répondant. Ces entretiens permettent de cibler les données collectées par une analyse organisée et détaillée (Fenneteau, 2002). Dans ces entretiens, le chercheur peut s'assurer que le répondant délivre bien toutes les informations qu'il cherche à recueillir.

Tableau 1.2 Comparaison entre questions ouvertes et fermées
Tiré de Boutin (2006, p. 122)

Questions ouvertes	Questions fermées
Permettent à la personne interrogée de répondre elle-même dans ses propres mots	Permettent aux personnes interrogées de répondre à la même question afin de pouvoir comparer les réponses obtenues
Ne suggèrent pas de réponses, mais donnent des indications sur le niveau d'information de la personne interrogée, ce qui est central dans son esprit et la force de ses sentiments.	Produisent des réponses moins variables que dans les questions ouvertes
Évitent l'effet des cadres préétablis	Demandent des répondants une reconnaissance plutôt qu'un rappel. Ils préfèrent donc les questions fermées.
Permettent d'identifier les influences et les cadres de référence des motivations du sujet.	Produisent des réponses qui sont plus faciles à informatiser et à analyser.
Constituent une étape nécessaire avant l'élaboration de questions fermées	
Aident à l'interprétation des réponses déviantes à des questions fermées.	

Cependant, certains auteurs comme Wener et Schoepfle (1978, p78) affirment que l'entretien comporte des biais dus à une observation participante. Il est donc important de bien préparer les entretiens afin d'éviter les biais. Plusieurs études donnent des conseils sur le déroulement des entretiens. Par exemple, afin de bien terminer les rencontres, Pourtois et Desmet (2007) affirment qu'il est toujours utile de demander des renseignements sur l'appréciation du déroulement de l'entretien par l'intervieweur. Powney et Watts (1987) insistent eux sur l'importance de remercier chaleureusement le répondant et de le rassurer si le cas se présente. Le chercheur rassure le répondant en amont et aval de l'entretien sur l'anonymat des données. Les questions ne sont jamais transmises aux répondants. Boutin (2006) décrit la manière de réaliser un guide d'entretien. Afin de préparer ce guide contenant des questions, la liste des informations voulue est établie. À l'intérieur du guide d'entretien, des questions ouvertes et fermées sont choisies en fonction du but (Tableau 1.2).

En plus de la particularité de l'industrie de la construction québécoise et de son retard sur l'implantation des TIC, cette industrie possède une autre spécificité qui peut nuire à sa productivité : la juridiction des métiers. Nous examinons la littérature sur cette juridiction dans les parties suivantes.

1.5 La juridiction des métiers

Au Québec, l'industrie de la construction n'est pas réglementée par le Code du travail. Depuis 1968, la construction est régie par la loi sur les relations du travail, la formation professionnelle et de la gestion de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction (RLRQ, c R-20) (Québec (Province), 2015a). Cette loi comprend notamment le règlement sur la formation professionnelle de la main-d'œuvre de l'industrie de la construction (RLRQ, c R-20, r.8) (Québec (Province), 2015b).

Ce règlement impose aux ouvriers travaillant sur les chantiers de construction de posséder une carte professionnelle adaptée à leur métier, réglementant les différentes tâches qu'ils exécutent. Ces tâches sont exclusives aux travailleurs de ces métiers. La carte professionnelle est un certificat de compétence délivrée par la Commission de la construction du Québec (CCQ) après que les ouvriers aient suivi une formation professionnelle concernant l'un des 25 métiers ou 3 spécialités réglementés. Les travailleurs peuvent être formés (l'un après l'autre) à deux métiers. Cependant, selon la CCQ (2013), seuls 2.6 % des heures effectuées dans un métier le sont par un compagnon ayant aussi un autre métier. Cette division des métiers a été créée pour spécialiser les ouvriers afin d'augmenter leur productivité. Si cette réglementation est aussi en vigueur dans d'autres provinces, le Québec est la province possédant le plus grand nombre de métiers réglementé devant l'Alberta qui en réglemente seulement onze. Le Québec possède d'ailleurs vingt-cinq métiers et spécialités qui lui sont uniques.

En plus de cette obligation pour les compagnons, les S-T doivent obtenir une licence d'entrepreneur spécialisé. Cette licence est réglementée par Le Règlement sur la qualification

professionnelle des entrepreneurs et des constructeurs-propriétaires (Règlement r.9) (Québec (Province), 2015c), adopté en vertu de la Loi sur le bâtiment.

Ces règlements peu révisés depuis 1970 forment une organisation qui selon les entrepreneurs généraux, manque de souplesse afin de répondre aux besoins actuels de compétitivité et de productivité (Delagrave et Pilon, 2009). Le découpage des métiers et de la réglementation se répercutent dans les entreprises. Les entrepreneurs spécialisés offrent principalement leurs services basés sur un seul métier. D'après la CCQ, 67 % des employeurs embauchaient des compagnons ayant un seul métier en 2012 (Commission de la Construction du Québec, 2013).

Enfin, le Bureau des soumissions déposées du Québec (BSDQ) transmet aux entrepreneurs généraux les offres des entrepreneurs spécialisés de certaines activités « assujetties ». Le BSDQ a pour objectif de maintenir une concurrence entre tous les entrepreneurs spécialisés et d'assurer au donneur d'ouvrage le meilleur prix (BSDQ, 2016). La soumission au BSDQ n'est pas obligatoire pour tous les projets, le chapitre B du code de soumissions (BSDQ, 2013) en précise les détails. Tous les travailleurs de la construction au Québec sont tenus d'être syndiqués dans un des cinq syndicats reconnus par la Loi R-20 (Article 28, Loi R-20). Ces syndicats ont pour rôle notamment de réaliser les négociations lorsque deux corps de métiers revendiquent la même activité.

La répartition de l'offre des entrepreneurs spécialisés s'est structurée autour des métiers réglementés et cela a induit un nombre important de S-T et de travailleurs. En se basant sur ce constat qui impacte la gestion des contrats pour les entrepreneurs généraux, Gautier *et al.* (2015, p. 20) ont réalisé une enquête afin d'identifier les impacts de la juridiction des métiers sur différents aspects relatifs à la planification et la gestion des travaux et au marché l'industrie de la construction québécoise.

1.5.1 Impacts de la juridiction des métiers

Gautier *et al.* (2015), d'après les entrevues réalisées avec des entrepreneurs généraux, ont déterminé la situation actuelle au sein de l'industrie de la construction québécoise et l'impact de sa réglementation sur la productivité et les interdépendances qui s'en suivent. Gautier *et al.* (2015) ont identifié les impacts suivants :

- l'ordonnancement des travaux est reporté comme complexe par les entrepreneurs généraux. Celui-ci est rendu complexe par des interventions entremêlées de sous-traitants (S-T). L'échéancier est alors très fragmenté rendant sa manipulation difficile. La surspécialisation imposée par la juridiction des métiers raccourcit les tâches jusqu'à avoir des tâches d'une demi-journée. Il est alors difficile de mobiliser le S-T suivant pour le reste de la demi-journée. Ses travaux sont alors reportés au lendemain, freinant l'avancement des travaux. Les S-T ont aussi des échéanciers morcelés comprenant de doubles ou triples interventions, rendant les mobilisations difficiles;
- la multiplicité des S-T complexifie la gestion des communications. Les entrepreneurs généraux ont alors un énorme flux de communication à gérer, flux majoritairement géré par les gérants de projets;
- la gestion des déficiences est complexe. Il est difficile d'imputer correctement les déficiences aux S-T et de faire reconnaître les responsabilités. De plus, les mobilisations étant compliquées, les entrepreneurs généraux avouent corriger eux-mêmes certaines déficiences (à leurs frais), car cela reste moins cher que d'attendre;
- la gestion de la santé et sécurité doit être constamment vérifiée par les entrepreneurs généraux qui emploie parfois une firme externe pour réaliser des visites d'inspection. De plus, les entrepreneurs généraux avouent réaliser les courtes formations à la sécurité des ouvriers arrivant sur le chantier (accueils sécurité) en retard ou pas du tout par manque de temps;
- les entrepreneurs généraux déplorent les manques de responsabilisation des travailleurs. Ceux-ci effectuent des tâches restreintes et isolées dans la globalité des travaux. Ce travail individuel se traduit par un manque de respect des travaux effectués et par un travail parfois de moindre qualité;

- enfin, les répondants à l'enquête ont mentionné les problèmes des pénalités de retard. Peu d'entrepreneurs généraux pensent pouvoir transférer les grosses pénalités de retard auxquelles ils sont soumis aux S-T fautifs. En effet, démontrer la cause des délais est complexe à cause de la fragmentation de l'échéancier.

Enfin, Gautier *et al.* (2015) ont observé que la réglementation est surtout difficile à appliquer pour les petits et moyens projets (inférieur à 25 millions de dollars). Les S-T y sont tout aussi nombreux que sur les gros projets, rendant la gestion de l'échéancier complexe.

Si cette enquête permet d'avoir une première vision de l'impact de la juridiction des métiers, elle n'est basée que sur l'avis de gérants de projet et ne vérifie pas leur véracité. L'enquête ne donne pas non plus de quantification aux impacts trouvés.

1.6 Les dynamiques de projet

Les projets de construction sont régis par les contrats, mais sont influencés par d'autres facteurs complexes. Tout d'abord comme tout projet, les projets de construction sont dynamiques. Les dynamiques qui les influencent proviennent de deux sources : les activités planifiées (programme établi, approvisionnement planifié, etc.) et les incertitudes (facteurs échappant au contrôle des gestionnaires de projet). Les incertitudes et activités planifiées peuvent avoir des effets négatifs ou positifs sur la performance d'un projet et coexistent dans le cycle des projets (Love, 2002).

La Figure 1.1 représente les dynamiques de projets typiques (Lyneis et Ford, 2007). En pointillés est représentée la courbe d'effectif correspondant à un projet idéal. Mais en réalité, la rampe de travailleur est plus élevée et retardée. En prenant en compte les erreurs nécessitant des reprises, un deuxième pic de travailleur apparaît et retarde le projet (courbe en gras sur la Figure 1.1). Une théorie sur une structure de base créant ce phénomène a émergé. Cette structure est composée de quatre éléments principaux (Ford, Lyneis et Taylor, 2007) :

- « rework cycle » dans lequel les erreurs non découvertes dans les travaux en cours sont découvertes plus tard et reprises. Ces reprises peuvent être elles-mêmes défectueuses ;
- contrôles par lesquels la direction de projet essaie de garder le projet dans « les rails » ;
- « ripple-effects », des effets contournant les efforts de contrôle du projet ;
- « knock-on effect », effets secondaires causés par des processus en amont qui produisent des effets préjudiciables ou excessifs sur d'autres en aval (erreurs non découvertes entraînant d'autres erreurs) ou par des facteurs humains qui amplifient les effets négatifs.

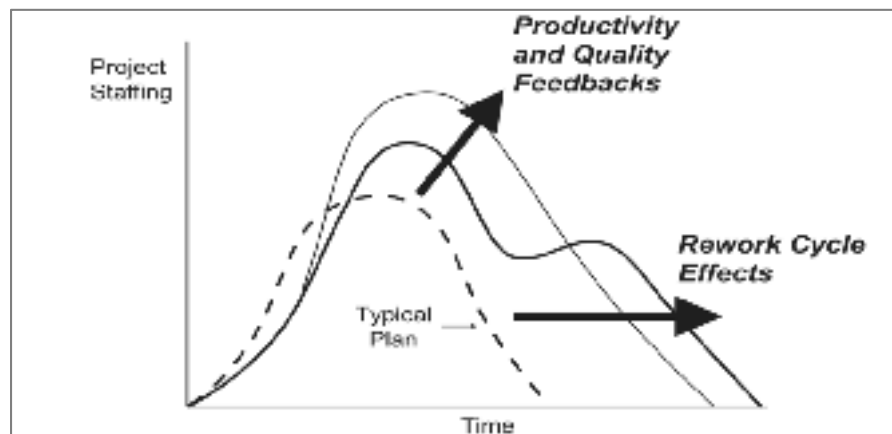


Figure 1.1 Dynamiques de projets typiques
Tirée de Lyneis et Ford (2007, p. 3)

De nombreuses techniques ont été développées pour aider et gérer la planification et les coûts de projet, comme les graphiques de GANTT, les réseaux « program evaluation and review technique » (PERT), l'analyse du chemin critique, etc. Ces techniques sont basées sur le fait qu'un projet est souvent unique, mais qu'un grand nombre de ses éléments ont été réalisés auparavant. La planification du projet est donc décomposée en activités reliées à des expériences précédentes permettant d'anticiper leurs coûts, durée et ressources nécessaires. Il est alors possible de produire une estimation de ces grandeurs pour l'ensemble du projet. Bien que les estimations de chaque élément peuvent être précises, l'ensemble de l'estimation du projet ignore certaines forces intra projet. Ces forces intra projet sont les dynamiques propres à chaque projet. Celles-ci peuvent être beaucoup plus importantes que la somme des forces présentes dans chaque élément (Williams *et al.*, 1995).

Les outils traditionnels ne prennent pas en compte d'adaptation au déroulement réel du projet, mais supposent plutôt des dynamiques linéaires basées sur des hypothèses initiales (Davidson et Huot, 1989). Cependant, pour être réalistes ces outils basés sur une progression linéaire nécessitent que toute l'information soit disponible au début du projet, ce qui n'est jamais le cas. Ainsi, les outils de gestion ne peuvent souvent pas incorporer d'importantes dynamiques de projets non linéaires ; même avec des outils dynamiques répondant à de nouvelles informations puis adaptant le plan (Davidson et Huot, 1989).

Ainsi, les outils et les méthodes dont les gestionnaires se servent ne semblent pas adaptés à la complexité des projets de construction. Selon Lyneis, Cooper et Sharon (2001), la principale raison des problèmes de planification et de budgétisation de la construction est que la plupart des concepts de gestion de projet et des outils voient un projet de façon statique ou ne prennent qu'une vue partielle des projets. Les projets sont pourtant des systèmes dynamiques fondamentalement complexes dont les gestionnaires ne peuvent pas tout saisir. Il est donc important de se munir et d'utiliser d'autres outils permettant de prendre en compte la complexité des dynamiques des projets de construction (Lyneis, Cooper et Els, 2001) comme la dynamique des systèmes.

1.7 La théorie de la dynamique des systèmes

La théorie de la dynamique des systèmes a été introduite par J.Forrester (1961) en 1950 comme une méthode pour modéliser et analyser le comportement de systèmes socioéconomiques et d'organisations complexes. On parle aussi de pensée des systèmes (Benford et Shields, 2008). Ces deux termes sont utilisés autant pour parler d'un concept, d'une idée, d'une approche que d'une étude, ou d'un instrument permettant une meilleure compréhension du monde. Le concept central de la dynamique des systèmes est de comprendre comment les éléments dans un système interagissent les uns avec les autres, et comment un changement dans une variable affecte l'autre variable dans le temps (Senge, Gauthier et Plagnol, 1991). L'intérêt de cette approche est sa capacité à décrire et modéliser des systèmes du monde réel et à examiner leurs dynamiques. Elle peut faire face à la

complexité, la non-linéarité, et les structures de boucles de rétroaction qui sont inhérentes aux systèmes physiques et non physiques (Forrester, 1994). La dynamique des systèmes décrit le comportement de composants liés ensemble, formant un système, par des équations différentielles. Ces interactions entre les composants sont décrites par des boucles de rétroaction (« Feed-back loop »). Ainsi, la modélisation et la simulation par la méthode de la dynamique des systèmes permettent de tester des scénarios où différentes politiques sont menées, permettant d'augmenter la confiance en certaines décisions et politiques (Richardson et Otto, 2008). Ces tests de politique sont d'autant plus appréciés qu'ils permettent de tester des situations impossibles à mettre en place sur le terrain.

De Rosnay (1997) explique aussi comment avoir une pensée systémique où l'importance du rôle de la rétroaction (feed-back) est au premier plan. Cette pensée s'appuie sur une approche globale des problèmes et des systèmes que l'on étudie et se concentre sur le jeu des interactions. Pour réaliser un modèle de dynamique des systèmes, il faut tout d'abord réaliser un modèle conceptuel décrivant de manière qualitative le système réel délimité. Les liens causaux doivent être identifiés pour former des boucles de rétroaction. Dans ces boucles, une action devient un effet indirect d'elle-même (Roberts *et al.*, 1983). Ces boucles peuvent être de deux natures : renforçant, ou équilibrante. La première va se renforcer d'elle-même, une cause va entraîner sa propre augmentation en passant par cette boucle causale. Au contraire, les boucles dites « équilibrantes » vont se stabiliser d'elles-mêmes et atteindre un but. Dans sa démarche d'explication de la dynamique des systèmes, Sterman (2000) donne des exemples de boucles simples. Un des exemples les plus ludiques est celui de la population. Le taux de naissances est proportionnel à la population. Plus elle augmente, plus le taux de naissances augmente. De la même manière, l'augmentation du taux de naissances fait augmenter la population. Ainsi on observe une boucle causale positive (renforçant : (R), augmentation de la population exponentielle) dont le diagramme est représenté Figure 1.2 a. De même, le taux de décès va augmenter avec la population, mais à l'inverse la population va baisser avec son augmentation. Cet ensemble crée une boucle causale négative (équilibrante : (B) stabilisation de la population à un certain seuil) représentée Figure 1.2 b. Cette boucle

tend à se stabiliser. En réunissant ces deux boucles, on obtient un système représenté Figure 1.3, composé de plusieurs boucles causales.

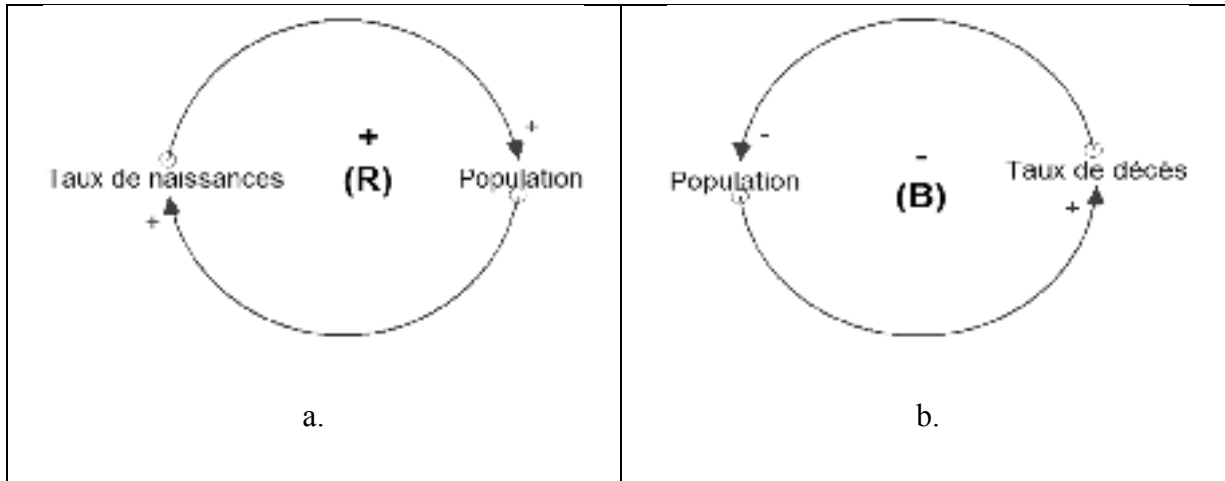


Figure 1.2 Diagramme d'une boucle causale positive (a) et négative (b)

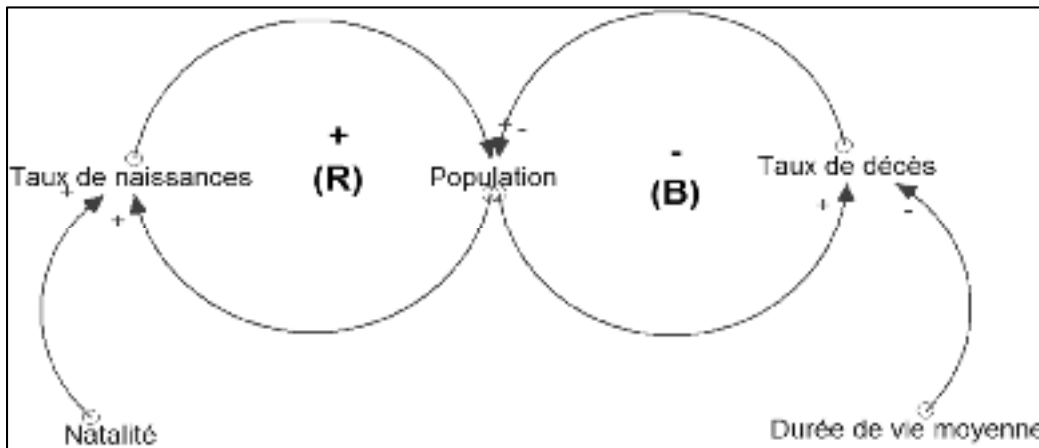


Figure 1.3 Diagramme causale du système d'une population

Le regroupement de ces boucles causales et de facteurs influençant les grandeurs d'un système forme le modèle conceptuel. La plupart des systèmes ne se réduisent pas à deux boucles de rétroaction. Le grand nombre d'interactions, de causes et d'effets ne permet alors pas à la pensée humaine de simuler mentalement l'évolution du système. Il est donc nécessaire de trouver un autre moyen d'analyser ces systèmes conceptualisés. La simulation informatique permet de simuler ces modèles complexes et de donner des résultats

exploitables par la pensée humaine. Dans la littérature, plusieurs logiciels reviennent : les premiers modèles ont été réalisés sur Dynamo (Richardson et Pugh III, 1981). Dans la littérature récente, 3 logiciels sont couramment utilisés : VENSIM (Benford et Shields, 2008 ; Sonawane, 2004 ; Wan et Liu, 2014), POWESIM (Love *et al.*, 2000), Ithink/Stella (Katsanis, 2003 ; Ogunlana, Li et Sukhera, 2003 ; Williams *et al.*, 1995).

1.7.1 Applications de la dynamique des systèmes

Rodrigues et Bowers (1996) proposent différents facteurs motivant l'utilisation de la dynamique des systèmes dans la gestion de projet :

- considérer le projet comme un système intégré plutôt qu'une somme d'éléments individuels (approche holistique);
- examiner les principaux aspects non linéaires;
- créer un modèle de projet qui permet d'expérimenter des options de gestion;
- l'échec des outils analytiques traditionnels.

Il est donc compréhensible que, depuis son introduction en 1950 par Forrester, la dynamique des systèmes (DS) ait été largement employée dans la littérature et dans beaucoup de domaines. La DS est bien représentée dans la recherche sur la gestion de projet. Les conditions et performances des projets évoluent à travers le temps. Il en est de même pour les résultats de boucles rétroactives. La gestion de projet est donc un sujet de prédilection pour la DS (Lyneis et Ford, 2007). Lyneis et Ford (2007), grâce à leur revue de littérature, affirment que l'utilisation de la DS pour comprendre et améliorer la gestion de projet a été un grand succès. Dans le domaine de la construction, la DS a servi d'outils pour : analyser l'effet de la modélisation numérique sur les résultats d'un projet (Parvan et Haghani, 2012); l'effet des risques sur le coup d'un projet (Boateng *et al.*, 2013 ; Nasirzadeh, Khanzadi et Rezaie, 2014 ; Wan et Liu, 2014); et évaluer la gestion des déchets des projets dans l'industrie de la construction (Yuan et Wang, 2014 ; Yuan, 2011). La a notamment été utilisée pour étudier l'effet de certains facteurs sur l'efficacité de l'industrie de la construction.

1.7.1.1 Étude de l'efficacité de la construction

Tout d'abord, la dynamique des systèmes (DS) a été utilisée pour comprendre les effets des erreurs et reprises (« rework »). Love (2000) a utilisé la dynamique des systèmes afin de modéliser les facteurs causant des erreurs de conception à l'origine de reprises. La détermination de ces causes vient d'études de cas menées par l'auteur. Le modèle créé a été validé par des professionnels du secteur. Après validation du modèle, Love (2000) simule plusieurs scénarios afin d'analyser leurs effets sur les performances (coûts et durée) du projet. L'analyse de réponses à plusieurs scénarios alternatifs démontre la capacité de la DS d'aider à analyser les politiques réduisant le nombre d'erreurs de conception. Ainsi, alors que les outils traditionnels négligent les erreurs et reprises, la DS permet de rendre compte de leurs effets. Les erreurs et reprises sont présentes dans tous les modèles récents de DS simulant des projets (Lyneis et Ford, 2007 ; Sommerville, 2007 ; Lopez *et al.*, 2010).

La productivité des ouvriers d'un chantier de construction a elle aussi été étudiée grâce à la DS. Nasirzadeh et Nojedehe (2013) ont créé un modèle regroupant l'ensemble de 27 facteurs importants dans l'influence de la productivité des ouvriers sur le chantier. Ce modèle, basé sur les données d'un seul projet réel, a pu faire ressortir les facteurs importants influençant la productivité des ouvriers. Des facteurs comme le manque d'espace de travail et les conditions météo sont trouvés comme importants. Ce modèle permet d'avoir une très bonne base afin de modéliser la productivité des ouvriers. Cependant, ce modèle ne prend pas en compte d'autres paramètres comme la qualité du travail effectué. De plus, ce modèle ne prend pas en compte les dynamiques d'un projet dans son ensemble.

Des recherches basées sur la DS ont aussi été réalisées à plus grande échelle que celui du projet. Ogunlana *et al.* (2003) ont modélisé les dynamiques d'une entreprise en prenant en compte l'impact que peut avoir l'économie locale sur le nombre et la taille des projets offerts. Grâce à leurs simulations, les auteurs ont pu démontrer l'utilité de certaines politiques, comme « joint-ventures », dans le développement économique d'une entreprise de construction s'agrandissant au Pakistan.

Plusieurs modèles ont été réalisés concernant la gestion des équipes. Bien que construit en dehors du domaine de la construction (en conception de logiciel), un modèle intéressant a été développé par Abdel-Hamid (1989). Ce modèle assez complet pour la phase de conception d'un projet prend en compte le temps d'assimilation des travailleurs (temps pour qu'un travailleur atteigne sa productivité maximale après s'être bien intégré dans le projet). Ce modèle, validé par des entrevues et des valeurs empiriques de la littérature, montre qu'il est possible de chiffrer le coût de dynamiques. Ici, son modèle est capable de chiffrer le coût d'embauche de nouvelles personnes en fin de projets. Chapman (1998) a étudié le risque d'un changement du personnel clé de conception (managers et leaders) et son impact sur la production et la durée de la phase de conception. Ce modèle prend notamment en compte comme Abdel-Hamid (1989), l'assimilation des nouveaux travailleurs et l'assimilation de changement dans la direction. Il permet de conclure sur l'importance de cette assimilation. Ocak (2012) a utilisé la DS pour créer un modèle testant différentes hypothèses sur le personnel durant la phase de conception. Ses résultats ont montré qu'un délai plus large pour la conception et du personnel avec plus d'expérience au départ permet à la phase de conception d'un projet d'avoir une durée plus courte. Finalement, Katsanis (2003) ainsi que Ford *et al.*(2007) se sont intéressés à l'impact de politiques de gestion (décisions et actions des gestionnaires) sur les performances des travailleurs et donc des projets en construction. Ford *et al.* (2007) et Katsanis (2003) ont étudié deux possibilités de gestion des ressources humaines: réaliser des heures supplémentaires et embaucher des travailleurs supplémentaires. De plus, Ford *et al.* (2007) ont étudié la possibilité d'exercer une pression pour un travail plus rapide alors que Katsanis (2003) a étudié la possibilité d'ajuster l'échéancier. Les deux modèles créés sont modélisés à partir de modèle de la littérature. Après validation par similarité avec la réalité et des modèles de la littérature, plusieurs techniques de validation proposées par Sterman (2000) ont été appliquées. Plusieurs simulations en faisant varier les paramètres (heures supplémentaires, embauche, pression/échéancier) ont été menées sur des données de projet fictif où un ordre de changement est simulé. Les différentes politiques sont alors comparées et complétées par une analyse de sensibilité de celles-ci. Ces études fournissent deux modèles permettant d'examiner l'impact de quatre contrôles de projet. Ainsi,

la DS peut aider dans l'efficacité de l'industrie de la construction en analysant les bonnes politiques à adopter, en modélisant des projets ou des entreprises.

1.7.1.2 Outil d'aide à la décision

Grâce aux analyses qui peuvent être réalisées à partir de ce type de modèle, des modèles de la dynamique des systèmes (DS) dans le domaine de la construction sont parfois créés pour fournir des outils d'aide à la décision. La DS a servi à construire un modèle de gestion des risques pour les gros projets de construction au Royaume-Uni (Boateng *et al.*, 2013). Ce modèle permet d'avoir un outil standardisé et systématique pour la gestion des risques environnementaux et sociaux. Au contraire des outils standards, l'outil développé permet d'aider les gestionnaires dans leurs décisions de prises en compte des risques en fournissant des données quantitatives sur les impacts de ces risques. De même, Pena-Mora et Park (2001) ont développé par la DS, un outil de planification pour les projets « fast-track » afin de remplacer la planification conventionnelle. Ce modèle simule 12 phases de la conception et de la construction d'un projet de construction d'un bâtiment. Il permet ensuite aux auteurs de tester les effets de plusieurs politiques sur les résultats du « fast-track ». Bien que cette recherche manque de validation, elle est un bel exemple d'application de la DS. Elle évalue une particularité de l'industrie et obtient ensuite des pistes afin d'améliorer les performances de l'industrie de la construction. Les modèles créés dans la littérature donnent donc des exemples d'application de la DS comme outil d'aide à la décision très efficace.

1.7.1.3 Récapitulatif

Bon nombre de modèles de dynamique des systèmes ont été proposés dans la littérature. Certains de ces modèles ont pris en compte une grande quantité de facteurs et d'éléments (Nasirzadeh et Nojedehi, 2013). D'autres comme celui de Katsanis (2003), ou Ford *et al.* (2007) se sont concentrés sur quelques éléments à analyser (trois). Les recherches qui étudient de nouveaux domaines peu ou pas explorés sont réalisées à l'aide de modèles plus simples. Chapman (1998) s'est par exemple intéressé uniquement à la phase de conception. Love (2000) a seulement modélisé la génération d'erreurs et des reprises. Ces modèles

peuvent être considérés comme simples ou partiels, mais donnent des résultats probants et apportent de nouvelles connaissances servant à l'industrie et aux recherches futures.

1.7.2 Obtention des données pour la dynamique des systèmes

La dynamique des systèmes est basée sur la modélisation de l'impact de certains facteurs sur d'autres. Cependant, obtenir des données peut s'avérer très complexe. Dans la littérature, l'obtention de données permettant la modélisation de ces impacts se distingue en 3 méthodes:

- la première méthode consiste à modéliser à partir de données chiffrées les plus précises possible. Ces données peuvent être recueillies par : l'observation d'une étude de cas (Ogunlana, Li et Sukhera, 2003 ; Boateng *et al.*, 2013); de nombreuses entrevues (Abdel-Hamid, 1989); des données historiques (Nasirzadeh et Nojedehi, 2013). Les données concernent des facteurs dont l'influence a déjà été démontrée;
- la deuxième méthode ne se base pas sur des valeurs précises, mais crée des relations empiriques à partir d'expériences de personnes (Sylvestre, 1988). Ces modèles ne se basant pas sur des estimations précises peuvent être validés lors d'entrevues d'experts comme l'ont fait Terouhid et Ries (2013). Cette étape d'entrevue permettant de recueillir l'avis d'expert est très utilisée dans la littérature (Parvan et Haghani, 2012 ; Seresht et Fayek, 2015);
- finalement, une méthode « mixte » calibrant une vision de la réalité validée et utilisant des données d'observations peut s'avérer pertinente, comme Ogunlana *et al.* (2003) l'ont faite pour leur recherche. De même Love *et al.* (1999) utilisent un mélange de raisonnement déductif (théorie) et inductif (faits) en utilisant une étude de cas.

De plus, la logique *fuzzy* peut être utilisée. Développée par Zadeh (1965), elle permet de modéliser des variables subjectives et imprécises ou uniquement exprimées de manière rhétorique. Cette logique et méthode permet de traduire précisément et mathématiquement des connaissances antérieures. Cette logique a déjà permis de résoudre plusieurs fois des problèmes dans la construction (Chan, Chan et Yeung, 2009). Particulièrement, dans les travaux de Seresht et Fayek (2015), un modèle *fuzzy* et un modèle de DS classique (valeurs

numériques) sont créés et comparés. Ces modèles modélisent la productivité des ouvriers en construction. Dans ces modèles, des règles rhétoriques pour l'un et des données historiques pour l'autre ont été appliquées pour définir les variables. Les relations entre ces variables sont données par le biais des connaissances antérieures (captées lors d'entrevues avec des professionnels/experts par exemple). La comparaison des deux modèles permet aux auteurs de conclure sur la plus grande efficacité (précision) des modèles *fuzzy* de dynamique des systèmes pour prédire la productivité des ouvriers. Ce modèle ne modélise cependant qu'un sous-système au sein d'un projet de construction.

1.8 Les reprises des travaux de construction

Une reprise est l'exécution d'une tâche déjà effectuée afin de corriger une erreur de non-conformité. Essentiellement, une reprise peut résulter d'erreurs, d'omissions, d'échecs, de dommages, et d'ordres de changement tout au long du processus d'approvisionnement (Love, Mandal et Li, 1999 ; Love et Li, 2000). Ces reprises peuvent avoir un impact important sur les délais et les coûts d'un chantier.

Plusieurs recherches se sont intéressées aux coûts des reprises. Après une étude sur sept études de cas, Josephson et Hammarlund (1999) a conclu que le coût des reprises dans le bâtiment était de 2 à 6% du coût du projet. De même, Love (2002) a cherché à déterminer l'influence des différents types de contrats et projets sur les coûts de reprise. Pour cela, un sondage sur 161 projets australiens a permis de récolter les coûts de constructions. Les participants sélectionnaient un projet récent et familier pour ensuite répondre aux questions sur les causes perçues de reprise, les coûts associés, et les pratiques implantées de gestion de projets. Même si cette recherche ne donne qu'une idée des coûts réels, les résultats n'ont montré aucune influence du type de contrats et de projet sur les coûts de reprises contrairement aux hypothèses de base. Les reprises comptent pour 52,1 % des surcoûts, donc 6,4 à 5,6 % du prix initial d'après les données recueillies. Oyewobi *et al.* (2011) a étudié les coûts de reprises de 25 constructions du gouvernement fédéral du Nigéria accomplies entre 1999 et 2008. Le chercheur a récupéré le nombre de reprises en rendant visite

personnellement aux dirigeants des projets et en utilisant des documents à sa disposition. Ils ont ainsi trouvé 3,47 % de coûts de reprises sur le coût total des projets de rénovation et celui-ci monte à 5,06 % pour les nouvelles constructions.

Ainsi, si la majorité des études évoquent un coût de reprises de 2 à 6%, certaines études évoquent un coût plus important. Barber, Graves, Hall, Sheath et Tomkins (2000) parlent de 16 à 23 % de coûts dus aux reprises lorsque les coûts associés aux délais dus aux reprises sont ajoutés, mais reviennent entre 3,6 et 6,6 % sans ces délais. La perte de temps et les délais sont donc un paramètre très important dans le chiffrage des coûts de projets. Il semble donc important de prendre en compte ces pertes de temps. Comme le montrent Arashpour et Wakefield (2013), celles-ci peuvent sensiblement changer l'échéancier d'un projet. Dans un projet de construction de maisons individuelles à la chaîne (pour des données recueillies plus systématiquement), Arashpour et Wakefield (2013) ont développé des modèles se concentrant sur la modélisation des interruptions, dont les reprises (Sawhney *et al.*, 2009). Ils modélisent plusieurs cas en fonction de la fréquence des reprises. Les simulations permettent de mettre en évidence l'importance des retards pris à cause de ces interruptions et donc du temps perdu à cause des reprises.

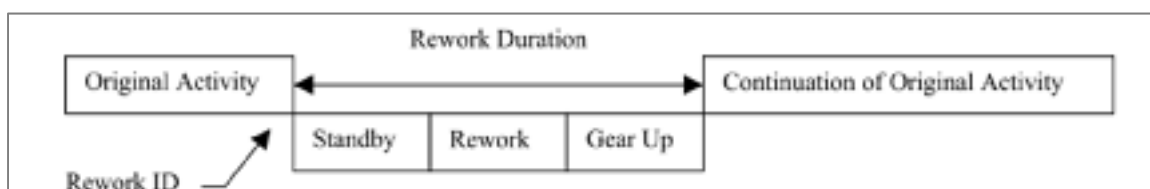


Figure 1.4 Éléments des reprises
Tirée de Fayek *et al.* (2003, p. 15)

Là encore, la difficulté des études se trouve dans la prise de données. Fayek, Robinson, Dissanayake et Compero (2003) ont proposé une méthode pour collecter les informations sur les coûts et causes des reprises. Cette méthode réclame une personne à plein temps afin de développer et maintenir un système de recueil des données. De plus, les informations sur les reprises sont collectées par l'observation d'évènements, des feuilles de temps et l'entrevue avec des professionnels. Les auteurs ont mis en place cette méthode sur une étude de cas.

Cette recherche donne une standardisation possible pour répertorier et classifier les reprises. La reprise est suivie depuis son identification, lors de l'attente de sa réparation, lors de sa réparation et jusqu'au point où l'activité est de nouveau dans les conditions ou état dans lesquels elle était (voir Figure 1.4). Cette étude montre que la part des erreurs dues à l'exécution est faible. De plus, Love et Sohal (2003) ont trouvé que les changements initiés par le client et l'utilisateur final, ainsi que les erreurs et les omissions dans la documentation des contrats sont les causes primaires de reprises.

1.9 Productivité des ouvriers

D'après Yi et Chan (2014) la productivité des ouvriers de la construction manque de données standardisées au niveau des projets. Beaucoup de recherches se sont intéressées à la productivité des ouvriers. Cependant, peu ont défini une méthodologie leur permettant de généraliser leur recherche et les relations permettant de prédire la productivité en fonction de différents facteurs. En effet, beaucoup de recherches ont déterminé les facteurs importants influençant la productivité par pays (Yi et Chan, 2014). Pour pouvoir faire le lien entre un facteur influant et la productivité de façon numérique, seule quelques recherches ont été trouvées. Ces recherches sont pour la plupart sur des facteurs tels que la météo et les conditions de température (Yi et Chan, 2014). Par exemple, l'objectif de Thomas et Yiakoumis (1988) était de décrire une modélisation de la productivité en construction basée sur certains facteurs. Ce modèle statistique quantifie les effets combinés de la température, l'humidité relative, et des améliorations découlant des opérations répétitives. L'intervalle de collecte de données a été fixé à un jour pour : ne pas avoir la trop grande variabilité de mesures plus rapprochées; avoir un détail de données important permettant de différencier l'influence des différents facteurs.

Pour évaluer la productivité, plusieurs méthodes sont trouvées. Vingt pour cent des entrepreneurs se basent sur une valeur définie par leur jugement pour évaluer l'avancement et donc subjective et non standardisée (Song et Abourizk, 2008). La RS Means Company (2015) publie des coûts et productivités annuels d'entrepreneur et d'organisations marchandes. Mais ces données ne sont que des moyennes et non pas des données reliées à un

contexte particulier. Pour cela, il faut des données historiques de projets passés dans le contexte voulu. La recherche de Song et Abourizk (2008) présente une stratégie de mesure de la productivité, de collecte de données historiques, et de développement de modèles de productivité. La mesure de la productivité est faite par l'envoi de formulaires à remplir par les personnes sur le chantier. Cette recherche, tout comme celle de Thomas et Yiakoumis (1988), montre que la récupération de données doit être précise et donc est longue à mettre en place puis à effectuer et analyser. Ces études montrent qu'il faut être à plein temps pour collecter la productivité de façon standardisée.

Enfin, pour modéliser la productivité, plusieurs méthodes ont été proposées. Par exemple, Nasirzadeh et Nojedehi (2013) ont utilisé la dynamique des systèmes pour modéliser la productivité des ouvriers. Dans leur modèle, des relations entre facteurs comme le manque de place et l'efficacité de gestion, et la productivité peuvent être trouvés. En outre, Fayek et Oduba (2005) montrent comment la logique *fuzzy* peut être utilisée pour modéliser la productivité des ouvriers en construction industrielle. Des données ont été collectées pendant 6 semaines dans un projet industriel majeur en Alberta. Les relations *fuzzy* ont été modélisées grâce à des moyennes des réponses obtenues à un questionnaire. La validation du modèle a été faite en comparant la productivité simulée avec celle réelle. Cette recherche a permis de montrer que cette logique permet une évaluation linguistique (évaluation sur des catégories : faible, moyenne, élevée...) de la productivité (évaluation du niveau de performance sur une échelle discrète). Cependant, aucun modèle de la littérature prédisant ou expliquant les performances des projets de construction n'est définitif (Korde, Li et Russell, 2005).

1.10 Pertinence des travaux de la littérature

Nous résumons dans cette partie la pertinence des travaux de la littérature.

1.10.1 Pertinence des travaux pour les nouvelles technologies

La littérature apparaît riche en publications sur les TIC. Ces technologies aident visiblement à une meilleure communication. Elles favorisent donc une meilleure collaboration dans les projets, amélioration essentielle pour pallier la fragmentation de l'industrie de la construction. La littérature a observé et défini leurs avantages, leurs inconvénients et même leurs coûts. Beaucoup de recherches se sont penchées sur l'étude des freins à ces technologies. Des recherches ont aussi été faites afin de saisir le niveau de maturité de l'industrie. Plus tard, la littérature s'est davantage intéressée aux moyens et processus permettant de faciliter l'implémentation de ces technologies.

Ces études sont réalisées dans le monde entier. L'implantation et ces freins sont dépendants du contexte. La culture et les pratiques de chaque pays influencent l'implantation des TIC. Des études canadiennes ont été menées, mais à la connaissance du chercheur aucune ne prend réellement en compte les spécificités du Québec.

L'ensemble de ces recherches utilise pour leur grande majorité une des deux méthodes suivantes :

- la première consiste à réaliser des sondages ou interviews pour connaître l'utilisation réelle et envisagée de ces systèmes par les professionnels. Les sondages servent aussi à obtenir des avis sur les différents avantages et freins aux TIC;
- la deuxième consiste à réaliser des études de cas sur l'implantation de TIC dans des projets ou entreprises réelles. Ainsi ces recherches observent les difficultés et demandent l'avis des participants sur l'implantation de ces technologies.

Néanmoins, ces méthodes peuvent présenter un manque d'objectivité. En effet, pour obtenir les freins aux TIC, celles-ci se basent sur l'avis d'acteurs œuvrant au sein de la construction, habitués et engagés dans l'implantation des TIC. Cet avis est restreint par leur position et leurs intérêts dans cette industrie. De même, les études de cas ne sont que des cas particuliers, restreignant ainsi les problématiques de l'ensemble de l'industrie à des cas

particuliers. Les études sont majoritairement réalisées à l'aide de participants qui sont impliqués dans l'implantation des nouvelles technologies. Khosrowshahi et Arayici (2012) notent que la littérature ne fournit pas de réponse concrète et complète sur les problèmes soulevés par le BIM.

Il est alors nécessaire d'étudier les freins à l'adoption des TIC dans l'industrie de la construction au Québec en prenant en compte ses spécificités dues à sa réglementation rigide. En effet, aucune étude n'a observé les freins spécifiques au Québec et son cadre légal. De plus, aucune étude n'a utilisé les non-précurseurs pour observer les freins à l'implantation des TIC.

1.10.2 Pertinence des travaux pour la juridiction des métiers

D'autre part, comme cette revue de littérature le révèle, la gestion de projet complexe due aux dynamiques non triviales de l'industrie de la construction pose de grosses difficultés aux gestionnaires. Les outils traditionnels sont dépassés. La littérature a démontré l'efficacité de la méthode de la dynamique des systèmes dans la gestion de projet en traitant les dynamiques et rétroactions nécessaires à la gestion de projet. La littérature possède un très grand nombre de modèles de dynamique des systèmes. Tous les modèles de projet de construction trouvés semblent aborder une bonne partie des dynamiques importantes.

Cependant, l'industrie de la construction et ses gestionnaires ne semblent pas encore enclins à utiliser cet outil adapté. Il semble manquer encore d'exemples de réussites (Lyneis et Ford, 2007). Certains modèles manquent de validation, comme les données d'Ocak (2012) sur l'effet de la pression sur le personnel de conception qui ne semblent pas justifiées. D'autres ne se basent que sur une seule étude de cas (Boateng *et al.*, 2013 ; Ogunlana, Li et Sukhera, 2003 ; Nasirzadeh et Nojedehi, 2013) et ont donc besoin de validations supplémentaires. Ces recherches montrent aussi la difficulté d'avoir des données chiffrées pour l'élaboration des modèles.

Ainsi, aucun des modèles trouvés ne semble être capable de retranscrire les effets des fragmentations de sous-traitants observés au Québec. De plus, aucun modèle trouvé n'analyse la fragmentation des tâches de construction et la capacité de gestion des entrepreneurs généraux à gérer beaucoup de sous-traitants. Les modèles ne semblent pas prendre en considération tous les éléments afin de retranscrire les dynamiques découlant de la fragmentation. Finalement, les modèles ne comportent souvent pas de volet relié aux coûts réels des politiques étudiées, comme le fait Abdel-Hamid (1989).

Les impacts de la juridiction des métiers sur l'industrie de la construction québécoise restent encore à valider et quantifier après avoir été identifiés par Gautier *et al.* (2015). Ces impacts étant présents dans un système complexe et difficilement compréhensible par la pensée seule, la dynamique des systèmes (DS) semble être un outil adéquat pour cette quantification. Ainsi, l'analyse des impacts de la juridiction des métiers sur les projets de construction au Québec par la méthode de la DS, est nécessaire afin de :

- améliorer les modèles de DS afin qu'ils soient plus adaptés à la problématique de l'industrie québécoise;
- fournir un outil d'aide à la décision à l'industrie de la construction au Québec afin de prévoir l'impact de certaines décisions sur les projets;
- quantifier l'impact de la juridiction des métiers sur les délais et la gestion des chantiers.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Dans cette partie nous présentons tout d'abord la méthodologie pour étudier les freins et incitatifs à l'implantation des technologies de l'information et de la communication (TIC) puis la méthodologie pour étudier les impacts de la juridiction des métiers.

2.1 Méthodologie sur les nouvelles technologies

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) commencent à s'implanter au Québec, mais ce processus est lent (Forgues *et al.*, 2011). Devant les avantages que peuvent apporter les TIC, il est important de faciliter leur implantation. Les spécificités du Québec freinant ou incitant l'adoption des TIC n'ont pas été regroupées et étudiées spécifiquement. Pourtant, afin d'implanter efficacement les TIC, il est nécessaire de comprendre le contexte de leur implantation et ses freins.

2.1.1 Objectif et hypothèse

L'objectif de la recherche est d'établir les freins et incitatifs à l'implantation des TIC dans l'industrie de la construction québécoise actuelle. Nous faisons l'hypothèse qu'il existe des freins et incitatifs à l'implantation des TIC, spécifiques au Québec.

La méthodologie adoptée ne vise pas à capter l'avis de professionnels sur des freins, mais à observer ces freins. Les freins ressentis par les acteurs de la construction au Québec ont déjà été recueillis dans de précédentes recherches (Forgues, Tahrani et Poirier, 2015). Les précédentes études ont extrait les freins à l'adoption des TIC directement de l'avis des acteurs de la construction ou lors de projets spécifiques avec des entreprises et individus activement impliqués dans l'implantation de ces technologies. La méthode de cette étude analyse les observations des habitudes des acteurs de l'industrie non précurseurs dans les

TIC. Nous soulignons les points de discordance entre les acteurs, mais aussi les points positifs et communs aux acteurs pouvant favoriser l'adoption des TIC. Le but est de pouvoir permettre à l'industrie québécoise de se transformer vers une industrie collaborative où les nouvelles TIC seraient les outils principaux de communications entre les différents acteurs.

2.1.2 Méthode de recherche

Cette recherche ne considère pas chaque personne ou entreprise individuellement, mais chaque partie prenante (Architecte, ingénieur de conception, entrepreneur général, client, etc.) comme un ensemble au sein de l'industrie de la construction. La littérature a montré que la SNA est un outil pertinent pour étudier les relations entre des entités. L'étude des relations entre les différents acteurs de la construction est donc réalisée grâce à la SNA.

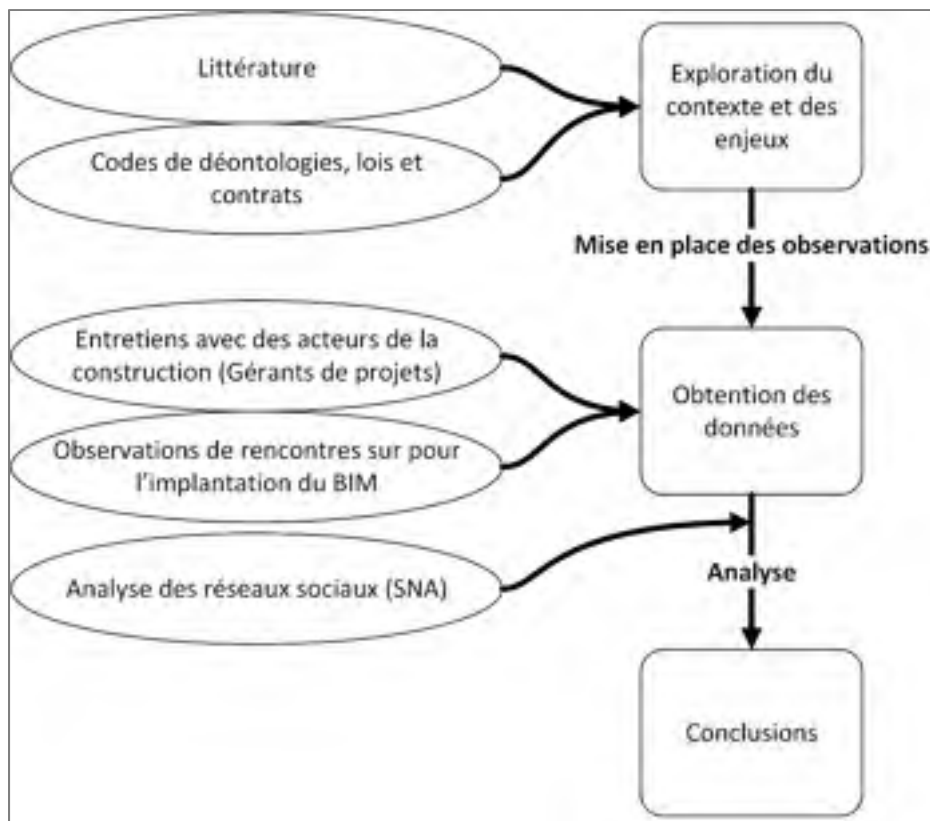


Figure 2.1 Diagramme de la méthode sur l'implantation des TIC

La méthodologie comporte deux étapes d'observations : dans un premier temps, une analyse des différents documents légaux et contractuels est réalisée. Dans un second temps, des entrevues avec les acteurs de la construction sont effectuées. Ces entretiens sont couplés à l'observation de réunion sur l'implantation du BIM. Ces données sont ensuite analysées grâce à la SNA. Cette méthodologie est résumée dans la Figure 2.1. Les détails des étapes d'observation et d'analyses sont donnés dans les parties suivantes.

2.1.3 Analyse des documents légaux

La revue de la littérature a permis de comprendre les enjeux que soulèvent les TIC et l'influence du cadre légal. Basé sur ces connaissances, différents documents légaux touchant la construction québécoise sont analysés pour trouver les points susceptibles de freiner ou faciliter l'implantation des TIC dans cette industrie. Ces documents sont :

- les tarifs d'honoraires pour services professionnels fournis au gouvernement par des architectes et par des ingénieurs;
- les lois sur les ingénieurs, sur les architectes, sur les maîtres électriciens et les mécaniciens en tuyauterie;
- les codes de déontologie des ingénieurs et des architectes;
- le manuel canadien de la Pratique de l'Architecture;
- les contrats types du Comité canadien des documents de construction (CCDC) (Contrat de design-construction à forfait et contrat entre design-constructeur et professionnels), de l'Association des architectes en pratique privée du Québec (AAPP), de l'association des firmes de génie-conseil (AFG) (contrat entre l'ingénieur et le sous-traitant et contrat en l'ingénieur et le client) et de l'IBC (libellé contractuel pour la MDB au Canada);
- des contrats publics (Contrats de commissions scolaires, municipalités, d'organisme gouvernemental, d'universités);
- et une police d'assurance des services professionnels.

La liste précise des documents est donnée en annexe (Voir ANNEXE I, Tableau-A I-1). Dans ces documents, nous relevons et commentons les points pouvant favoriser ou freiner l'implantation des TIC.

2.1.4 Interviews

À partir de ces remarques, nous établissons une série de questions pour les différents intervenants afin de les confronter à ces points soulevés. Ces questions ont pour but de confirmer les réels freins ou incitatifs que représentent ces clauses, mais aussi de collecter la vision des personnes concernées. La deuxième étape des observations se fait donc par une série d'entrevues avec des participants représentant l'ensemble des intervenants de l'industrie de la construction. Ces entrevues se déroulent comme des entretiens semi-dirigés. Les intervenants sont tout d'abord questionnés sur leurs habitudes de travail et leurs visions. Ensuite, les participants sont interrogés sur leurs visions des TIC et du BIM. Ce deuxième niveau consiste à valider les différents freins trouvés dans la littérature, mais aussi à observer les dissemblances de vision et d'habitudes existant dans l'industrie. Les différents points abordés sont :

- les relations avec les autres intervenants (leur travail en collaboration; leur confiance; la communication);
- la vision de leur entreprise sur leur but et intérêt dans un projet;
- leur utilisation des technologies (de communication; outils informatiques; leur compétence sur les nouvelles technologies).

À l'intérieur de ces points, les participants sont amenés à discuter sur les questions qui sont sorties de l'analyse des documents légaux. Ainsi, les freins ou incitatifs aux TIC détectés par le chercheur dans les documents analysés sont validés ou démentis. La méthode de mise en place de ces entrevues est détaillée dans les parties ci-dessous.

2.1.4.1 Échantillon

Afin d'obtenir une vision de l'ensemble de l'industrie de la construction, les entretiens ont été réalisés avec un panel de 2 à 3 personnes travaillant pour chacun des acteurs suivants :

- client public;
- architecte;

- ingénieur (structure, mécanique/électricité);
- entrepreneur général;
- sous-traitant (entrepreneur spécialisé);
- sous-consultant de professionnel.

Les firmes ou organismes de chacun de ces acteurs ont été trouvés grâce à la base de données d'appel d'offres que contient le site SEAO.com (site de mise en ligne des marchés d'offres publics au Québec). Dans cette base de données, les entreprises ont été identifiées dans la région de Montréal et celles ayant répondu à un nombre assez significatif d'appels d'offres dans cette région.

Pour sélectionner les participants, les conseils de Seidman (2013) ont été appliqués :

- 1) joindre les participants par le biais des personnes détenant les clés nécessaires;
- 2) entrer en contact avec les personnes de la façon la plus personnalisée possible;
- 3) constituer une réserve de candidat potentiel pour ne pas dépendre de leur disponibilité;
- 4) effectuer une sélection à partir de critères préétablis.

Les entreprises ont été contactées par le numéro de téléphone rendu public sur internet ou par le biais d'une personne ressource lorsque ses coordonnées étaient disponibles. Après présentation de sa recherche, le chercheur demande à rencontrer des gestionnaires de projet de l'entreprise concernée en précisant qu'ils ne doivent pas être des personnes impliquées activement dans l'implantation des TIC. Ainsi, des gérants de projets et architectes ont été mis en contact avec le chercheur et ont accepté de participer à l'étude.

De plus, nous discutons de façon informelle avec des surintendants et gérants de projets des chantiers observés (observations expliquées en 2.2) sur les TIC leurs avantages et leur implantation sur le chantier.

2.1.4.2 Déroulement

Suite à la revue de littérature, nous avons décidé de réaliser des entretiens. En effet, les méthodes plus classiques (questionnaire fermé, tests standardisés...) peuvent passer à côté de certaines informations. L'entretien permet d'avoir accès à des informations plus fines sur l'attitude, les perceptions, etc. Les conseils trouvés dans la littérature ont été appliqués. Nous choisissons de réaliser des entretiens de type « centré ». L'intervieweur a un rôle actif pour diriger le répondant afin d'obtenir les informations voulues tout en donnant une liberté d'expression. La communication des objectifs et la présentation de la recherche sont faites en début de rencontre comme le préconise Boutin (2006). Souvent citées, les recommandations de Powney et Watts (1987) ont été prises en comptes :

- utilisé des questions ouvertes;
- employer le même vocabulaire que le répondant et utiliser des paraphrases;
- montrer de l'empathie et de l'intérêt et un comportement positif. Éviter les interruptions, les rappels à l'ordre. Il faut de la patience et un certain humour.

Suivant la disponibilité des répondants, nous réalisons des entretiens d'une durée comprise entre une et deux heures.

2.1.4.3 Questions

Nous préparons le guide d'entretien (Voir ANNEXE II) suivant les conseils de Boutin (2006). Le choix entre questions ouvertes et fermées est réalisé selon les conseils vus dans la littérature. Boutin (2006) recommande de commencer l'entretien par des questions ouvertes plutôt que des questions fermées (renseignements personnels, renseignements sur l'entreprise) pour ne pas braquer l'intervieweur. Les premières relations nécessaires au chercheur pour positionner le répondant sont donc formulées de façon ouverte. On pose alors quelques questions fermées plus tard si le répondant n'a pas donné les réponses en répondant à la première question.

Afin de ne pas influencer les réponses du répondant en donnant les éléments voulus en le questionnant sur les TIC, le chercheur pose d'abord les questions sur les habitudes, les relations avec les autres, les nouvelles technologies, et la vision. Le chercheur explique au besoin le sens de la question et guide le répondant.

Ensuite, le chercheur présente ce qu'il entend par TIC pour ensuite demander sa connaissance et ses habitudes sur les TIC. Puis, le chercheur présente ce qu'est le BIM selon la littérature scientifique et l'avis d'experts et demande la vision de l'interviewé par rapport à cette définition. Le chercheur demande l'avis du répondant sur ces TIC et essaie de capter ses préoccupations, ses envies, ses habitudes, ses connaissances et ses relations qu'il possède avec les autres acteurs et leurs implications dans l'adoption des TIC.

Nous rajoutons certaines questions pour certains acteurs. Ces questions proviennent d'interrogations survenues lors de l'analyse des documents légaux et contractuels (ANNEXE I). L'entretien étant limité dans le temps, toutes les questions voulues par le chercheur ne peuvent pas être posées. Alors une liste de ces questions est rajoutée en fin du guide d'entretien. Dépendamment du déroulement de l'entretien, si du temps reste disponible au bout des questions précédentes, ces questions facultatives sont posées. Nous avons déterminé la quantité de questions facultatives grâce à deux premiers entretiens tests. Ces entretiens tests ont aussi permis d'améliorer les questions et de déterminer la quantité de questions possible en un temps moyen d'une heure.

Pour chaque question, au besoin, le chercheur guide le répondant par des explications ou d'autres questions plus précises afin d'obtenir les informations voulues. Les questions et points sous chaque question du guide en ANNEXE II, ne sont présents que pour aider le chercheur. Tous les points ne sont pas obligatoirement abordés dans l'ordre du guide.

2.1.5 Observations de réunions

Pour venir enrichir l'échantillon au sein des acteurs de la construction, les observations sont complétées avec des observations de réunions et conférences abordant l'implantation du BIM au Québec. Ces réunions regroupent des experts du BIM et des personnes impliquées activement dans son implantation et représentant les différents acteurs de la construction. Ces observations ont été réalisées par une simple observation de ces réunions. Ces observations viendront appuyer ou nuancer les visions et habitudes des différents intervenants de la construction mis en lumière durant les entrevues.

2.1.6 Analyse

Lincoln et Guba (1985) affirment qu'il est possible de généraliser des résultats d'entrevues qualitatives en montrant les liens qui existent entre les réponses des différents interviewés. Pour ce faire, les réponses des intervenants sont regroupées par spécialité. Grâce à ces réponses, des graphiques sont mis en place grâce à la SNA pour analyser les liens entre les réponses des différents acteurs de la construction. Dans ce réseau, nous considérons les acteurs comme les nœuds. Pour les relations étudiées, nous réalisons les graphiques ressortant des entrevues représentant la réalité actuelle. Ces graphiques sont comparés aux relations d'une industrie idéale (collaboration et utilisation des TIC intégrale) et aux relations exigées dans les contrats.

2.2 Méthodologie sur les impacts de la juridiction des métiers

La revue de la littérature a montré que la fragmentation de l'industrie de la construction québécoise impacte aussi l'exécution, engendrant un grand nombre de S-T. Si ces impacts ont été identifiés par Gautier *et al.* (2015), ils n'ont pas été validés et quantifiés. Ainsi, cette étude porte sur la validation et de la quantification des impacts de cette réglementation sur la gestion et les délais des projets de construction.

2.2.1 Choix de la méthode de recherche

Pour combler son objectif, l'étude se sert de la méthode de la dynamique des systèmes. En effet, la littérature a montré que la dynamique des systèmes est un bon outil pour étudier de nouveaux domaines d'études avec des dynamiques complexes et étudier l'influence de certains facteurs. Les recherches étudiant de nouveaux domaines peu ou pas explorés sont réalisées à l'aide de modèles simples. Ceux-ci donnent des résultats probants et apportent de nouvelles connaissances servant à l'industrie et aux recherches futures. L'analyse de l'impact de la juridiction des métiers par la dynamique des systèmes est un nouveau domaine de recherche. L'étude se concentrera donc sur la modélisation des facteurs importants dans cet impact de la juridiction. Les observations réalisées dans cette étude seront donc portées sur tous les éléments nécessaires à la bonne expression de ces facteurs dans le modèle.

Comme vu dans la littérature, l'obtention de données permettant la modélisation des facteurs peut se réaliser de 3 manières différentes : par observation; par création de relations empiriques à partir des connaissances du chercheur et d'experts; ou mixte. Les impacts de la juridiction des métiers sur la productivité et la gestion de l'exécution étant nombreuses et complexes nous ne pouvons pas réaliser des observations permettant de modéliser précisément tous ces impacts. De plus, les connaissances sur les impacts de la juridiction sur la productivité ne sont pas suffisantes pour baser un modèle sur elles. Ainsi une méthode mixte est choisie. Quatre chantiers sont choisis comme études de cas. Nous détaillons dans les parties suivantes les étapes de formulation des hypothèses, d'obtention des données et de modélisation.

2.2.2 Hypothèses

L'enquête sur l'impact de la réglementation des métiers (Gautier, Katsanis et Martin, 2015) a permis de mettre en lumière les différents impacts perçus et existants dans l'industrie de la construction. La recherche présentée dans ce mémoire reprend une partie des résultats de cette précédente enquête et fait l'hypothèse que ceux-ci influencent significativement la

gestion, l'échéancier et le coût des travaux. Six hypothèses sont choisies en fonction de leur importance décrite par Gautier *et al.* (2015) et par la possibilité ou non de les quantifier.

2.2.2.1 Période d'assimilation des nouveaux ouvriers (H1)

H1 - Hypothèse sur l'assimilation des nouveaux ouvriers : L'hypothèse est faite que l'assimilation des nouveaux ouvriers arrivant sur le chantier induit des délais significatifs dans l'échéancier des projets de moyenne et petite envergure. En effet, l'enquête de Gautier *et al.* (2015) reporte que les ouvriers ont une période d'assimilation en arrivant sur le chantier avant d'atteindre leur productivité maximale. Durant cette période d'assimilation, l'ouvrier peut avoir du mal à s'orienter, trouver le matériel nécessaire et perd alors du temps. La multiplicité des S-T entraîne une augmentation du nombre d'ouvriers venant travailler sur un chantier, entraînant donc l'augmentation de l'impact du temps perdu dans l'assimilation des nouveaux ouvriers.

Ainsi, la production réelle des ouvriers est recueillie pour connaître son évolution selon le temps de présence. Les observations des surintendants sont recueillies. Ils leur sont demandés leurs sentiments sur la productivité des ouvriers arrivants sur le chantier. Les soucis liés à l'assimilation comme le manque de repère sont recueillis.

2.2.2.2 Problème de mobilisation des sous-traitants (H2)

H2 - Hypothèse sur les problèmes d'assimilation des sous-traitants : L'hypothèse est faite que la gestion des S-T entraîne des retards dans la mobilisation de S-T due à des difficultés de communication, de transfert de l'information, un manque de flexibilité ou des conflits d'intérêts. En effet, les entrepreneurs généraux ne font pas appel à leurs mains d'œuvre, mais engagent des S-T pour toutes les tâches à effectuer et tous les lots de travail. Cette stratégie cause un manque de flexibilité pour les entrepreneurs généraux qui peuvent s'expliquer par les facteurs suivants :

- non-flexibilité de la sous-traitance : difficulté de mobiliser un S-T ou démobilitation;

- intermédiaires dans les communications : Temps passé à transmettre les informations et à attendre que la demande soit appliquée.

Pour quantifier l'ampleur de ces problèmes, l'ensemble des délais liés à la relation entre entrepreneurs généraux et S-T sont répertoriés. Pour cela, nous reportons tous délais auxquels les travaux font face. Leur cause, les S-T impliqués et leurs répercussions sont observés. Les causes sont étudiées pour déterminer si la relation entre entrepreneurs généraux et S-T a induit le retard.

2.2.2.3 Gestion importante des S-T (H3)

H3 - Hypothèse sur la gestion importante des sous-traitants : L'hypothèse est faite que le surintendant est submergé par la gestion des S-T causant alors des erreurs et délais. En effet, avec le nombre important de S-T, le surintendant fait face à un nombre élevé de communications à entretenir (courriels, appels) et de gestions à réaliser. Face à ce défi, le surintendant doit prendre des décisions, trier plus sommairement les courriels, prioriser les gestions et communications et en laisser de côté. Ces réactions peuvent avoir des conséquences comme des erreurs dues au traitement tardif d'une information ou à un manque de gestion.

Pour valider cette hypothèse, le chercheur relève la gestion des S-T effectuée par le surintendant et les communications passées avec les S-T. Le nombre et le moyen de communication sont observés. Pour chaque communication, les S-T impliqués, le sujet et la conclusion sont relevés.

2.2.2.4 Gestion de la sécurité (H4)

H4 - Hypothèse sur la gestion de la sécurité : L'hypothèse est faite que le surintendant perd beaucoup de temps et d'argent pour gérer la sécurité des S-T. En effet, les S-T n'appliquent parfois pas les règles de sécurité par manque d'argent, mais aussi de temps et d'organisation que nécessite la mise en place d'un protocole de sécurité. L'entrepreneurs généraux qui

partage les risques avec les S-T doit combler les manquements des S-T. Pour ce faire, le surintendant perd du temps à réprimander les S-T et l'entrepreneur général doit engager des dépenses pour apporter les équipements de sécurité nécessaires. Le surintendant se charge aussi de réaliser l'accueil de sécurité à chaque nouvel ouvrier sur le chantier.

Pour valider cette hypothèse, la gestion de la sécurité du surintendant est répertoriée tout au long du projet. À chaque visite, il est noté les accueils de sécurité réalisés ainsi que les interventions sur le chantier pour gérer la sécurité des S-T.

2.2.2.5 Conflits juridiques et spatiaux (H5)

H5 - Hypothèse sur les conflits juridiques et spatiaux : L'hypothèse est faite que les conflits juridiques et spatiaux peuvent entraîner une diminution de la productivité des travailleurs, engendrer des erreurs ou même empêcher le travail d'une équipe, entraînant alors des retards ou une démobilisation. En effet, comme écrit dans l'étude de Gautier *et al.* (2015), la juridiction des métiers entraîne de nombreux conflits de juridictions dues aux différentes tâches qui peuvent être attachées à différents S-T. En outre, plus le nombre de S-T présent sur le chantier augmente, plus la possibilité de conflits spatiaux est forte.

Afin de valider cette hypothèse, les conflits sont reportés lors des observations en prenant en compte les reprises et pertes de temps dues à ces conflits. Leurs causes sont déterminées pour savoir si le nombre de S-T est en jeu (un manque d'espace ou une dispute entre S-T par exemple). La gestion du conflit est observée afin de distinguer le temps perdu par celui-ci. La localisation des ouvriers est notée à chaque visite pour permettre de comprendre d'éventuels conflits spatiaux.

2.2.2.6 Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6)

H6 - Hypothèse sur les évènements impliquant plusieurs sous-traitants : L'hypothèse est faite que beaucoup d'évènements (Gestion, communication, erreur et délai) impliquent plusieurs S-T et augmentent alors les impacts négatifs des précédentes hypothèses. Par exemple, les erreurs d'un S-T peuvent entraîner l'erreur des autres S-T ayant à continuer sur

le travail du premier. Il y a donc des interdépendances entre la gestion, les délais et les erreurs des différents S-T. Cela entraîne davantage de remobilisation et donc plus de perte de temps puisque chaque tâche de reprise doit être réalisée par un travailleur ayant la bonne carte professionnelle.

Afin de valider cette hypothèse, les erreurs faites ainsi que leurs causes sont recueillies. Les S-T impactés sont relevés pour chaque évènement (Gestion, communication, erreur et délai). L'analyse de celles-ci peut quantifier l'interdépendance des erreurs et leurs conséquences. D'après la revue de littérature, le coût des reprises dû à l'exécution est faible, mais devient non négligeable lorsque les délais liés à ces reprises sont pris en compte. Ainsi, cette étude observe et analyse les temps perdus à cause des reprises, mais pas leurs coûts.

2.1 Méthode de recherche de chantier

Quatre chantiers sont choisis comme études de cas grâce à la méthode expliquée dans cette partie. Les impacts que nous souhaitons étudier; proviennent de deux causes : la grande division du travail entre les S-T et les difficultés de gérer autant de structures aussi petites effectuant des travaux d'envergure mineure sur le chantier. Ainsi, pour observer ces impacts, il faut donc que le chantier observé fasse appel à un certain nombre de S-T embauchant autant de métiers réglementés. De plus, les S-T sont nombreux et interfèrent entre eux particulièrement dans le second œuvre lorsque la structure est terminée. Les travaux doivent comprendre une grande partie de second œuvre. Le chantier peut être une nouvelle construction, une réhabilitation ou une rénovation. Les réhabilitations ou rénovations en site occupé sont néanmoins écartées de la recherche, car celles-ci répondent à des contraintes supplémentaires pouvant modifier les dynamiques des travaux et fausser les résultats de l'étude. L'impact de la réglementation des métiers étant perçu comme plus important sur les petits et moyens chantiers (<25M\$) (Gautier, Katsanis et Martin, 2015), le chantier doit être d'une relative simplicité et d'une envergure assez faible. Il a été choisi d'observer des chantiers dont le budget se trouve entre 500 000\$ et 6M\$. Plusieurs chantiers sont recherchés

pour pouvoir comparer et valider les résultats. Dû aux moyens disposant le chercheur, la recherche est aussi limitée aux chantiers accessibles par le réseau de transport de Montréal.

Les projets sont sélectionnés en regardant dans la base de données du système électronique d'appel d'offres du gouvernement du Québec (Secrétariat du Conseil du trésor du Québec, 2016). Puis, le premier contact est pris avec l'entreprise pour demander des projets correspondants aux critères de la recherche. Le chercheur demande au gérant de projet la possibilité de réaliser des observations sur le chantier. Le gérant de projet demande ensuite l'accord du surintendant. Après acceptation, une rencontre avec le gérant et surintendant est organisée pour mieux présenter la recherche et ses modalités.

2.1.1 Méthode d'agrégation des données

2.1.1.1 Méthode d'observation

Le chercheur se rend 2 à 3 fois par semaine sur le chantier pour réaliser les différentes observations. Les données récoltées sont anonymes, seul le rôle (entrepreneurs généraux, sous-traitants plombiers...) des différents acteurs est préservé pour l'analyse des données. Une feuille récapitulant les points nécessaires au chercheur est donnée au surintendant pour qu'il garde en tête les points à donner lors des entrevues avec le chercheur. L'échéancier préparé par l'entrepreneur général est récupéré au début des observations. Les observations sont répertoriées dans un journal de chantier. À chaque visite, le chercheur remplit son journal de chantier en réalisant ses observations selon les étapes qui suivent. Le chercheur commence par la prise de connaissance des documents disponibles (comme les rapports de chantier) le cas échéant. Ensuite, il réalise un tour du chantier :

- le chercheur note l'avancement de chaque S-T sur des plans annotés et par l'interview des S-T (Voir ANNEXE VI, Figure-A VI-2);
- le chercheur note la présence des travailleurs de chaque S-T dans le journal de chantier. Le remplacement d'un travailleur par un autre sera aussi répertorié dans le journal (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-1);

- le lieu de travail des S-T est reporté sur les plans;
- après observation de l'avancement, si des délais dans l'avancement prévu ont été observés, ils sont reportés dans les fiches de notes.

Le chercheur rencontre ensuite le surintendant afin de comprendre la logique des actions observée, connaître les événements passés et obtenir les opinions :

- le surintendant valide les délais et leurs causes;
- si une remobilisation d'un S-T est nécessaire, la date de demande de remobilisation ainsi que la remobilisation effective sont notées;
- la gestion des S-T par le surintendant est répertoriée.

En plus des visites fréquentes, le chercheur passe une journée complète sur chaque chantier afin d'observer directement la gestion effectuée par le surintendant durant une journée. D'autres documents, tels que des rapports de chantier, de réunions, des feuilles de non-conformités sont récupérées tout au long des observations et utilisées aussi pour identifier les événements. Une telle approche de la collecte de données est communément appelée « triangulation » (Todd, 1979). Finalement, une période de test est programmée sur les deux premiers chantiers étudiés d'une durée de 4 semaines afin d'ajuster la méthode.

2.1.1.2 Journée d'observation au chantier

Les surintendants avouent ne pas pouvoir donner tous les détails de leurs journées et de la gestion de « routine ». Afin de capter cette gestion de routine, nous avons réalisé des observations durant des journées complètes sur le chantier. Durant ces journées, nous avons noté les temps passés par le surintendant à effectuer la gestion des S-T. Les différentes tâches sont classées dans les catégories suivantes : Gestions des S-T au bureau, autres gestions au bureau, gestions en vis-à-vis (sur le chantier) avec les S-T, gestions en vis-à-vis avec les ouvriers de l'entrepreneur général, gestions autres sur le chantier, appel de S-T, autres appels, pauses. Cependant, 100% du temps de travail ne peut être reporté. Ainsi, la différence entre la somme des temps reportés et le temps de présence du chercheur sur le chantier est présentée en « non reporté ».

2.1.1.3 Fiches de notes et définition du vocabulaire utilisé

Dans la suite de ce mémoire, un certain nombre de termes vont être couramment utilisés. Afin d'enlever toute ambiguïté, une définition de chaque terme est présentée.

Communication : toute communication passée entre le surintendant et le S-T en dehors du chantier que ce soit par téléphone ou courriel. Les communications sont reportées sur une fiche de notes (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-2). Leur nombre est répertorié dans un gabarit Excel (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-3). Les communications sont triées en fonction de la cause par laquelle elles sont induites. Trois causes définies sont :

- planification : le surintendant doit communiquer avec un S-T pour planifier son travail. Cela comprend les demandes de mobilisations et la planification des travaux en fonction des travaux en cours;
- problèmes : Le surintendant doit communiquer avec un S-T à cause d'un problème causant des délais dans les travaux. Ces problèmes sont dus aux S-T;
- information : Le surintendant doit communiquer avec un S-T pour demander ou donner une information. Cette information ne concerne ni la planification ni un problème.

En plus des causes, les communications sont classées suivant leur efficacité, selon deux catégories :

- réussi : information transmise ou réponse à une demande de manière positive;
- non réussie : information transmise par message sans certitude de réception ; ou réponse à une demande de manière positive, mais différée (acceptation d'une reprise, mais avec un délai supplémentaire par rapport à la demande); Ou demande refusée.

Attribué à la Sur-Sous-Traitance (ASST) ou non attribué à la Sur-Sous-Traitance (non ASST) : Les événements sont classés comme ASST sur l'avis du surintendant et du chercheur. Un événement est classé ASST lorsqu'il est jugé qu'il n'aurait pas eu lieu si :

- le S-T concerné réalisait plus de tâches sur le chantier et avait une mobilisation plus longue;

- les travailleurs de ce S-T étaient employés directement par l'entrepreneur général.

Par exemple, le blocage et les communications dus à la remobilisation tardive d'un S-T peuvent être évités avec moins de S-T. En effet, cette remobilisation n'aurait pas lieu si le S-T avait plus de tâches et était resté sur le chantier. Ou encore, un conflit entre deux S-T n'aurait pas lieu si les travailleurs étaient dans la même compagnie ou s'ils avaient la compétence pour une autre tâche. Si l'évènement est au contraire indépendant de la sous-traitance et de la grosseur du S-T, celui-ci est classé comme Non ASST.

Gestion : toute intervention du surintendant auprès des S-T. Cela comprend de manière non exhaustive les réunions avec les S-T, les interventions sur chantier, les discussions avec les S-T au bureau du surintendant. Les gestions de la sécurité sont reportées dans un fiche de notes (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-4), les autres gestions sont reportées sur une autre fiche de notes (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-5). Ces gestions sont dénombrées dans un gabarit Excel (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-6) en fonction de leurs causes :

- problème de sécurité : gestion des manquements à la sécurité de la part des S-T et gestion des accueils sécurités;
- déficience : gestion d'une déficience du S-T;
- conflit entre S-T : Gestion d'un problème venant d'autre S-T;
- conflit avec l'entrepreneur général : Gestion d'un S-T ne répondant pas aux demandes de l'entrepreneur général;
- planification/coordination : gestion de la planification de travaux des S-T;
- autre : gestion pour gérer d'autres problématiques.

Déficiences : toute tâche d'un S-T ne satisfaisant pas les critères du contrat et qui nécessite une reprise (tâche réalisée deux fois). Les déficiences sont reportées dans une fiche de notes (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-9). Elles sont ensuite dénombrées dans un gabarit Excel (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-10) en fonction de leurs causes :

- dû à un autre S-T : la déficience est causée par un autre S-T;

- mauvaise gestion : la déficience est due à une mauvaise gestion des travaux de la part du S-T ou du surintendant;
- négligence : la déficience est causée par une négligence de la part du S-T;
- planification/coordination : la déficience provient d'une erreur dans la planification ou la coordination des travaux de la part d'un acteur extérieur au S-T (entrepreneurs généraux ou professionnels);
- autre : la déficience est causée à une cause différente de celles citées précédemment.

Retardement : tout évènement causant un délai dans les travaux des S-T. Les retards sont reportés sur une fiche de notes (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-7) et dénombrés dans un gabarit Excel (Voir ANNEXE VI, Tableau-A VI-8) en fonction de leurs causes :

- météo : la météo empêche les travailleurs d'effectuer leurs tâches;
- ouvrier sur un autre chantier : Le S-T n'envoie pas ou trop peu d'ouvrier sur le chantier observé pour s'occuper d'un autre projet;
- conflit entre S-T : le délai est causé par d'autres S-T ou par un conflit avec des travaux d'un autre S-T;
- manque matériel/matériaux : Le S-T manque de matériaux ou de matériel pour travailler;
- autre : le S-T ne peut pas travailler à cause d'éléments extérieurs aux S-T comme l'attente de changement.

Jours-personnes : correspond au nombre de journées de travail d'un ouvrier effectuant le travail du S-T. En d'autres termes, cela correspond au nombre de jours de mobilisation multiplié par le nombre moyen d'ouvriers.

Taux de communication : rapport du nombre de communications sur les jours-personnes.

Taux de gestion : rapport du nombre de gestions sur les jours-personnes.

Taux de retards : rapport du nombre de retards sur les jours-personnes.

2.1.1.4 Évènements impliquant plusieurs sous-traitants

Pour chacune des données des évènements cités précédemment (Communications, gestions, déficiences et retardements), il a été relevé si différents S-T étaient impliqués. Nous reportons dans un tableau le nombre d'évènements reliant les différents S-T. Ces relations entre deux S-T sont codées avec une pondération égale au nombre d'évènements reportés impliquant ces deux S-T. Si nous prenons l'exemple de 3 S-T : A, B et C. Nous représentons les relations dans le Tableau 2.1. Dans cet exemple, il a été relevé X éléments impliquant A et B.

Tableau 2.1 Exemples de relations pour 3 S-T.

Sous-traitants	A	B	C
A	-	X	Y
B	X	-	Z
C	Y	Z	-

2.1.1.5 Calcul de la productivité

La productivité des S-T est étudiée afin d'observer l'effet de l'assimilation des ouvriers. Pour cela, l'avancement des travaux est noté sur des plans en notant les éléments nouveaux depuis la précédente visite. L'avancement ne comprend pas les retouches et certaines finitions. En effet, il est impossible pour le chercheur de quantifier cet avancement durant ces observations, qui n'impacte que peu l'aspect visuel des travaux et n'est pas reporté par le surintendant. À partir des plans annotés, nous établissons l'avancement. La mesure de l'avancement est réalisée grâce à des modèles en trois dimensions (3D) simples, réalisés sur le logiciel REVIT. Nous divisons cet avancement par le nombre d'ouvriers pour obtenir la productivité par jour et par travailleur.

2.1.1.6 Résumé de la méthode d'observation sur les chantiers

La Figure 2.2 résume la méthode d'observation et les documents réalisés pour l'obtention des données sur les impacts de la juridiction des métiers. Par souci de confidentialité, les

documents comme les rapports de chantier, de réunion et plans annotés ne sont pas présentés, mais sont pris en compte dans les résultats et l'analyse.

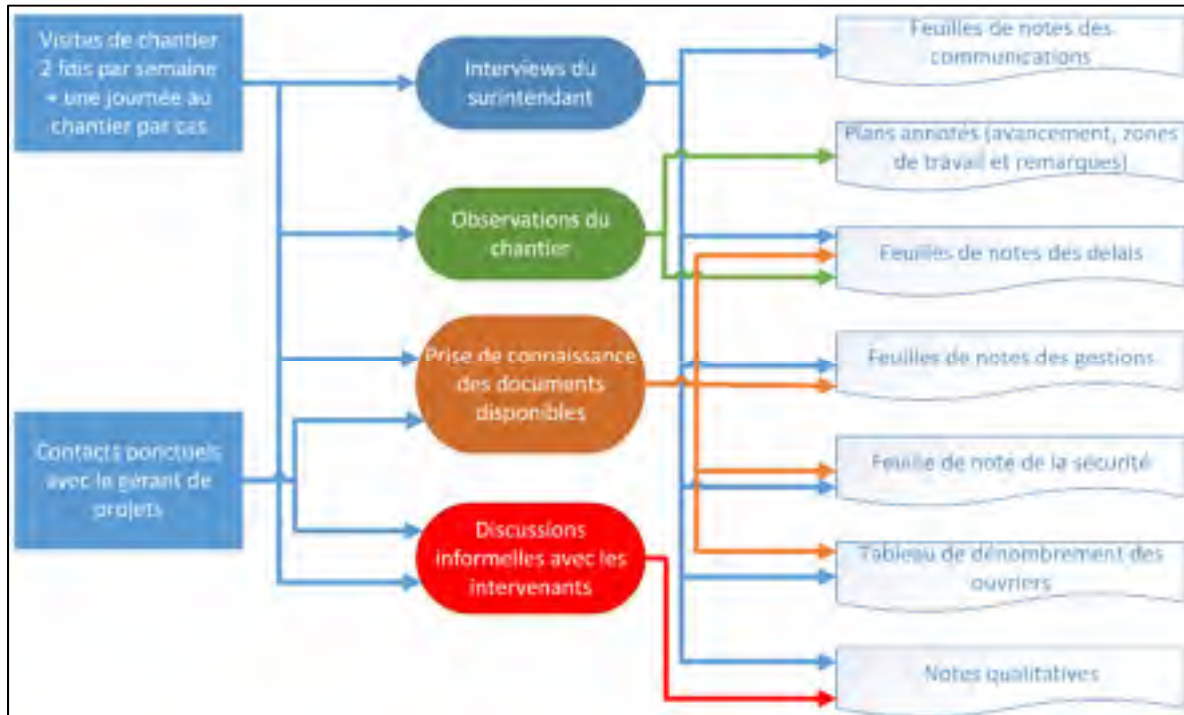


Figure 2.2 Méthodes d'observations sur chantier

2.1.2 Modélisation

Les données obtenues sont ensuite analysées afin de modéliser l'impact des différents paramètres sur les autres. Finalement, une modélisation est élaborée à partir de ces résultats grâce aux SD, complétés par des modèles de la littérature. Une interface facile d'utilisation est développée afin de permettre de livrer un outil permettant diverses analyses de sensibilité.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Nous présentons dans cette partie quatre types de résultats :

- les résultats de l'analyse des documents légaux et contractuels de l'industrie de la construction québécoise;
- les résultats des entrevues avec les différents acteurs de la construction;
- les résultats des observations des réunions;
- les résultats des observations sur le chantier.

3.1 Résultats de l'analyse des documents légaux et contractuels

Nous analysons les documents légaux et contractuels cités dans la partie 2.1.3 et en annexe (Voir ANNEXE I, Tableau-A I-1). Dans ces documents, nous relevons et commentons les points pouvant favoriser ou freiner l'implantation des technologies de l'information et de la communication (TIC). L'analyse est faite grâce aux connaissances du chercheur provenant de son expérience antérieure et de sa revue de littérature. Ces commentaires sont basés sur une présomption du chercheur d'une méconnaissance potentielle des TIC de la part des différents acteurs de la construction. Ces remarques sont classées par thèmes dans les parties suivantes.

3.1.1 Impression des documents

Dans ces documents légaux, les tarifs d'honoraires pour services professionnels garantissent le remboursement des dépenses d'impression. Celles-ci peuvent être faites sans soucis pour les professionnels et peuvent être encore demandées. Une fois les copies papier rendues, les professionnels peuvent penser avoir rendu leur travail et sont moins encouragés à l'utilisation de TIC pour transmettre une copie numérique. Il est alors impossible d'utiliser des TIC si les documents ne sont pas transmis au format électronique.

3.1.2 Signature et sceau

D'après leurs codes de déontologie, les professionnels ne doivent pas « s'attribuer le travail » de leurs confrères. Il peut s'avérer difficile de respecter ce point lors d'un travail collaboratif et l'utilisation de TIC. Dans ce cas, le travail des différents professionnels peut être confondu dans la globalité des plans et documents sur lesquels ils ont travaillé.

Les professionnels doivent signer et sceller tous les documents qu'ils préparent. Ils peuvent donc être effrayés par les TIC où leurs documents sont disponibles par tout le monde et tout le temps mis à jour. Les architectes doivent aussi indiquer les fins pour lesquelles sont préparés les documents. Il peut s'avérer difficile de mettre cela en place quand ces plans sont disponibles par tous et réutilisés pour enrichir la maquette. Cela peut poser d'autant plus problème lorsque ceux-ci sont en plus obligés de dater ces documents. La question peut se poser s'il est nécessaire de changer la date des documents chaque jour. Ces obligations peuvent rendre ou faire paraître très difficile et conflictuelle l'utilisation de TIC.

De plus, l'utilisation de TIC comme le BIM peut faire craindre des situations contraires au code de déontologie des architectes (avec la modification et la réutilisation des maquettes par d'autres partis prenants). En effet, celui-ci impose à l'architecte des mesures pour éviter l'utilisation de son sceau sans son autorisation et pour que l'information de ses documents ne puisse être modifiée ou mal utilisée.

Tous les documents préparés par les architectes et ingénieurs sont leur propriété. Ils sont des instruments afin de fournir leurs services, et ils demeurent leur propriété en tout temps. Or, des technologies comme le BIM amènent à l'utilisation des maquettes des architectes et ingénieurs par d'autres parties prenantes, comme le propriétaire, l'entrepreneur général ou les S-T. Ils n'auraient alors pas ce droit du fait de la propriété revenant aux professionnels émetteurs de ces documents.

Au contraire, certains contrats obligent les professionnels à céder leurs droits d'auteurs. Lors de l'utilisation d'une maquette numérique, le professionnel ne pourrait alors pas réutiliser des parties de sa maquette pour d'autres projets. Cette cession de droit peut faire craindre aux professionnels craignant pour leur expertise qui est en partie contenue dans les maquettes numériques. Cependant, les contrats interdisent aussi l'utilisation des différents documents pour d'autres projets. Ils garantissent la propriété des documents, modèles et rendus architecturaux. Cela permet de réduire la crainte des professionnels du vol ou de la perte de leurs expertises et techniques contenues dans leurs maquettes numériques. Enfin, la propriété des soumissions rendues à temps revient toujours au client pouvant alors faire craindre aux potentiels soumissionnaires.

La question de la propriété des documents est d'autant plus problématique que dans les contrats, la propriété des documents n'est pas violée par la présentation ou la distribution pour des fins ayant rapport à l'ouvrage. Cette question de propriété est alors floue. L'utilisation et la détention de copies par le maître de l'ouvrage ne sont possibles qu'après paiement et autorisation du professionnel. Alors, comment envisager un processus de collaboration autour d'une maquette numérique où le maître d'ouvrage et professionnels n'aurait pas le droit à des modifications, et/ou son utilisation nécessiterait le paiement et l'autorisation du professionnel ? Dans un processus de collaboration itératif réclamé par le PCI et le BIM, comment mettre en place ces paiements pour l'utilisation des documents sans que cela freine le processus ?

3.1.3 Connaissances et compétences

Les codes de déontologie et lois des professionnels réglementent les connaissances et compétences :

- d'après leurs codes de déontologie, les professionnels ne sont pas censés obtenir des mandats trop élargis, hors de portée de leurs compétences. Ils devraient alors être obligés de travailler avec d'autres firmes possédant les compétences requises. Ceci peut justifier

le refus des professionnels d'implanter de nouvelles technologies qui sont hors de portée de leurs compétences;

- l'utilisation de TIC peut entraîner une incertitude sur la demande d'honoraires où le temps consacré à l'exécution du mandat doit être déterminé. Les professionnels peuvent avoir du mal à quantifier le temps supplémentaire ou réduit dû aux premières utilisations des TIC. Cependant, la loi sur les ingénieurs et sur les architectes permettrait de passer outre cette difficulté en qualifiant cette utilisation d'exceptionnelle du fait de la nouveauté. Cette mission exceptionnelle peut alors faire l'objet d'honoraires supplémentaires.

3.1.4 Demandes pour soumission et honoraires

Tout d'abord, les méthodes de paiements des honoraires à forfait ou à pourcentages peuvent conduire à un travail « juste nécessaire » de la part des professionnels afin de pouvoir toucher leurs honoraires. Alors dans ce contexte les professionnels n'auraient pas à se soucier de la collaboration et à l'implantation de TIC. Comme vu dans la littérature, ceci prend en compte le fait que les professionnels n'ont pas conscience des gains que pourraient apporter les TIC dans leur travail. En outre, un travail minimal peut venir dégrader les relations et la collaboration entre les parties prenantes qui ne seraient pas satisfaites du travail rendu.

De plus, d'après le contrat entre le client et l'architecte de l'AAPPQ, les honoraires de l'architecte pour la phase travaux valent 40% de ses honoraires. Des honoraires supplémentaires sont prévus si les architectes doivent collaborer avec un confrère. Cependant, cette augmentation permet-elle l'utilisation de TIC ou au contraire, les TIC ne justifieraient pas cette augmentation, car la gestion de la coordination ne serait pas beaucoup plus compliquée? L'utilisation de TIC pourrait venir mettre fin à cela, les architectes pourraient donc être contre leur implantation.

D'autre part, les appels d'offres ne favorisent pas l'utilisation de TIC. En effet, les contrats sont donnés en fonction du nombre d'ingénieurs et architectes et de leur curriculum vitae. Ils

ne tiennent pas compte des nouvelles technologies à disposition. Les expériences des firmes et des chefs de projets ne sont pas tenues de montrer leurs expertises dans la gestion de TIC et la collaboration. Ainsi ces appels d'offres ne favorisent pas l'implantation des TIC chez les professionnels.

En outre, les demandes de soumissions ne favorisent pas l'interopérabilité. En effet, les logiciels disponibles dans l'industrie de la construction utilisent de multiples formats ne communiquant pas tous entre eux (Kamgang Happi et Morin Pépin, 2013). Ainsi, les plans sont souvent demandés en version papier et aucun format n'est imposé pour les documents électroniques. Lorsque les plans et documents sont demandés en version électronique, ils sont souvent demandés en PDF n'imposant donc aucune interopérabilité lors de leur conception et rendant impossible leur réutilisation dans un processus collaboratif. Finalement, lorsqu'un format modifiable est demandé pour les plans, celui-ci est toujours le format Autocad. Ce format propriétaire favorise l'interopérabilité, mais force les firmes à utiliser seulement certains logiciels réduisant ainsi le choix des outils des TIC. Cependant, certains contrats imposent une structure de conception dans le fichier informatique des plans favorisant alors l'interopérabilité et donc l'utilisation globale des TIC.

3.1.5 Répartition des missions et collaboration

Les documents légaux définissent aussi partiellement la répartition des missions et la collaboration entre les acteurs. Sur ces points, nous décrivons dans les parties suivantes, tout d'abord les freins à la collaboration, ensuite les incitatifs et enfin l'incertitude sur le rôle de l'architecte.

3.1.5.1 Freins à la collaboration

Tout d'abord, les architectes et ingénieurs possèdent dans leurs mandats des tâches qui se recoupent et sont parfois identiques, comme parfois la coordination. Ce recoupement peut engendrer des conflits entre ces spécialités se disputant pour défendre leurs rôles et responsabilités qui sont alors floues. Cela peut aussi conduire à des manquements où chaque

spécialité compte sur l'autre pour exécuter la mission. Lorsque les mêmes documents comme des conseils sur les travaux sont rendus par les deux professionnels, comment sont-ils gérés sur une plateforme collaborative? L'un peut attendre les travaux de l'autre pour le copier. Ou comment ceux-ci sont-ils pris en compte par le client lorsqu'ils divergent? Cela peut freiner les professionnels à implanter des TIC.

De plus, beaucoup de points sur la collaboration sont encore mal définis et sont source de potentiels problèmes et d'échecs des TIC dans l'exécution du projet. Par exemple, lorsque tous les intervenants sont responsables de leur échéancier à coordonner avec l'échéancier global comme dans le contrat de la société québécoise des infrastructures (SQI), comment se passe la mise à jour de l'échéancier? Dans le cas d'une utilisation de TIC avec un échéancier partagé et modifiable, comment assurer la coordination, qui pourrait le modifier?

D'autre part, la loi sur les ingénieurs crée des obstacles à la collaboration :

- elle oblige une répartition stricte et légale du partage des tâches et responsabilités lorsque l'ingénieur veut collaborer et partager ses honoraires. Ceci peut être un frein à une collaboration informelle qui est plus simple, productive et attrayante entre des ingénieurs;
- de plus, lorsqu'un client demande à un ingénieur d'examiner ou de réviser des travaux d'ingénierie qu'il n'a pas lui-même exécutés, ce dernier doit en aviser l'ingénieur concerné. S'il y a lieu, il doit s'assurer que le mandat de son confrère est terminé. Cette obligation est un frein au partage d'une maquette numérique (modèle 3D créé dans un processus BIM) où les différents professionnels peuvent collaborer et travailler sur le plan d'autres partis prenants. En obligeant des demandes d'autorisation aux ingénieurs ayant précédemment exécutés les travaux à réviser/examiner, ce travail collaboratif se complexifie et perd son avantage de facilité de modification et collaboration;
- enfin, l'article du code de déontologie permet aux ingénieurs de refuser des tâches contraires à ses principes ce qui pourrait peut-être servir d'excuse pour refuser une collaboration ou une mission.

Les informations transmises entre les acteurs se doivent d'être exactes. Cela peut faire craindre au client. Il peut avoir l'impression d'un meilleur contrôle et vérification de ses documents avec un système traditionnel. De plus, les ingénieurs ont le droit (avec un avis écrit) de refuser une mise à disposition de leurs documents au client. Ce droit peut freiner l'implantation des TIC entre ingénieurs et client. Enfin, de la même manière, le client peut avoir peur de ne plus contrôler les informations qu'il partage.

Certains points plus techniques des documents légaux peuvent freiner des TIC. Par exemple :

- les documents et informations qui doivent être transmis sont souvent définis sous le nom de « copies ». Ces copies papier, seuls documents officiels, peuvent alors diminuer les portées et les avantages d'une utilisation potentielle de TIC;
- les différentes communications sont souvent reconnues que si elles sont passées par écrit. Des communications simplifiées par des TIC ne seraient alors pas reconnues sur le plan légal. La portée de TIC serait alors réduite, ne favorisant pas leur implantation;
- les soumissions sont souvent demandées en version papier, empêchant donc la mise en avant de soumission utilisant des TIC comme le BIM;
- dans le contrat du CCDC sur le design-construction, les communications entre les professionnels et le client doivent passer par le design-constructeur. Ceci peut être un frein à l'utilisation de TIC favorisant les communications rapides et directes, car celles-ci ne passeraient plus forcément par le design-constructeur.

3.1.5.2 Incitatifs à la collaboration

Certains points des documents légaux favorisent la collaboration entre les acteurs. Tout d'abord, les ingénieurs et architectes sont obligés de reconnaître respectivement les autres ingénieurs et les autres architectes employés par le client et se doivent d'être impartiaux (pour les ingénieurs), objectifs et intègres (pour les architectes). De plus, l'architecte est obligé de subordonner son intérêt personnel à celui du client et doit « contribuer à l'avancement de la profession notamment par l'échange de ses connaissances et de son expérience et de son expertise avec le public et les autres architectes » (Québec (Province),

2015d). Ceci encourage donc la collaboration et donc les TIC, mais celles-ci se limitent entre : professionnels et client; architectes entre eux et ingénieurs entre eux. Le manuel canadien de pratique de l'architecture invite les architectes à la collaboration et place la communication au cœur du métier. Il les invite à s'équiper pour bien communiquer et collaborer. Il encourage donc les TIC. Dans les contrats, la collaboration des professionnels avec le client est bien souvent obligatoire, favorisant ainsi le choix d'utiliser des TIC.

Ensuite, dans certains contrats, les différents intervenants sont conjointement responsables des dépassements des coûts. Cette obligation favorise leur implication dans la synergie des solutions proposées notamment sur des plateformes comme le BIM.

En outre, l'obligation d'échange de documents peut être un incitatif à l'utilisation des TIC. En effet ces TIC permettent de satisfaire plus facilement aux différentes obligations :

- les professionnels doivent fournir au client des documents sous un certain délai ;
- le client doit fournir toutes les informations nécessaires aux différents professionnels;
- entre chaque étape (devis préliminaire, définitif...), le client doit valider les devis;
- dans le contrat recommandé de l'AFG entre l'ingénieur et ses S-T, le S-T peut demander des enquêtes, levées, essais et analyses supplémentaires. L'ingénieur a donc intérêt à lui transmettre le plus d'informations possible pour éviter une telle demande et donc partager ses documents, par exemple, sur des plateformes de collaboration.

3.1.5.3 Incertitude sur le rôle de l'architecte

Dans les contrats, c'est l'architecte qui coordonne l'ensemble des intervenants. Cela le place dans une position de force, supérieure aux autres freinant la collaboration comme le dit Yoo *et al.* (2006). Alors les acteurs n'accepteront peut-être pas l'utilisation de TIC imposées par l'architecte. De plus, cette position de coordinateur lui permettrait-elle d'avoir tout pouvoir de modification sur une maquette numérique?

3.1.6 Confidentialité des documents

Les documents du client dont les acteurs auront connaissance dans l'exécution du contrat sont confidentiels. Cette clause de confidentialité signée par les professionnels peut freiner l'utilisation de TIC où l'information peut être utilisée par un tiers ne respectant pas la clause de confidentialité. De plus, la méconnaissance des TIC donne une impression aux différents partis prenants de non-sécurisation des documents. Enfin, l'utilisation des TIC peut faire craindre un vrai problème pour retracer qui a enfreint la clause de confidentialité.

3.1.7 Composition des équipes de projet

La composition des équipes de projets est influencée, voire définie par les contrats. En effet, les professionnels choisis comme S-T par le soumissionnaire peuvent être refusés ou imposés par le client. Cela peut donc empêcher le soumissionnaire de constituer une équipe de S-T optimale qui serait enclin à utiliser des TIC du fait d'une certaine confiance existante.

Au contraire, dans certains contrats, les candidats peuvent former des consortiums de différentes spécialités. Ces consortiums permettent de former des équipes de projets se connaissant et utilisant les mêmes outils technologiques. De plus, il est plus facile pour un consortium de se mettre d'accord et collaborer pour la mise en place d'une technologie collaborative comme le BIM. Ainsi, cette possibilité favorise les candidatures proposant/possédant des expertises dans les nouvelles technologies. Néanmoins, certains contrats interdisent les consortiums. Cela ne favorise pas des entreprises collaborant entre elles avec des TIC.

D'autre part, les contrats ont aussi un contrôle sur les membres de l'équipe de projet. En effet, souvent, les chefs de projet des professionnels ne sont pas remplaçables sans l'avis du client. Les TIC ont donc plus de chance de rester en place si les cadres les appuyant restent.

Cependant dans le contrat de design-construction, le design-constructeur possède toutes les responsabilités. C'est donc intégralement le contrat entre le design-constructeur et ses S-T qui déterminent si la collaboration et les TIC seront favorisées ou non. Il peut alors procéder de manière très traditionnelle et ne pas encourager la collaboration et l'utilisation de nouvelles technologies. Le design-constructeur est juste tenu de collaborer avec le conseiller du maître d'ouvrage.

3.1.8 Points mal définis dans les contrats

Beaucoup de points des contrats ne permettent pas de bien définir les missions et sont sujets à questions. Par exemple, dans un contrat, la coordination entre les différents partis prenants est imposée, mais n'est pas codifiée. Ces manquements engendrent souvent des questionnements sur l'utilisation de potentielles des TIC. Par exemple, pour le BIM, les procédures et autorisations de changements et de partages des documents ne sont pas codifiées. Ce flou juridique (manque de clarté) peut être une source de futur échec de la mise en place de ces technologies.

3.2 Résultats des entrevues

Tableau 3.1 Répartition des rôles des personnes interrogées

Partis prenants	Nb de personnes interviewées
Client public	3
Architecte	3
Ingénieur	3
Entrepreneur général	3
Sous-traitant	2
Sous-consultant	2

Nous avons réalisé des entrevues avec 16 personnes. Le Tableau 3.1 donne la répartition des répondants dans les acteurs de la construction. Le type de projet dont s'occupent les répondants est donné en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-1). Nous n'avons pas

rencontré de clients privés dus à un refus de tous ceux contactés. Aucun gestionnaire de projets volontaire n'a été trouvé pour participer à l'étude. De plus, nous avons discuté informellement avec les surintendants 1 et 2 et le gérant de projet 3 des chantiers observés au sujet des nouvelles technologies.

3.2.1 Résultats qualitatifs

Les résultats qualitatifs de ces entrevues sont donnés dans les parties suivantes révélant les freins à l'implantation des TIC exprimés par les répondants.

3.2.1.1 Maturité des entreprises et freins

Pour la majorité des personnes interrogées, le principal frein exprimé est le coût économique des TIC. Ce coût comprend pour eux : le matériel, les logiciels, mais aussi la formation et la perte de productivité durant la courbe d'apprentissage des nouveaux outils.

Si aucun d'entre eux n'était un expert des TIC, les personnes interrogées avaient différents niveaux de maturité dans l'utilisation des TIC. Il a été observé que les personnes utilisant le moins d'outils de TIC étaient les personnes qui connaissaient le moins les possibilités offertes par les TIC. Cette ignorance des capacités et fonctionnalité des TIC entraîne chez ces personnes des craintes non fondées. Par exemple, les personnes ne connaissant pas les plateformes de partage ne savent pas que les accès peuvent être réglementés, mais aussi que des maquettes peuvent être données juste pour visualisation. Alors ces personnes craignent d'utiliser ces plateformes, car elles considèrent que tous les acteurs pourront prendre leurs documents et que cela pourra se retourner contre eux. Cette méconnaissance des TIC et notamment de leurs bénéfices est à l'origine de beaucoup de réticences à leur utilisation.

3.2.1.2 Freins du cadre légal

Les autres freins identifiés par les acteurs avaient trait à la collaboration. En effet, les responsabilités floues ou jugées mal réparties réduisent la confiance et la collaboration

réalisées avec les autres acteurs. Les professionnels sont craintifs à l'idée de partager leurs documents du fait de leurs responsabilités qui sont trop grandes ou floues. De plus, les clauses de confidentialités ou autres clauses de restriction d'utilisation des documents signés par les entrepreneurs généraux ne semblent pas réduire les craintes de certains professionnels. Ces craintes sont reliées aussi aux droits d'auteur de documents des professionnels.

D'autre part, beaucoup de points trouvés dans l'analyse des documents légaux ne semblent en réalité pas impacter directement l'implantation des TIC. D'une part, les personnes ne connaissent pas bien les contenus des contrats et des lois régissant les professionnels. D'autre part, la propriété des soumissions revenant au client n'est pas vue comme un frein par les répondants. Pour eux, le client ne se servira jamais de leur soumission. De plus, pour les entrepreneurs généraux, ces soumissions ne comprennent que des estimations et n'ont donc pas d'éléments sensibles comme des maquettes numériques. Enfin, pour les répondants, l'implantation des TIC n'est pas beaucoup influencée par les contrats.

Finalement, il est tout de même observé que les personnes rencontrées réalisant des projets en dehors du Québec semblent avoir un esprit collaboratif plus développé et sont moins effrayées par les responsabilités des différents acteurs. Ces personnes notent que les projets dans le reste du Canada ou aux États-Unis se passent souvent mieux. Selon les répondants, les équipes de projets sont plus stressées au Québec. Les dynamiques d'équipe et de projet y sont plus influencées par le coût des travaux (plus important au Québec que dans les autres provinces).

3.2.2 Réponses aux questions

Nous présentons dans cette partie les réponses des répondants aux questions du chercheur sur huit thèmes.

3.2.2.1 Collaboration réelle entre les acteurs

Le premier thème est la collaboration ressentie entre les acteurs. Les réponses sont comptabilisées selon le barème du Tableau 3.2. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-2). La collaboration semble faible et différente d'un acteur à l'autre.

Tableau 3.2 Barème des relations sur la collaboration ressentie

Points attribués entre deux acteurs	Type de réponse à la question : Comment collaborez-vous avec les autres acteurs ?
0	Ne travaille pas avec
1	Travaille quelquefois avec, mais il n'y a pas de collaboration
2	Il y a une certaine collaboration nécessaire, mais elle est mauvaise
3	Il y a une certaine collaboration nécessaire
4	Il y a une assez bonne collaboration qui peut mal se passer parfois
5	Il y a une bonne collaboration

3.2.2.2 Confiance entre les acteurs

Tableau 3.3 Points attribués pour la confiance entre les acteurs

Point attribué entre deux acteurs	Réponse aux questions : Faites-vous confiance aux autres acteurs et votre relation est-elle honnête? Êtes-vous prêt à partager vos documents sur des TIC?
0	Pas de confiance
1	Pas de confiance, mais obligé et ne veut pas partager sur les TIC
2	Pas de confiance, mais obligé d'utiliser les TIC
3	Confiance moyenne, mais ne partage pas les documents sur les TIC
4	Confiance moyenne et partage sur les TIC
5	Totale confiance et partage de tous les documents sur les TIC

La confiance entre les acteurs est un facteur de succès de la collaboration et de l'utilisation des TIC. De plus, le partage des documents sur les TIC est grandement relié à la confiance. Ainsi, ce partage est pris en compte dans l'évaluation de la confiance. Les réponses sur la confiance sont comptabilisées selon le barème présenté dans le Tableau 3.3. Les réponses par

répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-3). La confiance ne semble pas très élevée entre les acteurs.

3.2.2.3 Visions communes entre les acteurs

Pour analyser le partage de vision, buts et intérêts communs grâce aux observations, une liste de questions et réponses possibles est établie, comme nous le voyons dans le Tableau 3.4. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-4). Une matrice est alors obtenue donnant le nombre de visions communes entre les acteurs (moyenne des répondants par acteur) (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-5).

Tableau 3.4 Points attribués pour la vision commune

Questions posées?	Réponses possibles	Point attribué entre deux acteurs si même réponses
Quel est votre but dans le projet?	Qualité / Durabilité / Coûts	+1
Que pensez-vous des honoraires par rapport aux TIC?	Pas de problèmes / doivent être augmentés / Travail insuffisant au vu des honoraires	+1
Qui doit avoir le rôle du BIM manager?	Client / Architecte / entrepreneur général / Externe	+1
Y a-t-il des problèmes de responsabilités?	Non / les responsabilités doivent être transférées vers l'entrepreneur général / les professionnels	+1

3.2.2.4 Sentiment de partage d'objectifs

Maintenant, nous nous intéressons non plus à l'observation directe du partage de vision, mais au ressenti qu'ont les acteurs sur ce partage. En effet, il est important que les acteurs partagent des visions, mais ils doivent aussi le ressentir pour que cela soit efficace. Les réponses sont comptabilisées selon le barème donné dans le Tableau 3.5. Les réponses par

répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-6). Les sentiments de partage d'objectifs semblent très hétérogènes entre les acteurs.

Tableau 3.5 Points attribués pour le sentiment de partage de vision

Points attribués entre deux acteurs	Réponse à la question partagez-vous la vision et les mêmes objectifs/intérêt que les autres acteurs?
0	Pas de vision commune
1	Très peu en commun
2	Très peu en commun, mais on arrive à se rejoindre sur certains points
3	Même vision globale, mais les différences créent beaucoup de désaccords
4	Même vision globale, mais existe certains désaccords
5	Même vision

3.2.2.5 Moyens de communication

Nous répertorions les moyens de communication que veulent utiliser les acteurs entre eux. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-7). Les réponses sont comptabilisées selon le barème donné dans le Tableau 3.6. La relation donne alors un pointage de 0 à 5 en fonction du nombre de moyens de communication communs voulu par les acteurs (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-8). Nous remarquons tout d'abord qu'il existe un consensus dans l'utilisation du téléphone qui est privilégié par tout le monde. Tous les répondants affirment qu'il est plus facile de communiquer avec des appels que des communications moins directes.

Tableau 3.6 Points attribués aux acteurs pour les moyens de communication

Points attribués entre deux acteurs	Moyens de communication souhaités par les acteurs pour communiquer avec les autres acteurs :
+1	Courriels
+1	Téléphone
+1	Plateformes de partage simples (FTP)
+1	Plateformes de partage sophistiquées
+1	Autres TIC

3.2.2.6 Efficacité des communications

Nous nous intéressons maintenant à la vision qu'ont les acteurs sur la qualité de leurs communications avec les autres. Les réponses sont comptabilisées selon le barème donné dans le Tableau 3.7. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-9). Les répondants pensent avoir en général des bonnes communications.

Tableau 3.7 Points attribués sur l'efficacité des communications

Points attribués entre deux acteurs	Réponse à la question : Les moyens de communication avec les autres acteurs sont-ils efficaces ?
0	Impossible de communiquer
1	Permet de communiquer au minimum
2	Communication passable
3	Communication correcte à améliorer
4	Bonne communication, mais améliorable
5	Très bonne communication (n'exprime pas d'amélioration possible)

3.2.2.7 Formats échangés

Nous étudions maintenant les formats utilisés pour partager les documents et notamment les plans. Les réponses sont comptabilisées selon le barème donné dans le Tableau 3.8. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-10). Le pointage suit une logique d'utilisation des formats en pyramide. En effet, les observations ont montré que les acteurs utilisaient tous les PDF. Ce format est aussi bien utilisé pour les plans que pour les documents. Ensuite, les acteurs utilisant Revit ou le format IFC utilisent aussi les autres formats. Cela est dû à la nécessité de transférer les documents à tous les acteurs même si ceux-ci n'utilisent pas des logiciels BIM ou si les acteurs ne veulent pas partager les plans dans un format modifiable. Peu d'acteurs utilisent le BIM et encore moins partagent leurs maquettes numériques.

Tableau 3.8 Points attribués sur les formats échangés

Points attribués entre deux acteurs	Formats utilisés pour partager les documents avec les autres acteurs
1	PDF
2	PDF + Autocad
3	PDF + Autocad + Revit
4	PDF+ Autocad + Revit + IFC

3.2.2.8 Vision de l'interopérabilité

Nous nous intéressons maintenant à la vision de l'interopérabilité entre les acteurs. Les réponses sont comptabilisées selon le barème donné dans le Tableau 3.9. Les réponses par répondant sont données en annexe (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-11). Globalement, les répondants ne voient pas beaucoup de problèmes d'interopérabilité.

Tableau 3.9 Pointage pour la vision de l'interopérabilité

Points attribués	Réponse à la question : Les moyens de communication avec les autres acteurs sont-ils efficaces ?
0	Pas d'interopérabilité possible
1	Interopérabilité minimale
2	Interopérabilité difficile
3	Interopérabilité sous condition
4	Bonne interopérabilité avec ajustements nécessaires
5	Interopérabilité sans faille

3.2.3 Entretiens au sujet des nouvelles technologies

En fin de projet des cas d'études de chantiers, nous avons discuté informellement avec les surintendants (1 et 2) et le gérant de projet (3) au sujet des nouvelles technologies dans les projets de construction. Plusieurs points ressortent de ces discussions :

- d'après les trois répondants, les nouvelles technologies comme le *Building Information Modeling* (BIM) sont bénéfiques. L'utilisation du BIM et de plateformes de partage permettrait selon eux une meilleure coordination, une réduction du temps de réponse des professionnels et finalement la diminution et accélération des demandes de changements (problème causant le plus de délais selon eux);

- les surintendants 1 et 2 affirment que les technologies simplifient les communications. Ils prennent comme exemple leur cellulaire leur permettant de prendre et envoyer directement des photos et de tout le temps rester connecté à leurs courriels. De plus, l'utilisation de plateformes de partage permettrait de ne plus avoir des S-T sans plans mis à jour. Cependant, le chef de projet 3 exprime sa résistance avec le tout technologique. Pour lui, il est plus facile de donner des cartables de plans aux surintendants par exemple;
- selon le surintendant 1, la visualisation 3D faciliterait aussi la mise en place de la mécanique et permettrait d'anticiper les conflits de coordination de ces systèmes. Cela serait d'autant plus utile pour le gérant de projet et le surintendant qui ne sont pas spécialistes de la mécanique. Pour le gérant de projet 3 et le surintendant 2, la visualisation 3D n'est pas utile pour les ouvriers qui sont très compétents pour lire les plans 2D.

Malgré ces avantages donnés par les répondants, il semble que l'implantation des technologies soit difficile à l'heure actuelle. Selon les trois répondants, les ouvriers les plus âgés ne veulent pas entendre parler des technologies. Certains S-T ne veulent même pas utiliser les courriels d'après les répondants. Cependant, cela est amené à changer. Les surintendants 1 et 2 sont eux-mêmes demandeurs de ces technologies et pensent que les nouveaux travailleurs seront plus à l'aise. Le surintendant 2 met cependant en garde contre l'utilisation de tablette qui n'est pas adaptée à l'utilisation sur le chantier par les travailleurs qui ne seraient pas soigneux.

3.3 Résultats des observations de réunions

Nous avons assisté à 13 réunions organisées sur le BIM. Six de ces réunions se sont tenues dans le cadre d'un « comité BIM » regroupant les différentes associations des partis prenant de la construction, un client public, un représentant du gouvernement et sont organisées par des universitaires. Ce comité a pour but de répondre aux questions posant problème pour l'implantation du BIM avant que celui-ci ne soit implanté par le client public. Ce groupe de travail a par exemple participé à l'élaboration et la validation d'un processus traditionnel

avec l'utilisation du BIM. Quatre sur les treize réunions réunissaient des entrepreneurs afin d'être consultés sur les questions soulevées par ce comité BIM. Une réunion fut l'occasion d'une rencontre de l'ensemble élargi des acteurs de la construction. Deux autres rencontres ont été faites entre clients publics et entrepreneurs généraux. Du fait de la participation à des réunions organisées par les entrepreneurs généraux, les données sont donc plus complètes pour l'avis des entrepreneurs généraux.

Les rencontres du comité BIM réunissant les différentes associations professionnelles se sont bien déroulées. Les participants sont impliqués et volontaires dans ce projet visant à faciliter l'implantation du BIM dans l'industrie de la construction québécoise. Cependant, des rivalités ont été ressenties par le chercheur. Par exemple, les entrepreneurs semblent avoir un fort avis défavorable des professionnels (Architectes et ingénieurs). Au contraire, les professionnels c'est-à-dire les architectes et ingénieurs semblent toujours du même avis lors de ces réunions. Ils parlent souvent les uns pour les autres et ont créé un comité commun pour décider de leur position. Les différents points de discussions sont résumés dans le Tableau 3.10, le Tableau 3.11 et le Tableau 3.12. Les cases sont colorées en vert lorsque les acteurs sont d'accord et en rouge lorsqu'il y a un désaccord au sein d'un même acteur.

En plus, nous décrivons un point trop complexe pour être inscrits dedans. Dans le cadre de la modélisation dans un PCT, pour l'approbation de la maquette de construction, le client souhaite que les professionnels la valident par rapport à la conception. Les professionnels ont exprimé leurs craintes vis-à-vis de la validation d'une maquette. Ils ne se sentent pas encore assez compétents pour prendre la responsabilité de valider une maquette qui contient énormément d'informations. De leur côté, les entrepreneurs généraux voient dans cette proposition un déséquilibre entre eux et les professionnels. Ils ne comprennent pas pourquoi les professionnels ne sont pas tenus de rendre une maquette intègre contrairement aux entrepreneurs généraux (Il n'y a pas d'obligation sur le contenu de la maquette de conception des professionnels contrairement à la maquette de construction des entrepreneurs généraux).

Tableau 3.10 Comparaison des positions des acteurs

Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs
Pensent qu'il faut choisir le mode de construction en fonction de chaque projet.			BIM avantageux pour le client et l'EG, pas pour les professionnels. Préférence pour le Design Build. Les professionnels veulent garder le mode traditionnel du fait de leurs honoraires. <ul style="list-style-type: none"> • importance de changer la mentalité des professionnels (ex : il n'y a plus de dessinateur exécutant les ordres des concepteurs); • la baisse de qualité des documents contractuels vient de la perte de la collaboration dans les projets. Les professionnels ne devraient pas demander d'honoraires supplémentaires pour la collaboration du BIM.
Accord avec les EG.			Le décret sur les honoraires des professionnels change le comportement en mode traditionnel.
Accord avec les EG.			Le client doit à payer le « premium » que constitue l'utilisation du BIM mais aura un retour sur investissement.
Inquiet de la quantité d'EG pour un projet de 25 MS en BIM.			Une quantité raisonnable d'entrepreneurs répondrait à un projet de 25 MS demandé en BIM.
			Si appel d'offre en 3D → payer les soumissionnaires.
Accord avec les EG.			Des projets adaptés sont cruciaux pour mettre en place le BIM et former tout le monde.
			Certains pensent qu'ils ne se passeront pas du 2D (petits entrepreneurs contrairement aux gros plus ouverts au BIM).
			Nécessité de repenser l'industrie. Le BIM met en avant le manque de confiance entre les acteurs et donc personne n'est prêt à y aller.

Tableau 3.11 Comparaison des points de vue sur la cession de la maquette

Clients publics	Architectes et ingénieurs	Entrepreneurs
<p>La cession des maquettes arrivera plus tard.</p> <ul style="list-style-type: none"> • (en mode traditionnel) réclamations sur des défauts de la maquette. L'estimation est aux risques et périls de l'EG; • maquette est classée dernière dans l'ordre de priorité des documents contractuels. Mais cela sera amené à évoluer. 	<p>(En mode traditionnel) Peur de passer les maquettes (Pas capable de garantir l'intégralité d'un modèle). Mais plus tard quand ils auront acquis l'expertise.</p>	<p>(En mode traditionnel) Veut avoir l'intégralité des maquettes avec toutes utilisations possibles. Veut tout de suite utiliser la 6D. Certain veulent passer la maquette au sous-traitant d'autres non.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (en mode traditionnel) Peur de voir les erreurs de la maquette arriver dans le public. Les EG doivent signer un document restreignant les usages et ayant une clause de confidentialité. 	<p>(En mode traditionnel) Peur de voir les erreurs de la maquette arriver dans le public. Les EG doivent signer un document restreignant les usages et ayant une clause de confidentialité.</p>	<p>(En mode traditionnel) Veulent une maquette utilisable de la part des professionnels. Mais ils ne font pas confiance au contenu de la maquette.</p>
<p>D'accord pour la clause de confidentialité.</p>	<p>(En mode traditionnel) Peur de voir les erreurs de la maquette arriver dans le public. Les EG doivent signer un document restreignant les usages et ayant une clause de confidentialité.</p>	<p>D'accord pour la clause de confidentialité.</p>
<p>Accord sur l'utilisation de la maquette de conception comme base pour la maquette de construction (ne pas refaire le travail de modélisation fait en conception).</p>	<p>Accord sur l'utilisation de la maquette de conception comme base pour la maquette de construction (ne pas refaire le travail de modélisation fait en conception).</p>	<p>Accord sur l'utilisation de la maquette de conception comme base pour la maquette de construction (ne pas refaire le travail de modélisation fait en conception).</p>
<p>Addenda avec mise à jour de la maquette.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • pensent impossible la mise à jour des maquettes pour addendas. Les changements seront faits pour les plans définitifs; • le passage à la 2D à chaque étape fait perdre du temps et annule les avantages du BIM. 	<p>Addenda avec mise à jour de la maquette. Les changements seront faits pour les plans définitifs.</p>
		<p>Ajout de responsabilités non reconnu (finir la conception, coordination et finaliser la maquette pour l'opération).</p>

Tableau 3.12 Comparaison des points de vue les points techniques

	Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs
L0D				Un désaccord existe entre les EG sur le niveau de détails reçu de la part des professionnels.
Gestion des maquettes	Nécessité de préciser les niveaux de détails demandés à chaque étape et pour chaque discipline. Attention à ne pas en demander trop, cela serait contreproductif (Pas devenir des modélisateurs plus que des concepteurs). Semblent demander une modélisation assez poussée dès les premières étapes, préliminaire.	Avertissent sur le fait qu'il ne pas demander trop de précision en concept et préliminaire.		Veulent une seule maquette (ne pas faire le travail 2 fois).
Format	D'accord, mais propose un concept faisant craindre une trop grande demande de modélisation détaillée. (En mode traditionnel) Soumission avec maquette au format IFC pour information puis en format natif après signature.	Il ne faut pas gérer tous les conflits dans les modèles, certains sont inutiles. Il ne faut pas devenir des modélisateurs plus que des concepteurs.		
Règlements	Ne veut pas alourdir les processus (doit respecter un retour sur investissement).	La conception 3D est très longue et pas exempte d'erreurs. Les personnes n'ont pas les compétences pour réaliser tout ce qui se faisait en 2D en 3D.		Le BSDQ implique le risque qu'un soumissionnaire « oublie » de modéliser la maquette et soit engagé.
Standardisation	Régie par des lois qui les bloquent dans leur volonté de changement. Volonté d'un plan de gestion BIM standardisé et inclus dans les appels d'offres. Nécessité de bien encadrer la responsabilité professionnelle découlant de l'usage des maquettes. Sont ouverts à la standardisation commune de la modélisation.	Attention à ne pas alourdir les processus existant, notamment dans les petits projets. Ne savent pas comment faire pour signer les maquettes.		Ne veut pas imposer de standardisation arbitraire et se tourne donc vers les professionnels pour en parler.

3.4 Résultats des observations sur chantier

Nous présentons dans cette partie les résultats des observations réalisés sur quatre chantiers étudiés.

3.4.1 Présentation générale des chantiers observés

Tableau 3.13 Résumé des cas d'observations

Cas	Description sommaire	Budget	Durée contractuelle des travaux	Début d'observations par rapport au début des travaux	Durée de l'observation
1	Agrandissement d'un bâtiment	~ 5 M\$	8 mois	Fin du 3 ^e mois	6 mois
2	Réhabilitations de bureaux	~ 5 M\$	5 mois	1 ^{er} mois	6 mois
3	Rénovation d'un de bureaux	~ 5 M\$	4 mois	3 ^e mois	3 mois
4	Réaménagement de bureaux	~ 0.5 M\$	2 mois	1 ^{er} mois	15 jours

Nous avons observé 4 chantiers. Nous résumons les cas d'étude dans le Tableau 3.13. Les données obtenues par observation pendant la période de test ne sont pas prises en compte pour la présentation des résultats. L'analyse des résultats quantitatifs ne prend pas en compte les observations faites après la livraison partielle des chantiers, dues à la cohabitation des travaux avec les occupants. L'échéancier résumant les observations est représenté Figure 3.1.

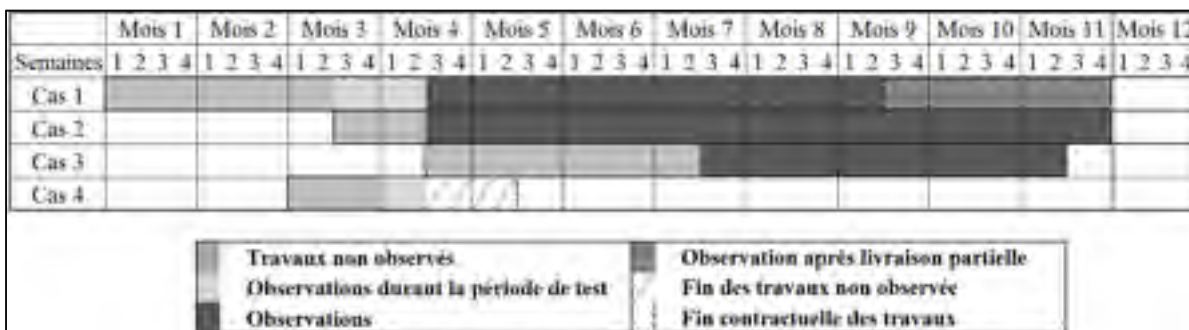


Figure 3.1 Échéanciers des observations

Nous avons établi avec les différents surintendants les possibilités pour les visites du chercheur. Pour ne pas trop déranger le surintendant, il est convenu que le chercheur ne se rende pas sur le chantier tous les jours. Une visite journalière est chronophage et ne semble pas donner de meilleures observations. Le surintendant est moins réceptif aux questions et la productivité enregistrée est imprécise. Le chercheur essaie dans la mesure du possible de planifier ses visites aux heures où le surintendant est le plus disponible. Ainsi, les observations sont réalisées généralement en milieu et fin de matinée.

Le Tableau 3.14 donne les données relatives aux observations réalisées sur les différents chantiers. Les observations ont donc nécessité un total d'environ 223 heures de visite sur les chantiers. En plus de ces observations, deux journées complètes ont été observées dans le but de reporter la gestion de routine du surintendant qui n'est pas reportée par celui-ci à chaque visite.

Tableau 3.14 Statistiques sur les observations faites sur les chantiers

Cas	Horaires moyens	Durée moyenne	Fréquence par semaine	Nombre total de visites	Durée totale des visites
1	11h	2h10min	2	52	112h50min
2	9h30	1h43min	2	48	82h34min
3	10h	1h30	1.5	18	27h
4	12h	20min	1	3	1h

3.4.2 Mise en place du processus d'observation pendant la période de test

3.4.2.1 Résultats de la période de test

La période de test a été réalisée pendant 4 semaines (soit 13 visites) sur les cas 1 et 4.

Ces premières observations ont permis :

- l'ajustement du vocabulaire utilisé afin que les surintendants comprennent bien les informations demandées;
- l'ajustement des catégories en fonction des réponses;
- la suppression d'une fiche de note redondante (remobilisations);

- la suppression des feuilles de réunions de coordination prévues (les entrepreneurs généraux mettant à disposition les comptes rendus de réunions);
- la réalisation de l'annotation de l'avancement sur plan au lieu de prise de données numériques. Ainsi, une prise de photo n'a pas été faite puisqu'elle aurait été redondante avec les plans.

Les grosses modifications, telles que le changement de méthode de relevé de l'avancement et de la non-prise des communications entre S-T, sont dues à l'impossibilité de questionner les S-T après demande au surintendant.

3.4.2.2 Ajustement de l'analyse de la productivité

Comme vu dans la littérature (Paragraphe 1.9, p38), la mesure de la productivité est difficile et nécessite beaucoup de ressources. En outre, comme écrit précédemment, la productivité n'a pas pu être relevée par le questionnement des S-T ou du surintendant. Seul l'avancement observé et reporté sur les plans est donc obtenu. Les S-T dont les tâches sont complexes et leur avancement difficile à quantifier sont identifiés. Notamment, l'avancement des S-T mécanique est particulièrement difficile à évaluer ayant des tâches très diversifiées (Exemple : pose de tuyaux de toute forme dans des conditions très différentes et d'autres appareils plus complexes). Cette complexité se retrouve d'ailleurs dans le grand nombre de tâches pour leur métier dans les RS Mean (2015). Ainsi, il apparaît que l'étude de leur avancement n'est pas adaptée. Les S-T en peinture, systèmes intérieurs, maçonnerie, céramique et recouvrement de sol sont alors sélectionnés afin d'évaluer leur avancement de façon numérique.

L'avancement de ces corps d'état est évalué grâce aux plans annotés. L'évaluation est réalisée grâce à des maquettes numériques des bâtiments réalisées par le chercheur. Ainsi, un avancement en m² est obtenu pour chaque date de visite du chantier et chaque S-T. Ensuite, nous réalisons une division de cet avancement par les jours-personnes entre les visites. Ceci

nous donne une productivité par ouvrier et par jour à chaque visite (n). Le calcul est présenté dans l'équation (3.1).

$$\begin{aligned}
 & \textit{Productivité entre visite } n \textit{ et } n + 1 & (3.1) \\
 & = \frac{\textit{Avancement entre visite } n \textit{ et } n + 1}{\textit{Jours_personnes entre visite } n \textit{ et } n + 1} \\
 & = \frac{\textit{Unités de travail (m}^2\textit{)}}{\textit{Jours.personnes}}
 \end{aligned}$$

Les S-T de systèmes intérieurs ont plusieurs équipes. Il existe une équipe de pose de gypse, une de pose de montants, une de tirage de joints et une de montage de plafonds suspendus. Pour calculer l'avancement du S-T en système intérieur, nous devons sommer l'avancement de ses différentes tâches. Cependant, pour obtenir une productivité qui ne varie pas selon les activités réalisées, la différence de productivité entre les différentes tâches est considérée. Pour cela, les productivités répertoriées dans RS Means (2015) sont prises en compte (Voir ANNEXE VIII, Tableau-A VIII-1). Nous choisissons arbitrairement de normaliser les avancements par rapport à la productivité de pose de montants métalliques. Pour chaque autre tâche, nous calculons un facteur multiplicatif d'avancement en prenant le rapport de la productivité RS Mean de cette tâche sur la productivité RS Means de la pose de montants métalliques. L'avancement du S-T de système intérieur est calculé en sommant les avancements des différentes tâches pondérés par les facteurs multiplicatifs comme expliqués dans l'équation (3.2).

$$\textit{Avancement calculé} = \sum_k \alpha_k \cdot \textit{Avancement observé}_k \quad (3.2)$$

$$\textit{Avec } k \textit{ les différentes tâches et } \alpha_k = \frac{\textit{Prod_RSmeans}_k}{\textit{Pro_RSmeans}_{\textit{Montants métalliques}}}$$

Dans les parties suivantes, pour chaque étude de cas, nous présentons la description du projet, les résultats qualitatifs puis les résultats quantitatifs. Pour chaque évènement, le

nombre total, le taux en fonction de l'ampleur des travaux, la répartition par catégories puis la temporalité sont étudiées.

3.4.3 Résultats de l'étude de cas 1

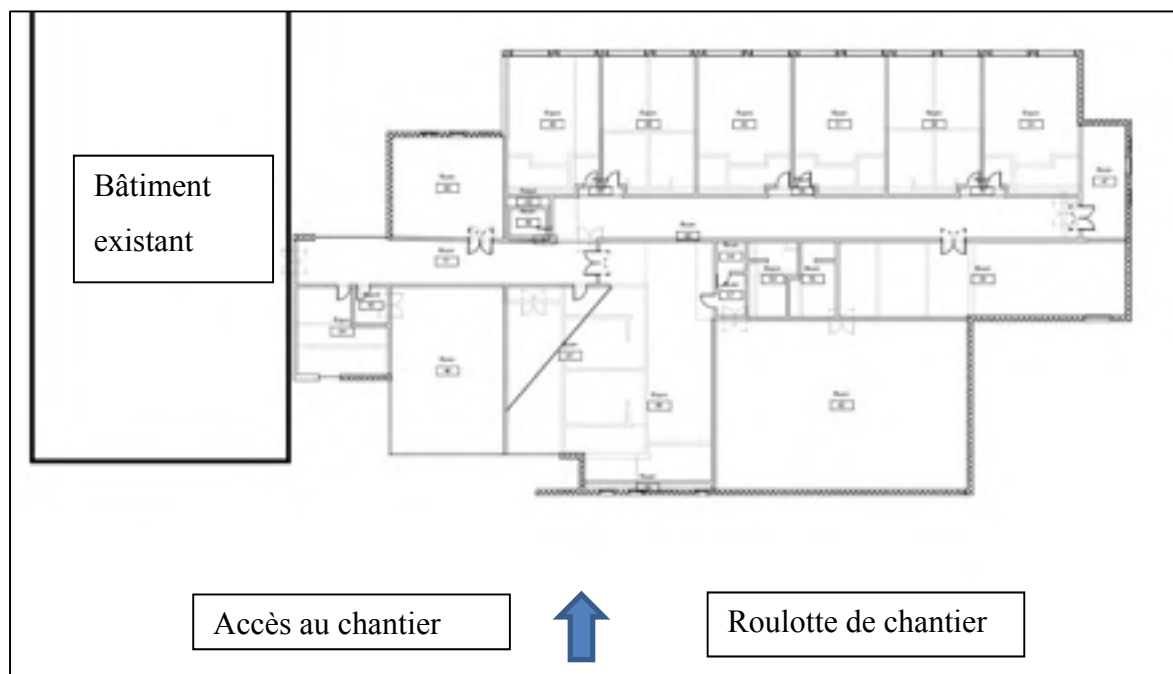


Figure 3.2 Plan schématique du chantier de l'étude de cas 1

Pour le cas 1, les travaux consistent en l'agrandissement d'un bâtiment existant sur 2 étages. Le contrat s'élève à un montant de plus de 5M\$ sous contrat forfaitaire public. Le plan du chantier est donné Figure 3.2 et l'étendue des travaux est donnée par les valeurs du Tableau 3.15. Les travaux sont prévus contractuellement sur 8 mois. Les observations se concentrent sur les travaux des S-T de second œuvre, ont commencé à la fin du troisième mois et ont duré 6 mois. Les 21 différents S-T observés sont donnés en annexe (Voir ANNEXE V, Tableau-A V-2). D'autres S-T étaient présents pendant les observations, mais sont en dehors de la portée des observations (Structure et aménagement extérieur) (Voir ANNEXE V, Tableau-A V-1). Les échéanciers planifié et réel sont donnés en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-1).

Tableau 3.15 Étendue des travaux (cas 1)

Type de surface	Surface (m ²)	S-T concernés
Surface de plancher	2661	
Céramique	773	Céramique
Sols souples	2194	Sol souple
Murs extérieurs	748	Système intérieur, maçon, uréthane
Divisions	2194	Système intérieur et peintre
Mur de brique	278	Maçon
Mur rideau	459	Vitrier
Faux plafonds	2200	Système intérieur

3.4.3.1 Résultats qualitatifs

Nous écrivons dans cette partie les résultats qualitatifs sur ce cas d'étude. Tout d'abord, la livraison du bâtiment ne pouvant être repoussé due à sa fonctionnalité, les pressions pour finir à temps étaient plus importantes que sur les autres cas. Ensuite, plusieurs remarques peuvent être faites à partir des observations :

- sur la fin des travaux, après la livraison, beaucoup de S-T sont amenés à travailler en même temps sur le chantier. Ajouté aux contraintes imposées par l'habitation des locaux, le surintendant se dit débordé. Il n'a malheureusement pas le temps de bien répondre au chercheur. Nous notons cependant que la multiplicité des S-T et des tâches complexifie son travail de gestion. De plus, le surintendant exprime sa difficulté à faire mobiliser les S-T qui n'ont plus beaucoup de travaux à effectuer (finitions et déficiences) (H2, H3);
- le S-T de systèmes intérieurs emploie lui-même des S-T pour ses différentes équipes. Cette sous-sous-traitance ne semble pas influencer les mobilisations (H2).

Plusieurs points sont retirés des discussions avec le surintendant :

- il y a très peu d'assimilation pour les ouvriers. Le surintendant estime l'impact de l'assimilation à une perte de temps d'une à deux heures par personne et par chantier. Cette assimilation peut dépendre des spécialités selon le surintendant et les observations (H1);
- la gestion par le surintendant des ouvriers de S-T et de l'entrepreneur général n'est pas différente, que ce soit en termes de gestion ou en délais de mobilisation (H2).

- la mobilisation est plus compliquée lorsque l'ampleur des travaux des S-T est faible (H2);
- les plus gros délais auxquels font face les travaux sont les attentes de demandes de changements et des réponses aux questions de la part des professionnels. Le chemin critique est alors déterminé par les S-T ayant des travaux importants (H2);
- les S-T ne respectent pas toujours la juridiction des métiers pour effectuer des petites tâches connexes à leur métier. Les S-T de mécaniques réalisent souvent eux même des ouvertures dans le gypse (H5);
- d'après le surintendant, la gestion et la réussite des chantiers dépendent fortement du surintendant (H3);
- les accueils sécurité durent de 15 à 20 minutes quel que soit le nombre d'ouvriers (H4);
- par manque de temps du surintendant, sa gestion de routine n'est pas reportée au chercheur (H3);
- pour lui, le chantier est trop important pour avoir des effets majeurs de la juridiction des métiers;
- le BSDQ serait responsable du fait que certains S-T sont « mauvais » et causent des erreurs et retards.

D'autre part, avant que le surintendant n'interdise le questionnement des S-T, ceux-ci ne se sont pas révélés fiables dans leurs réponses.

Enfin, les discussions avec le gérant de projet ont souligné plusieurs points :

- l'échéancier de référence n'est pas utilisé. Il est fait avec très peu d'informations au début du projet et n'est pas mis à jour (H2);
- seule une liste tâches aux deux semaines est utilisée pour la planification des travaux (H2);
- pour lui, le chantier est trop important pour avoir des effets majeurs de la juridiction des métiers.

En enlevant la période de test et les observations après livraison, nous utilisons donc les données reportées sur 37 visites sur 52 pour les résultats quantitatifs présentés dans les parties suivantes.

3.4.3.2 Communications (H3)

Les relevés des différentes communications rapportées par les surintendants ont été rassemblés dans les tableaux disponibles en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A III-3). Au total, 116 communications ont été reportées soit en moyenne 0.92 communication par jour. Afin d'étudier la relation entre le nombre de communications et l'ampleur des travaux des S-T, nous comparons le nombre de communications de chaque S-T avec leurs jours-personnes, reportés dans la Tableau 3.13.

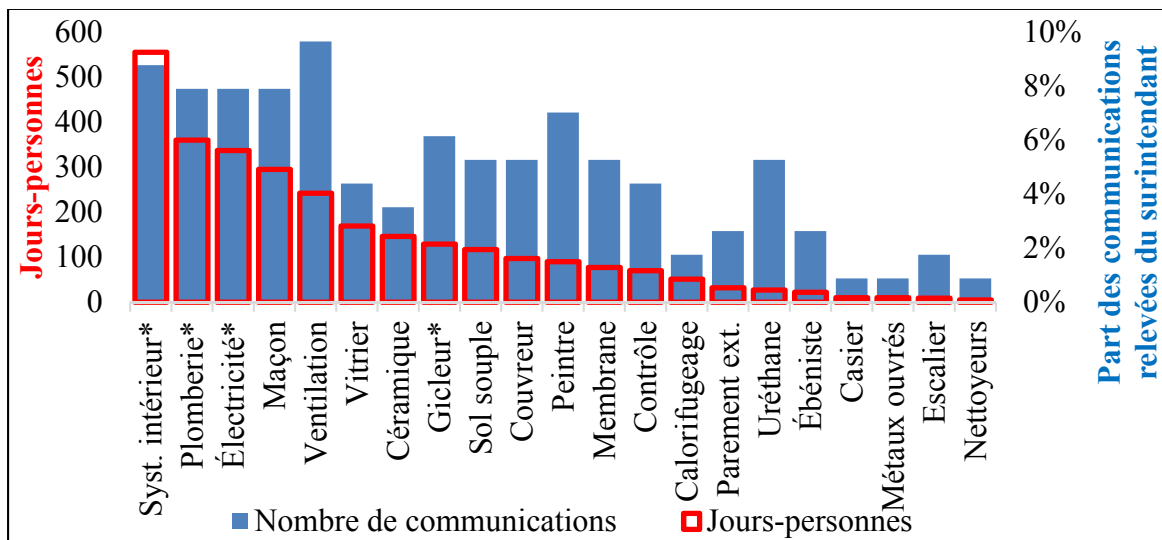


Figure 3.3 Graphique du nombre de communications du S-T classé en fonction de l'ampleur du S-T (cas 1)

Nous remarquons que la répartition des communications en fonction de l'ampleur des travaux des S-T n'est pas égale. Les S-T avec moins de travaux reçoivent globalement moins de communications. Cependant, cette diminution du nombre de communications n'est pas proportionnelle à la diminution de l'importance de leurs travaux. Nous regardons alors la relation entre le taux de communication et l'ampleur des travaux (en jours-personnes),

présentée sur la Figure 3.4. Ainsi, les S-T avec le plus petit taux de communications sont ceux avec les travaux les plus conséquents. Nous obtenons ainsi une relation entre le nombre de communications et l'ampleur des travaux des ST avec un coefficient de corrélation élevé entre les points expérimentaux et la régression (0.78).

Les communications sont attribuées selon trois causes expliquées dans la partie 2.1.1.2 : 50% pour des problèmes dus au S-T causant des délais dans les travaux; 40% pour planification des travaux des S-T; et 10% pour des informations ne concernant pas les deux autres causes. Chaque communication a aussi été classée si elle fut réussie ou non, comme expliquée dans la partie 2.1.1.2. Sur le total des communications, nous observons qu'elles sont principalement réussies (58%).

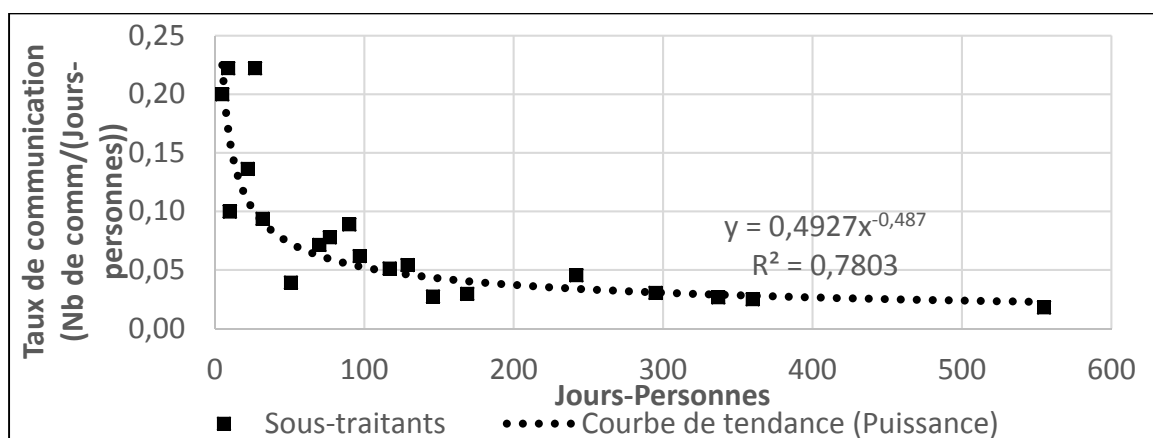


Figure 3.4 Taux de communication en fonction des jours-personnes (Cas 1)

Pour chaque S-T, nous regardons à quel moment des travaux les communications sont réalisées. Les résultats moyennés de tous les S-T indiquent que 79.3% des communications sont réalisées entre la première et la dernière mobilisation contre 8.52% et 10.69% respectivement avant la première mobilisation et après la dernière mobilisation.

3.4.3.3 Gestions (H3, H4)

Les relevés des différentes gestions des S-T par les surintendants ont été rassemblés (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-5). Le nombre total de gestions rapportées est de 95 soit une faible moyenne par jour de travail de 0.94. La relation entre le taux de gestion et l'ampleur des travaux (en jours-personnes) est présentée Figure 3.5. Nous observons que les S-T ayant le plus grand taux de gestion sont globalement ceux ayant le moins de travaux à réaliser. Une relation entre le taux de gestion et l'ampleur des travaux des ST est obtenue avec un coefficient de corrélation élevé entre les points expérimentaux et la régression (0.67).

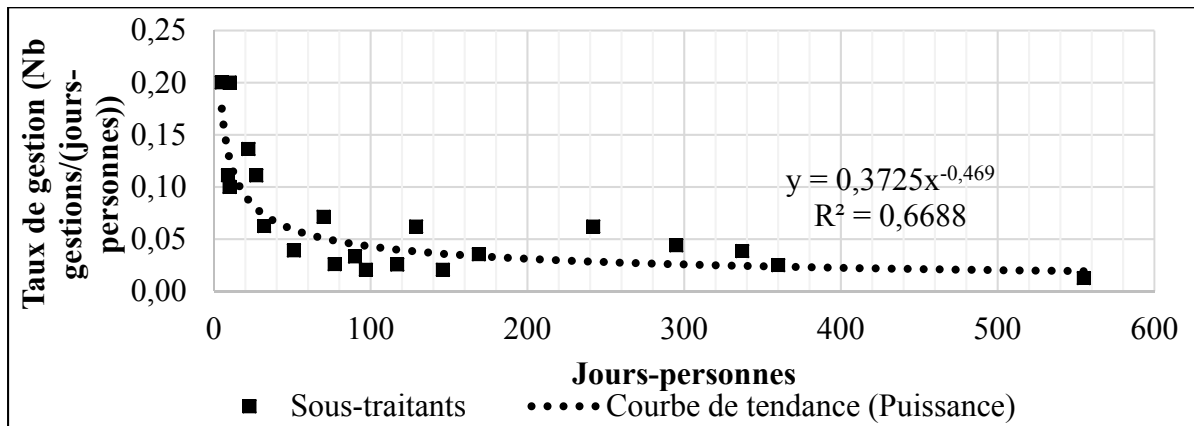


Figure 3.5 Taux de gestion en fonction des jours-personnes (Cas 1)

Comme expliqué en paragraphe 2.1.1.2, les gestions sont attribuées à 5 catégories et à la sur-sous-traitance ou non. La Figure 3.6 donne la répartition des gestions rapportées selon ces catégories. Les gestions réalisées par les surintendants auprès des S-T semblent donc majoritairement dédiées à la planification et coordination des travaux. Une part non négligeable des gestions réalisées proviennent de la gestion de la sécurité des S-T. Cette gestion est majoritairement due aux accueils sécurités. Peu d'autres gestions de la sécurité ont été observées. De plus, une grande partie des gestions est attribuée à la sur-sous-traitance (49%). Finalement, la temporalité des gestions est recueillie. Les gestions sont faites en majorité entre la première et la dernière mobilisation (83.33%).

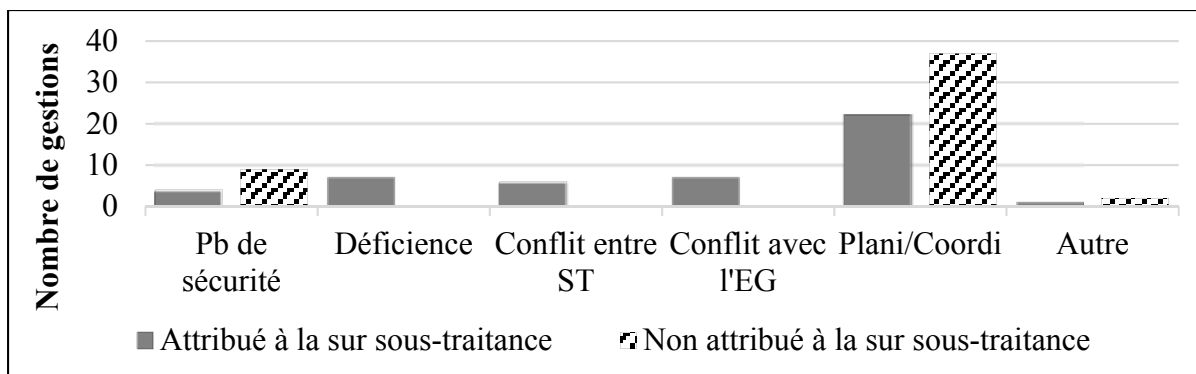


Figure 3.6 Répartition des gestions classées selon leur cause (Cas 1)

3.4.3.4 Déficiences (H5)

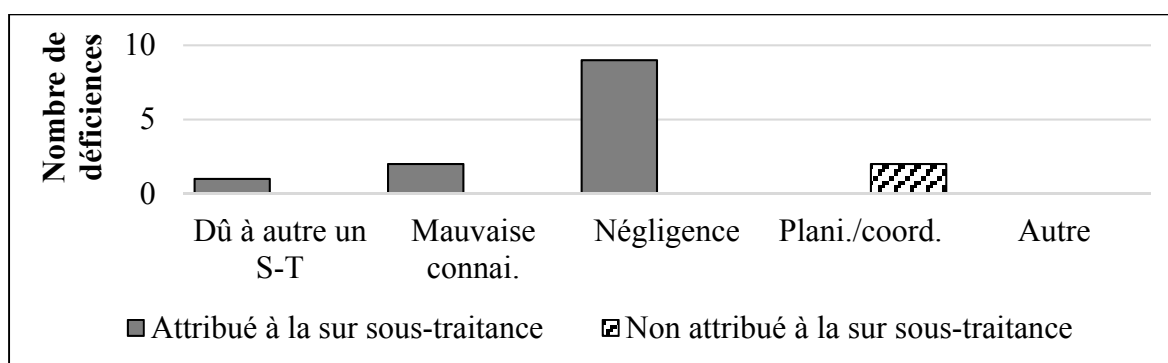


Figure 3.7 Répartition des catégories de déficiences (Cas 1)

Le report des différentes déficiences a été rassemblé dans les tableaux disponibles en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-8). Nous avons reporté 16 déficiences, ce qui est peu élevé et montre des travaux qui se déroulent bien en moyenne. Les déficiences ont été classées en 5 catégories selon leur cause expliquée dans le paragraphe 2.1.1.2 ainsi que selon la cause [ASST ou non ASST]. La Figure 3.7 donne la répartition des déficiences observées selon ces catégories. Les négligences ont une grande importance dans la cause des déficiences. La majorité des déficiences est ASST. Au vu du nombre de déficiences, nous ne regardons pas le détail par S-T ni leur temporalité. En effet, le faible nombre rend impertinente une analyse plus poussée.

3.4.3.5 Retardements (H2)

Les relevés des différents retardements causant un délai dans les travaux des S-T ont été rassemblés (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-9). Le nombre total de retardements rapportés et observés est de 71 soit une moyenne par jour de 0.70. Nous nous intéressons ensuite au détail par S-T. Le taux de retardements de chaque S-T et les jours-personnes sont reportés sur la Figure 3.8.

Nous observons que les S-T ayant le plus grand ratio de délais par nombre équivalent de jours de travail sont globalement ceux ayant le moins de travaux à réaliser. Cependant, cette tendance n'est pas validée numériquement sur la Figure 3.9, principalement due à la grande disparité du taux de retardements pour les S-T ayant des travaux de faible envergure.

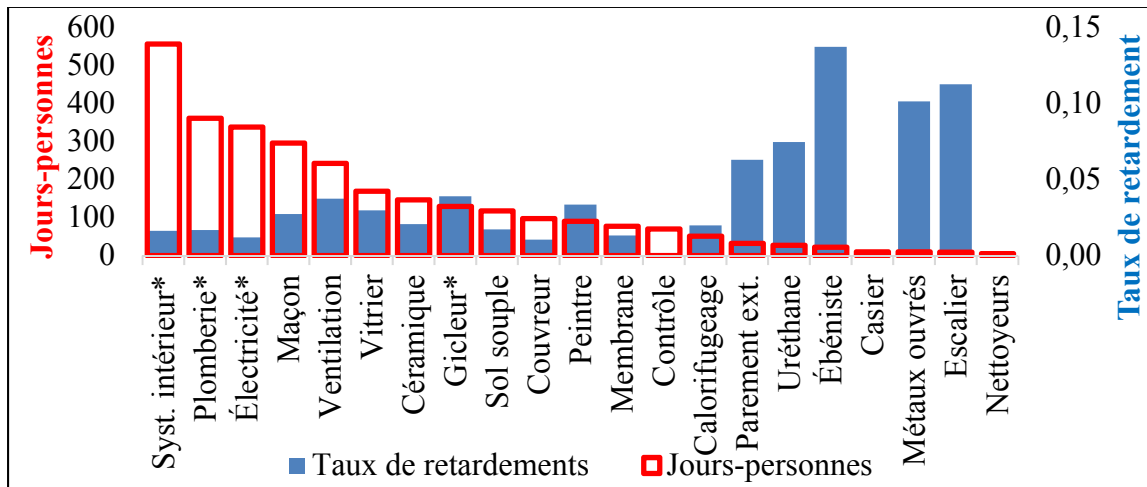


Figure 3.8 Taux de retardements classés en fonction de l'ampleur du S-T (Cas 1)

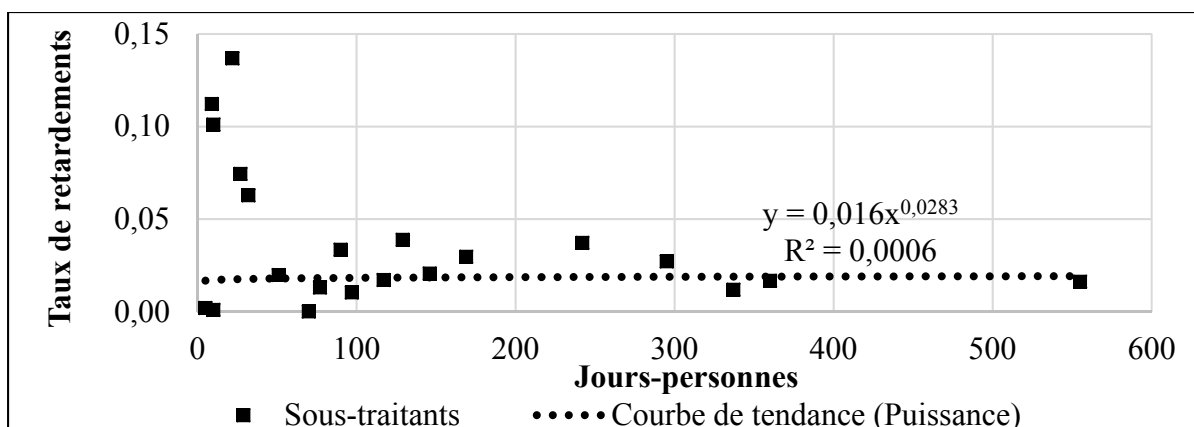


Figure 3.9 Taux de retards en fonction des jours-personnes (Cas 1)

Ces retards ont été classés en 5 catégories suivant leur cause expliquée dans le paragraphe 2.1.1.2. La Figure 3.10 reporte la répartition des gestions observées. Une part non négligeable est due à des conflits entre S-T. La majorité des retards n'est pas ASST. Néanmoins, la part de retards ASST n'est pas négligeable. Nous remarquons sur ce projet qu'une grande partie des retards sont dus aux professionnels et au client (catégorie autres).

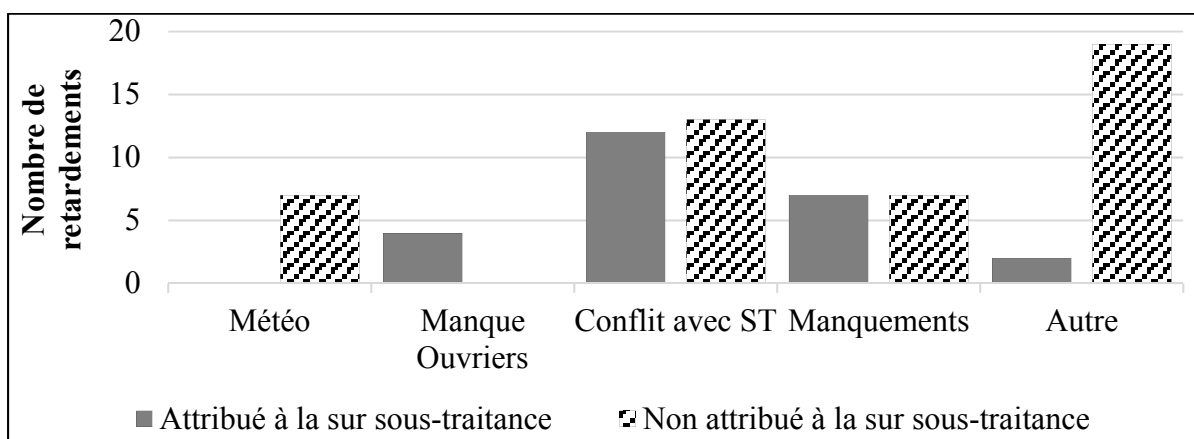


Figure 3.10 Répartition des catégories de retards (Cas 1)

Concernant la temporalité des retards, ceux-ci apparaissent en majorité durant entre la première et la dernière mobilisation des S-T (84.18%).

3.4.3.6 Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6)

Nous reportons dans un tableau le nombre d'évènements reliant les différents S-T comme expliqué en méthodologie. Ces relations sont représentées dans la Figure 3.11, grâce au logiciel Ucinet. L'épaisseur des liens traduit le nombre d'évènements ayant impliqué les deux S-T ensemble. Seuls les S-T ayant un lien avec un autre sont représentés. La taille des nœuds traduit le nombre total d'évènements qu'a en commun un S-T avec tous les autres.

Les S-T avec les plus gros nœuds, et qui ont donc le plus d'interdépendances entre eux, sont les S-T en mécanique (Ventilation, électricité, plombier, gicleur), le système intérieur et le maçon. Les S-T moins mobilisés ne semblent pas interagir avec les autres.

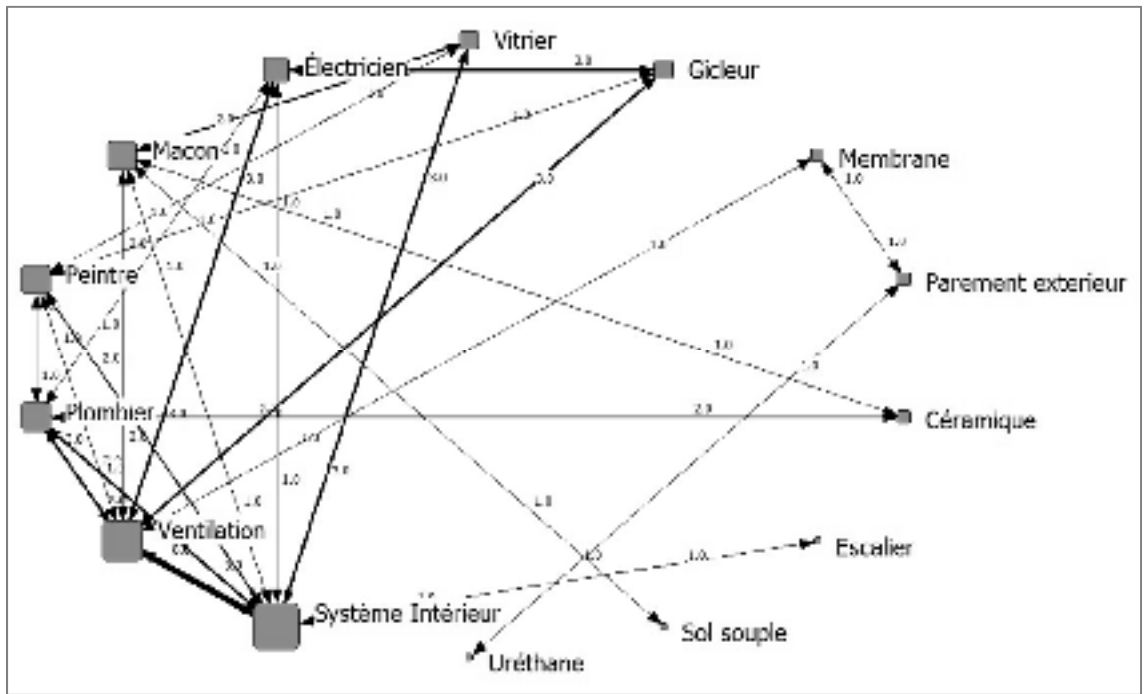


Figure 3.11 Diagramme des interdépendances entre les S-T (Cas 1)

3.4.3.7 Productivité des sous-traitants (H1)

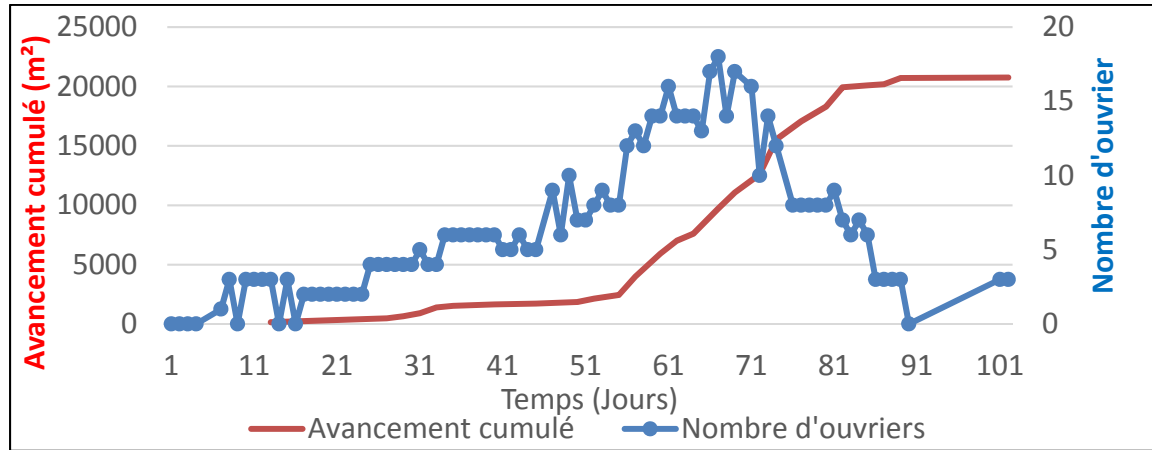


Figure 3.12 Avancement cumulé et nombre d'ouvriers de systèmes intérieurs (Cas 1)

Nous étudions tout d’abord la productivité des S-T de système intérieur. L’avancement cumulé et le nombre d’ouvriers présent sont représentés sur la Figure 3.12. La courbe est typique des dynamiques de projet (courbe en S). La Figure 3.13 représente la productivité moyenne calculée et l’arrivée de nouveaux ouvriers.

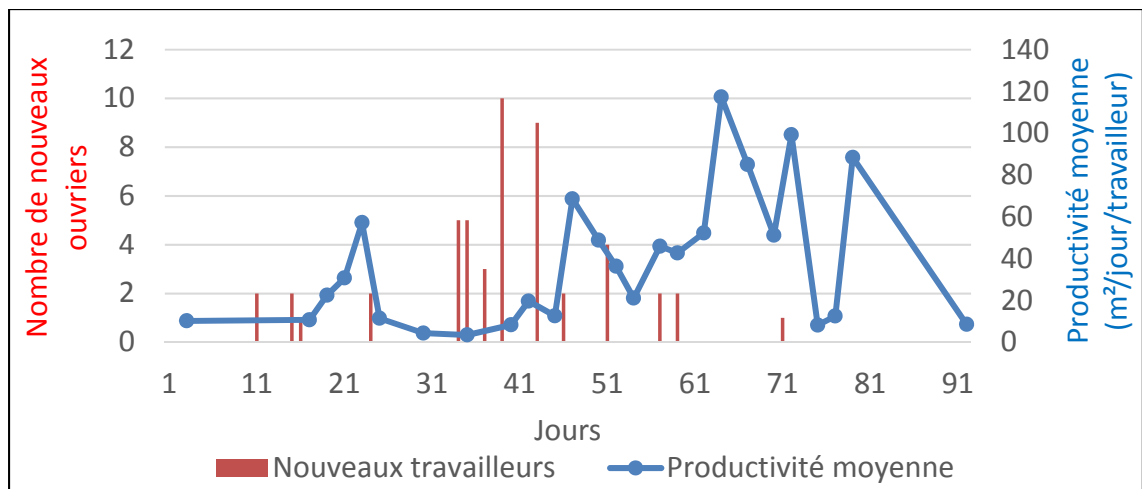


Figure 3.13 Productivité moyenne et nouveaux ouvriers du S-T en systèmes intérieurs (Cas 1)

Nous remarquons que la productivité calculée est très fluctuante. De plus, nous pouvons voir que l'arrivée de nouveaux ouvriers ne semble pas influencer la productivité. En effet, après l'arrivée d'un ouvrier, la productivité peut augmenter (71^e jour) ou diminuer (le 25^e jour).

Les graphiques des autres S-T sont donnés en annexe (voir ANNEXE VII, Figure-A IV-1, Figure-A IV-2, Figure-A IV-3, Figure-A IV-4). Les S-T ont des interventions plus courtes donc les données sont moins révélatrices. Nous relevons toutefois que toutes les données montrent une forte augmentation de la productivité au début des travaux. De plus aucune tendance ne semble se dégager quant à l'influence d'un nouvel ouvrier sur la productivité.

3.4.3.8 Journée d'observation au chantier (H3)

Le surintendant a été observé durant une journée complète. Les nombres de minutes allouées par catégorie sont représentés dans la Figure 3.14.

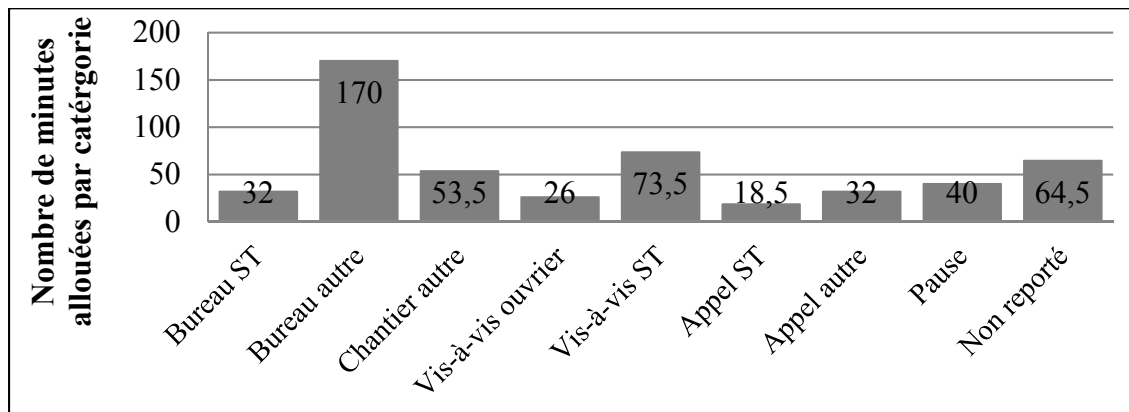


Figure 3.14 Graphique de la répartition des tâches du surintendant (Cas 1)

Nous notons que les S-T occupent que 24% du temps du surintendant. Les différentes interventions du surintendant avec les S-T sont très nombreuses, mais très courtes (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-13). Le surintendant a passé beaucoup de temps avec le S-T de système intérieur. Cette forte gestion de ce S-T est due au refus du S-T de faire rentrer des poseurs de gypse comme le demande le surintendant. Le S-T argumente un manque de travail à réaliser dû à l'avancement plus lent des S-T de mécanique. Le surintendant a donc passé

une grande partie de la gestion à aller voir les autres S-T pour parler de leur avancement. Ceci explique les temps de gestion au-dessus de la moyenne pour l'électricien et la ventilation.

3.4.4 Résultats de l'étude de cas 2

Le projet est un réaménagement de bureau sur un bâtiment de 2 étages, pour un budget d'environ 5M\$ sous contrat forfaitaire public. Le plan du bâtiment est donné en Figure 3.15, l'étendue des travaux est donnée par les valeurs du Tableau 3.16. Les 21 S-T observés sont donnés en annexe (ANNEXE V , Tableau-A V-3).

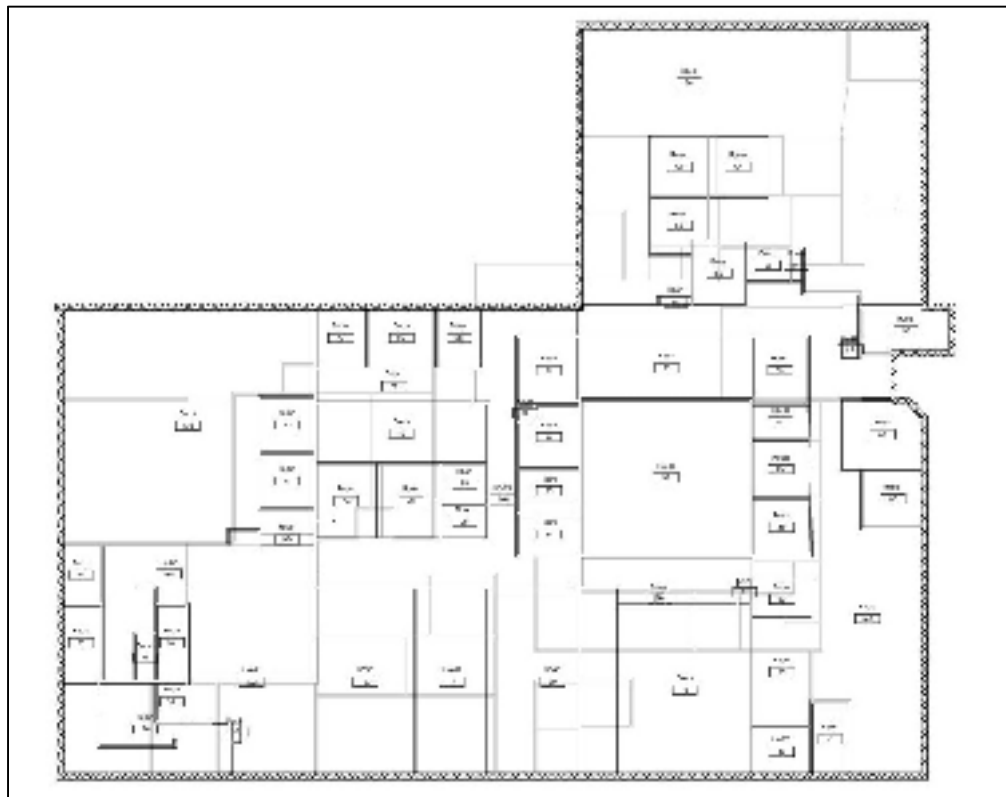


Figure 3.15 Plan schématique du bâtiment en rénovation de l'étude de cas 2

Les travaux sont prévus contractuellement pour 5 mois. Les observations ont commencé un mois après le début des travaux et ont duré 6 mois. Nous notons une particularité : le gérant de projet et les surintendants ont tous des cartes professionnelles de charpentier. Celles-ci

leur permettent d'effectuer des tâches manuelles sur le chantier. Les résultats du cas 2 sont pris dans leur intégralité puisque les observations ont commencé après la période de test. La livraison n'a pas pu être observée faute de temps, à cause des retards pris dans le projet. Les échéanciers planifié et réel sont donnés en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-2).

Tableau 3.16 Étendue des travaux (Cas 2)

Type de surface	Surface (m ²)	S-T concernés
Surface de plancher	4180	
Plafond gypse	504	Peintre et Système intérieur
Mur coupe-feu	93,5	Maçon et peintre
Divisions	2500	Peintre et Système intérieur
Sols souples	3676	Sol souple
Faux plafond	3568	Système intérieur
Céramique	158	Céramique

3.4.4.1 Résultats qualitatifs

Nous présentons dans cette partie les résultats qualitatifs du cas 2. Tout d'abord, plusieurs remarques peuvent être faites à partir des discussions avec le surintendant :

- il y a très peu d'assimilation pour les ouvriers. Le surintendant estime l'impact de l'assimilation à une perte de temps d'une à deux heures par personne et par chantier. Cette assimilation peut dépendre des spécialités selon les surintendants et les observations (H1);
- la mobilisation est plus compliquée lorsque l'ampleur des travaux des S-T est faible (H2);
- les plus gros délais auxquels font face les travaux sont les attentes de demandes de changements et des réponses aux questions de la part des professionnels. Le chemin critique est alors déterminé par les S-T ayant des travaux importants (H2);
- beaucoup de flexibilité est donnée dans l'échéancier et les travaux des S-T du fait de l'attente de demande de changements et de réponses aux questions techniques (H2);
- d'après le surintendant, la gestion et la réussite des chantiers dépendent fortement du surintendant (H3);

- par manque de temps du surintendant, sa gestion de routine n'est pas reportée au chercheur (H3);
- les accueils sécurité durent environ 20 minutes quel que soit le nombre d'ouvriers (H4);
- une firme extérieure est embauchée pour réaliser des vérifications de la santé et de la sécurité sur le chantier (H4);
- les S-T ne respectent pas toujours la juridiction des métiers pour effectuer des petites tâches connexes à leur métier. Les S-T de mécaniques réalisent souvent eux même des ouvertures dans le gypse (H6).

Enfin, les discussions avec le gérant de projet ont permis de révéler plusieurs points :

- l'échéancier de référence n'est pas utilisé. Il est fait avec très peu d'informations au début du projet et n'est pas mis à jour. Celui-ci ne prend en compte qu'une seule phase de projet sur deux (H2);
- aucun échéancier n'est utilisé dans la planification des travaux (H2);
- pour lui, le chantier est trop important pour avoir des effets majeurs de la juridiction des métiers.

3.4.4.2 Communications (H3)

Les relevés des différentes communications rapportées par les surintendants ont été rassemblés dans les tableaux disponibles en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-4). Les nombres totaux de communications rapportées est de 77, soit en moyenne environ 0.73 communication par jour. Afin d'étudier la relation entre le nombre de communications et l'ampleur des travaux des S-T, nous comparons le nombre de communications de chaque S-T avec leurs jours-personnes, reportés dans la Figure 3.16.

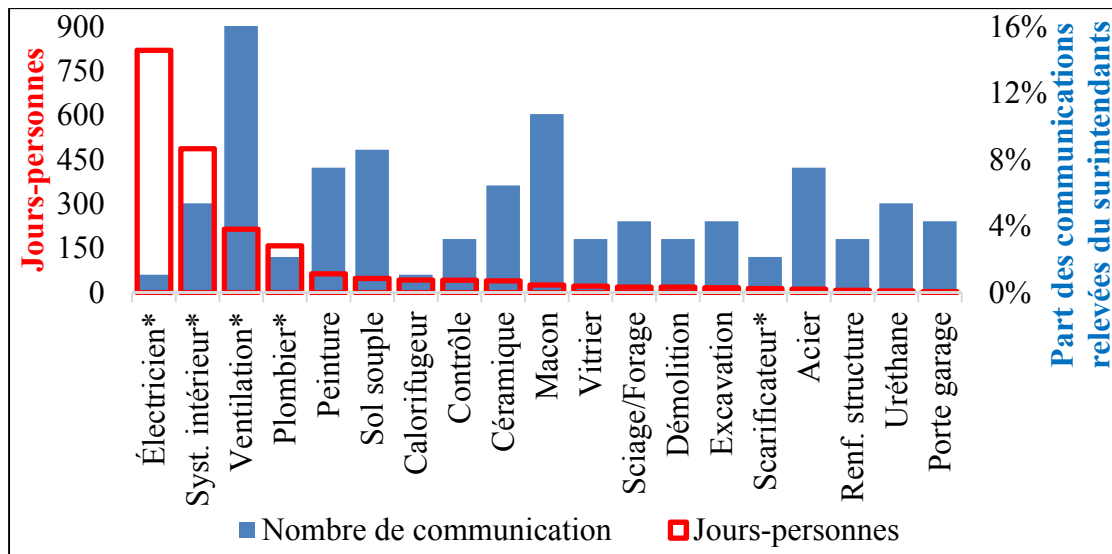


Figure 3.16 Graphique du nombre de communications du S-T classé en fonction de l'ampleur du S-T (cas 2)

La répartition des communications en fonction de l'ampleur des travaux des S-T n'est pas égale. Les S-T avec moins de travaux reçoivent globalement moins de communications. Cependant, cette diminution du nombre de communications n'est pas proportionnelle à la diminution de l'importance de leurs travaux.

Pour mieux appréhender la relation entre nombre de communications et l'ampleur des travaux, nous regardons la relation entre le taux de communication et l'ampleur des travaux (en jours-personnes), présentée la Figure 3.17. Ainsi, les S-T avec le plus petit taux de communications sont ceux avec les travaux les plus conséquents. Nous obtenons une relation entre le nombre de communications et l'ampleur des travaux des ST avec un coefficient de corrélation élevé entre les points expérimentaux et la régression (0.82).

Les communications sont attribuées selon trois causes expliquées dans la partie 2.1.1.2 : 26% pour des problèmes dus au S-T causant des délais dans les travaux; 57% planification des travaux des S-T; et 17% pour les informations ne concernant pas les deux autres causes.

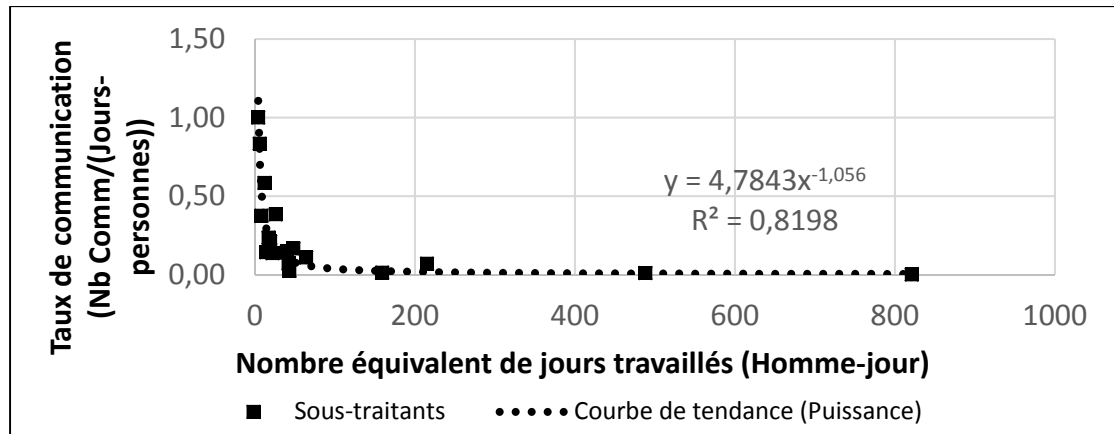


Figure 3.17 Taux de communication en fonction des jours-personnes (Cas 2)

Chaque communication a aussi été classée si elle fut réussie ou non, comme expliquée dans la partie 2.1.1.2. Sur le total des communications, nous observons qu'elles sont principalement réussies (86%). Pour chaque S-T, nous regardons à quel moment des travaux les communications sont réalisées. Les résultats moyennés de tous les S-T indiquent une majorité de communications entre la première et la dernière mobilisation (59.2%) contre 38.8% avant la première mobilisation et 2% après la dernière.

3.4.4.3 Gestions (H3, H4)

Les relevés des différentes gestions des S-T par les surintendants ont été rassemblés (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-6). Le nombre total de gestions rapportées est de 81 soit une moyenne par jour de travail faible de 0.77. La relation entre le taux de gestion et l'ampleur des travaux (en jours-personnes), présentée sur la Figure 3.18. Nous observons que les S-T ayant le plus grand taux de gestion sont globalement ceux ayant le moins de travaux à réaliser. Une relation entre le taux de gestion et l'ampleur des travaux des S-T est obtenue avec un coefficient de corrélation élevé entre les points expérimentaux et la régression (0.72).

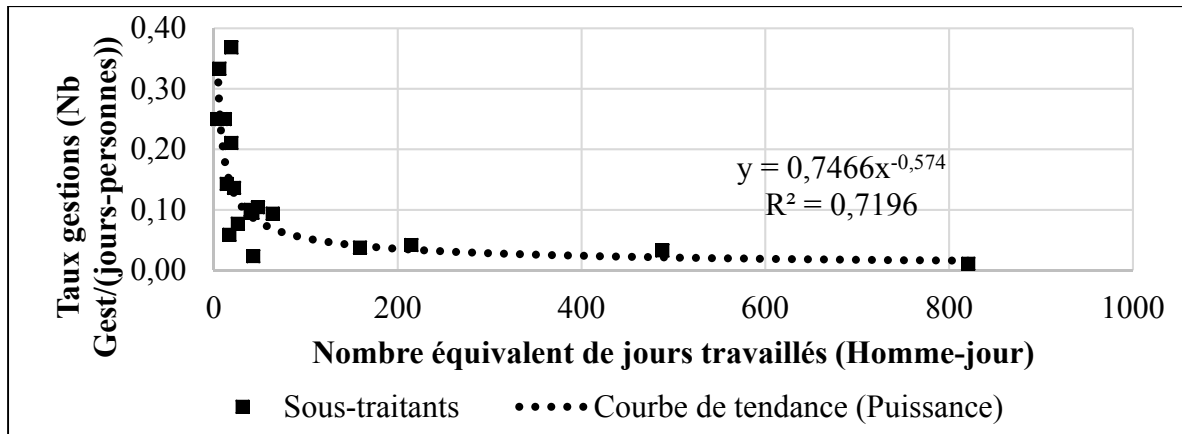


Figure 3.18 Taux de gestion en fonction des jours-personnes (Cas 2)

Comme expliqué en paragraphe 2.1.1.2, les gestions sont attribuées à 5 catégories et à la sur-sous-traitance ou non. La Figure 3.19 donne la répartition des gestions rapportées selon ces catégories. Les gestions réalisées par les surintendants auprès des S-T semblent donc majoritairement dédiées à la planification et coordination des travaux. Une part non négligeable des gestions réalisées proviennent de la gestion de la sécurité des S-T. Cette gestion est majoritairement due aux accueils sécurités. Peu d'autres gestions de la sécurité ont été observées. De plus, une grande partie des gestions est attribuée à la sur-sous-traitance (42%). Finalement, la temporalité des gestions est moyennée pour tous les S-T. Les gestions sont faites en majorité durant entre la première et la dernière mobilisation (83.44%).

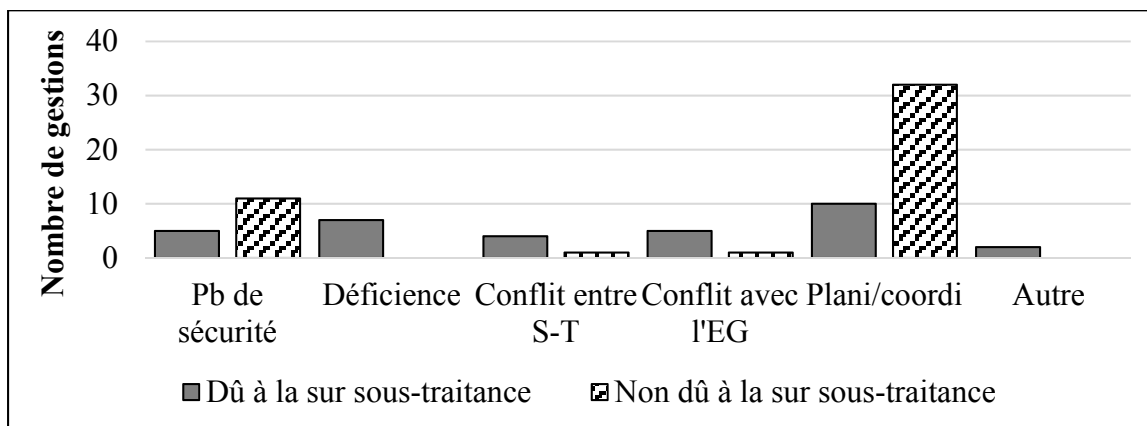


Figure 3.19 Répartition des gestions classées selon leur cause (Cas 2)

3.4.4.4 Déficiences (H5)

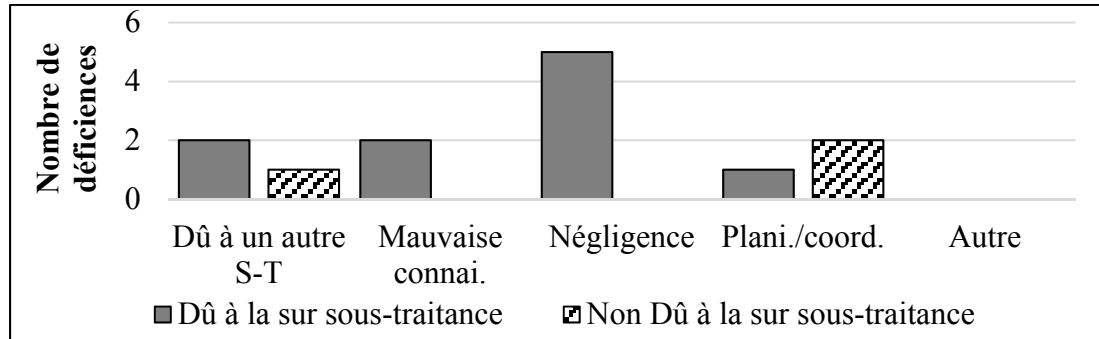


Figure 3.20 Répartition des catégories de déficiences (Cas 2)

Le report des différentes déficiences a été rassemblé dans les tableaux disponibles en annexe (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-8). Nous avons reporté 13 déficiences, ce qui est peu élevé. Les déficiences ont été classées en 5 catégories selon leur cause expliquée dans le paragraphe 2.1.1.2 ainsi que selon la cause [ASST ou non ASST]. La Figure 3.20 donne la répartition des déficiences observées selon ces catégories. Les déficiences se répartissent bien entre les 4 autres catégories : dû à un autre S-T; mauvaise connaissance; négligence; planification/coordination. Il ne semble donc pas avoir de causes prépondérantes de déficiences. De plus, ces résultats montrent qu'une grande partie des déficiences est attribuée à la sur sous-traitance. Le faible nombre rend impertinente une analyse plus poussée, nous ne regardons donc pas le détail par S-T ni leur temporalité.

3.4.4.5 Retardements (H2)

Les relevés des différents retardements causant un délai dans les travaux des S-T ont été rassemblés (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-10). Le nombre total de retardements rapportés et observés est de 62 soit une moyenne par jour de 0.59. Nous nous intéressons ensuite au détail par S-T. Nous regardons le taux de retardements de chaque S-T et les jours-personnes, reportés sur la Figure 3.21.

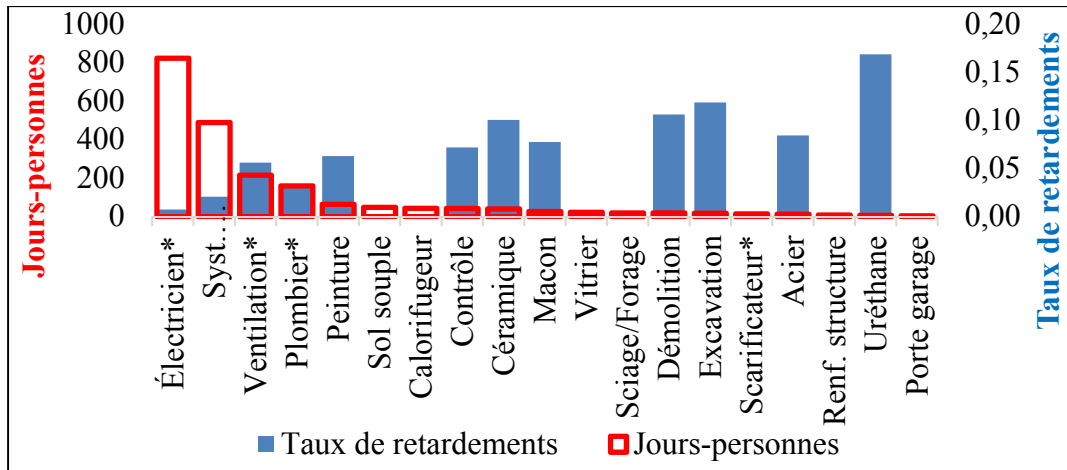


Figure 3.21 Taux de retardements classés en fonction de l'ampleur du S-T (Cas 2)

Nous observons que les S-T ayant le plus grand ratio de délais par nombre équivalent de jours de travail sont globalement ceux ayant le moins de travaux à réaliser. Cependant, cette tendance n'est pas validée numériquement sur la Figure 3.22, principalement due à la grande disparité du taux de retardements pour les S-T ayant des travaux de faible ampleur.

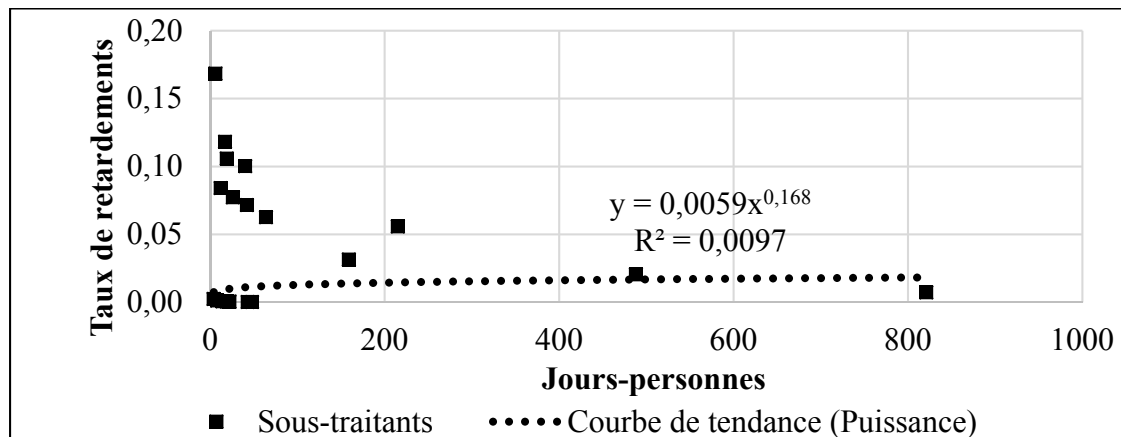


Figure 3.22 Taux de retardements en fonction des jours-personnes (Cas 2)

Les retardements ont été classés en 5 catégories suivant leur cause expliquée dans le paragraphe 2.1.1.2 Les retardements sont aussi classés selon s'ils sont ASST ou non. La Figure 3.23 reporte la répartition des gestions observées. Aucun délai dû à la météo n'a été observé puisqu'il s'agit d'un projet de réhabilitation et donc en milieu fermé. Presque la

moitié des retardements provient de causes autres, qui sont toutes dues aux retards causés par l'attente des professionnels et du client. La majorité des retardements n'est pas ASST. Néanmoins, la part de retardements ASST n'est pas négligeable. Nous remarquons qu'une grande partie des retardements sont dus aux professionnels et au client (catégorie autres).

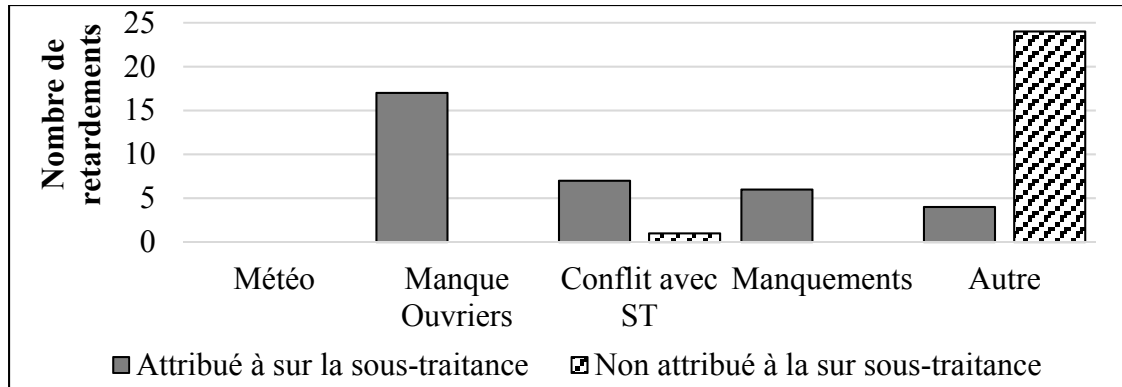


Figure 3.23 Répartition des catégories de retardements (Cas 2)

Concernant la temporalité des retardements, ceux-ci apparaissent en majorité durant entre la première et dernière mobilisation des S-T (75.8%).

3.4.4.6 Évènements impliquant plusieurs sous-traitants (H6)

Nous reportons dans un tableau le nombre d'évènements reliant les différents S-T comme expliqué en méthodologie. Ces relations sont représentées dans la Figure 3.24 grâce au logiciel Ucinet. L'épaisseur des liens traduit le nombre d'évènements ayant impliqué les deux S-T ensemble. Seuls les S-T ayant un lien avec un autre sont représentés. La taille des nœuds traduit le nombre total d'évènements qu'a en commun un S-T avec tous les autres. Les S-T avec les plus gros nœuds, et qui ont donc le plus d'interdépendances entre eux, sont les S-T en mécanique (Ventilation, électricité, plombier, gicleur), le système intérieur et le maçon. Les S-T moins mobilisés ne semblent pas interagir avec les autres.

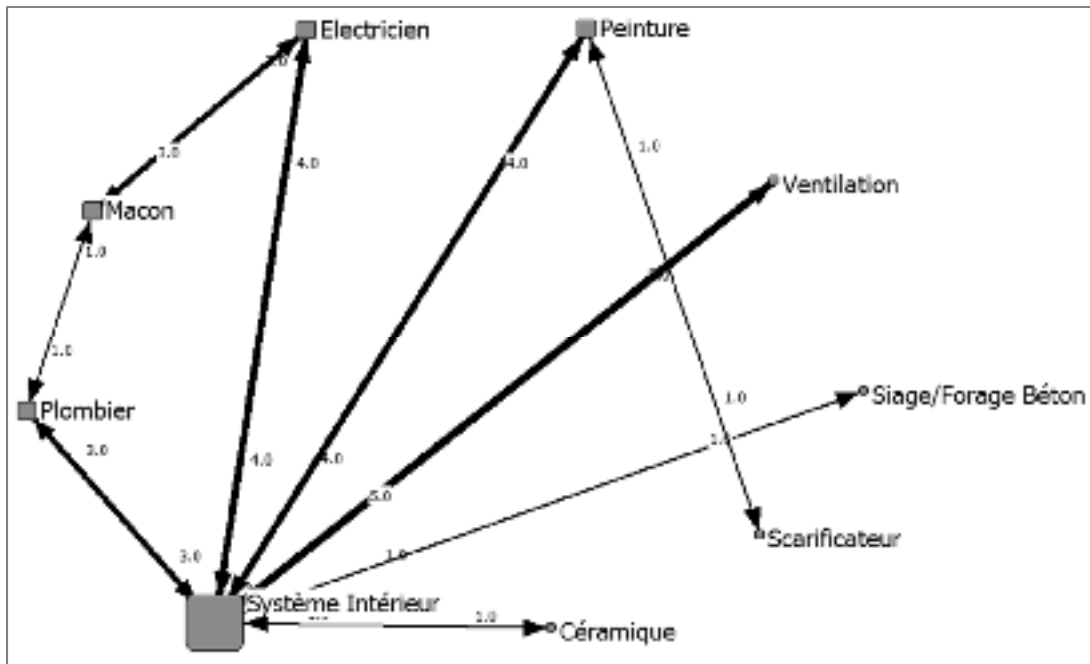


Figure 3.24 Diagramme des interdépendances entre les S-T (Cas 2)

3.4.4.7 Productivité des sous-traitants (H1)

Nous étudions tout d'abord la productivité des S-T de système intérieur. L'avancement cumulé et le nombre d'ouvriers présent sont représentés sur la Figure 3.25. La courbe d'avancement est un peu aplatie et le nombre d'ouvriers est globalement stable. La Figure 3.26 représente la productivité moyenne calculée et l'arrivée de nouveaux ouvriers.

Nous remarquons que la productivité calculée est très fluctuante. De plus, nous pouvons voir que l'arrivée de nouveaux ouvriers ne semble pas influencer la productivité. En effet, après l'arrivée d'ouvrier la productivité peut augmenter (71^e jour) ou diminuer (31^e jour).

Les graphiques des autres S-T sont donnés en annexe (voir ANNEXE VII, Figure-A IV-5, Figure-A IV-6, Figure-A IV-7, Figure-A VIII-8). Les S-T ont des interventions plus courtes donc les données sont moins révélatrices. Nous relevons toutefois que toutes les données montrent une forte augmentation de la productivité au début des travaux. Aucun lien ne semble pouvoir être fait entre la productivité et l'arrivée de nouveaux ouvriers.

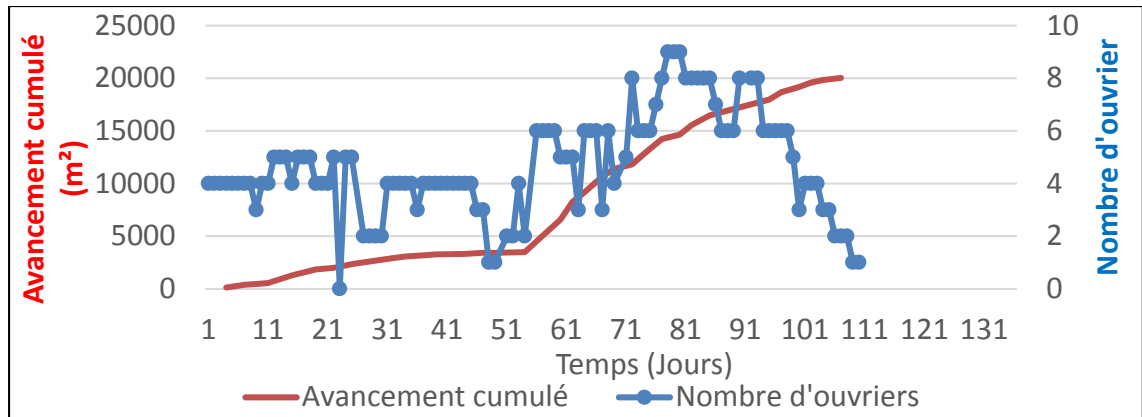


Figure 3.25 Avancement cumulé et nombre d'ouvriers de systèmes intérieurs (Cas 2)

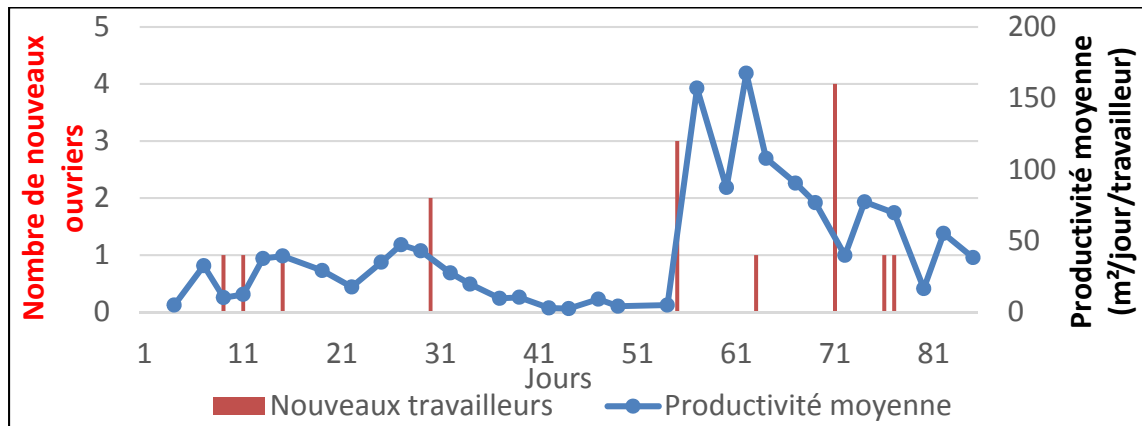


Figure 3.26 Productivité moyenne et nouveaux ouvriers du S-T en systèmes intérieurs (Cas 2)

3.4.4.8 Journée d'observation au chantier (H3)

Le surintendant a été observé durant une journée complète. Les nombres de minutes allouées par catégorie sont représentés dans la Figure 3.27. Nous notons que les S-T occupent 58% du temps du surintendant. Les différentes interventions du surintendant avec les S-T sont assez longues (Voir ANNEXE VII, Tableau-A VII-13) et le temps passé en vis-à-vis avec les S-T est très élevé. Cela est dû à la discussion entre le système intérieur, l'électricien et la ventilation pour différentes questions de coordination.

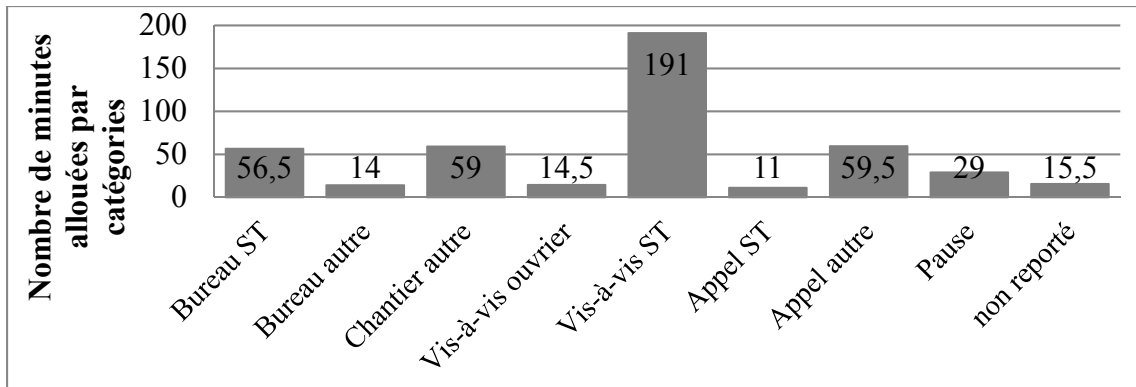


Figure 3.27 Graphique de la répartition des tâches du surintendant (Cas 2)

3.4.5 Résultats de l'étude de cas 3

Les travaux consistent en un réaménagement d'un immeuble de bureaux sur 5 étages, pour un budget d'environ 5M\$ sous contrat forfaitaire public. Chaque étage fait environ 900m². Les 5 étages comprennent un sous-sol, une combe et 3 étages de bureaux fermés. Les 15 S-T observés sont donnés en annexe (Voir ANNEXE V , Tableau-A V-4). Les travaux devaient prendre contractuellement 4 mois. Les observations ont été réalisées 3 mois après le début des travaux et ont duré 3 mois.

Peu de documents sont disponibles pour le chercheur. Le surintendant ne réalise pas de rapport de chantier. Cela complexifie les observations, car le décompte des ouvriers n'est pas disponible. Il s'est avéré impossible d'obtenir des données pertinentes et fiables malgré la bonne volonté du surintendant. Le surintendant n'a pas souhaité que le chercheur passe une journée sur le chantier. Néanmoins plusieurs remarques peuvent être faites à partir des observations :

- le surintendant estime qu'il y a très peu d'assimilation pour les ouvriers. Il estime l'impact de l'assimilation à une perte de temps d'une à deux heures par personne et par chantier. Cette assimilation peut dépendre des spécialités selon les surintendants et les observations (H1);

- les plus gros délais auxquels font face les travaux sont les attentes de demandes de changements et des réponses aux questions de la part des professionnels. D'après le surintendant, ces délais sont les plus gros problèmes de l'industrie (H2);
- d'après le surintendant, la juridiction n'a que peu d'impact à part sur les S-T de système intérieur où il y a plein de sous S-T. Ces problèmes se sont concrétisés par la faillite du S-T de système intérieur qui a causé beaucoup de problèmes à l'entrepreneur général devant gérer ce défaut du S-T (H2);
- le S-T de systèmes intérieurs souvent lui-même des S-T pour ses différentes équipes. Cette sous-sous-traitance ne semble pas influencer les mobilisations (H2);
- malgré le peu de gestion reportée, le surintendant affirme tout de même qu'il y a toujours des déficiences et des appels à passer. Il passe sa journée « derrière » les S-T pour vérifier le bon avancement des travaux (H3);
- d'après le surintendant, la gestion et la réussite des chantiers dépendent fortement du surintendant (H3);
- pour lui, le chantier est trop important pour avoir des effets majeurs de la juridiction des métiers.

3.4.6 Résultats de l'étude de cas 4

Les travaux du cas 4 consistent à l'aménagement de 5 pièces de bureaux pour un client privé. Le montant des travaux est de 0.5M\$ sous contrat forfaitaire. Les 3 corps de métiers concernés et observés sont donnés dans le Tableau 3.17 (classés avec MASTERFORMAT à 16 divisions). Les observations se sont déroulées sur 15 jours durant la période de test. En effet, après ces quinze premiers jours, le surintendant s'étant senti jugé a décidé d'arrêter les observations.

Le cas 4 n'a pas permis une observation adéquate des travaux, mais des observations qualitatives sont relevées. Les 15 premiers jours de chantier observés par le chercheur n'ont pas montré de délais. Le surintendant et le gérant de projet de ce chantier affirment ne pas avoir de délais dus à la multiplicité des S-T en contrats privés. Ainsi, d'après eux aucun

problème ou délai de mobilisation n'est rencontré avec leurs S-T. Ils sont conscients des impacts de la juridiction des métiers, mais pensent que ceux-ci n'existent que sur les petits projets publics. Cela serait dû au fait qu'ils puissent choisir leurs S-T sans devoir répondre au BSDQ. S'il y a un problème avec un S-T sur un chantier « alors on ne le prendra plus sur nos chantiers ».

Tableau 3.17 Tableau des sous-traitants observés sur le cas 4

<i>Division Masterformat</i>	Métiers réglementés employés	Désignation du S-T
<i>10</i> Spécialités	Mécanicien(ne) en protection-incendie	Gicleur*
<i>15</i> Mécanique	Tuyauteur/Tuyauteuse	Plombier*
<i>16</i> Électricité	Électricien/Électricienne	Électricien*

CHAPITRE 4

ANALYSE DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre nous analysons les entretiens avec les différents acteurs, puis les résultats de l'analyse des documents légaux et des observations des réunions. Par la suite, nous analysons les résultats des observations sur chantiers pour enfin créer et analyser un modèle de la dynamique des systèmes.

4.1 Analyse des entretiens

Après collecte des données, les analyses des entrevues sont réalisées. Cette analyse se réalise grâce à la l'analyse des réseaux sociaux (SNA) et ses représentations graphiques. Cette méthode permet de montrer graphiquement les interactions entre les personnes ainsi que leurs caractéristiques. Ainsi, grâce aux données, des relations entre les différents intervenants de la construction sont construites en s'appuyant sur les données présentées dans la partie 3.2.2. Ces relations sont comparées : aux relations idéales dans lesquelles tous les intervenants collaborent et se font confiance et où les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont utilisées de manière complète et globale ; et aux relations que devraient impliquer les documents contractuels et légaux.

4.1.1 Présentation générale de l'analyse

Nous expliquons tout d'abord quelques termes que nous allons utiliser lors de cette analyse :

Répondant : Personnes ayant participé à l'étude à travers leur interview;

Acteur : défini les parties prenants, les intervenants de la construction (Architecte, ingénieur, sous-consultant, client, entrepreneur général et S-T), il y a plusieurs répondants par acteur;

Nœud : Symbole représentant les acteurs dans les graphiques;

Équipe : Rassemblement d'acteurs (Conception : Architecte, ingénieur et sous-consultant; Client, et Construction : entrepreneur général et S-T);

Relations : points attribués entre deux acteurs; représentées dans une matrice.

Nous présentons ensuite l'analyse que l'on appliquera pour chacun des thèmes présentés dans les parties suivantes. Tout d'abord, pour chaque thème, les réponses des répondants sont moyennées par acteur, une matrice est ainsi obtenue. Ensuite, grâce au logiciel UCINET nous calculons :

- le degré de chaque acteur : Somme des relations d'un acteur. Plus le degré est élevé, plus l'acteur est relié aux autres;
- la densité du réseau : rapport entre les relations possibles totales et celles réelles. Elle correspond à la moyenne des relations du réseau;
- l'écart type des relations. Plus cet écart type est grand, plus les relations sont dispersées.

Enfin, nous réalisons un diagramme de ces relations grâce au logiciel Netdraw. Dans ces diagrammes :

- les nœuds sont colorés selon l'équipe de l'acteur (rouge pour le client, vert pour l'équipe de conception et en bleu pour l'équipe de construction);
- la taille des nœuds est en fonction du degré des acteurs. Plus le nœud est gros, plus le degré de l'acteur est élevé;
- l'épaisseur des lignes reliant les nœuds est fonction des relations entre les acteurs (la valeur est affichée le long de ces lignes). Plus la ligne est épaisse, plus la relation entre les deux acteurs est forte;
- les nœuds sont répartis en fonction de la ressemblance du réseau des acteurs. Les acteurs plus proches ont globalement les mêmes relations et le même degré.

4.1.2 Collaboration réelle entre les acteurs

Concernant la collaboration, les réponses des répondants sont moyennées par acteur dans la matrice du Tableau 4.1. Cette matrice est ensuite symétrisée en prenant les valeurs minimales. En effet, nous considérons que la collaboration réelle est tirée par le bas par l'acteur le moins collaboratif. Nous représentons ces liens dans la Figure 4.1. Les liens sont colorés en rouge lorsque la collaboration est exigée par les contrats.

Ce graphique permet de voir que les acteurs ressentent plus de collaboration avec l'architecte et à l'inverse ils ressentent moins de collaboration avec les S-T. Ainsi, l'architecte, qui doit assurer la coordination entre les acteurs est bien l'acteur le plus centré dans la collaboration entre les acteurs (comme les contrats l'exigent, représenté par les liens rouges).

Tableau 4.1 Matrice de la collaboration ressentie par les acteurs

Acteurs ciblés \ Répondants	Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs	Sous-traitants	Sous-Consultants
Clients publics		4,33	3,67	2,67	0,67	0
Architectes	4,33		4	1,67	1	5
Ingénieurs	2	3,33		2,67	1,67	4,67
Entrepreneurs	4	2	3		3	1
Sous-traitants	0,5	0,5	0,5	4		0
Sous-Consultants	0,5	5	5	0,5	0,5	

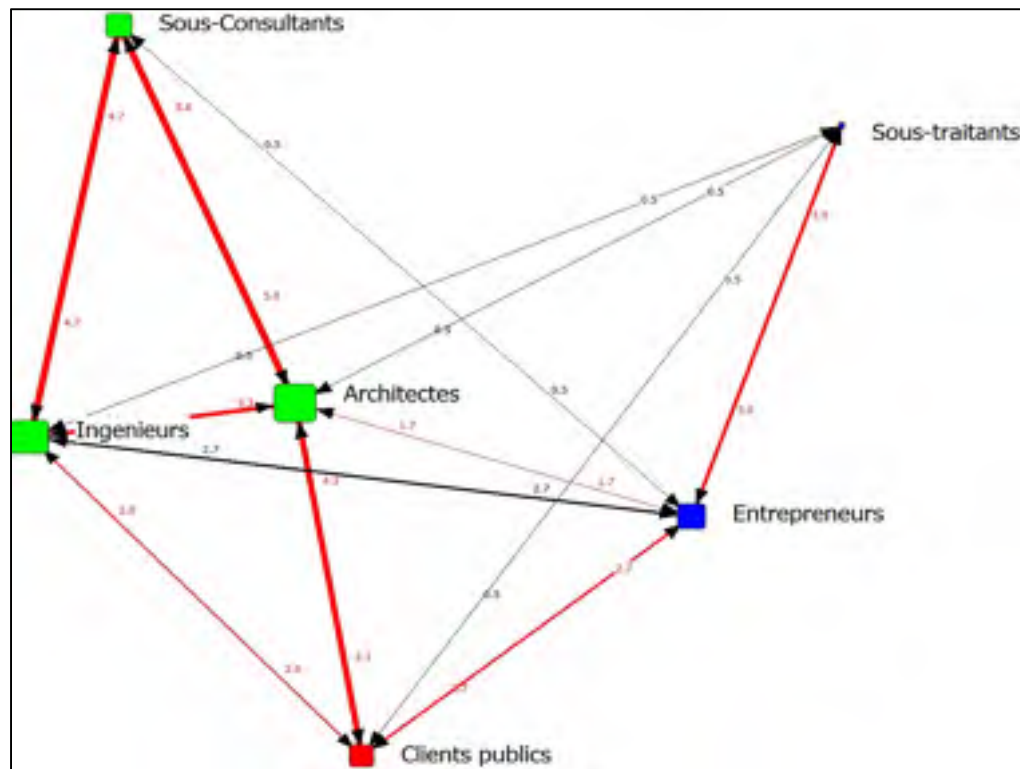


Figure 4.1 Diagramme de la collaboration ressentie entre les acteurs

Cependant, un acteur clé comme le client public n'a pas une forte collaboration avec tout le monde. La collaboration entre les acteurs n'est globalement pas très élevée. En effet, le réseau a une densité de 2.1 sur 5, ce qui correspond à une certaine collaboration qui est nécessaire, mais celle-ci est mauvaise.

Alors qu'idéalement tous les acteurs devraient être tous reliés de manière égale pour une utilisation optimale des technologies de l'information et de la communication (TIC), nous voyons que ces relations divisent les acteurs en trois groupes. Nous retrouvons dans ces groupes la même composition que les trois équipes définies dans la partie précédente. Cette séparation entre les acteurs est confirmée par le grand écart type des relations du réseau. En effet, l'écart type est de 1.68 alors que sa valeur maximale est de 2.5. Ainsi les valeurs des relations oscillent globalement entre 0.42 et 3.78. Il y a donc beaucoup de disparité dans les relations, démontrant les séparations qui peuvent exister entre les acteurs, néfastes à l'utilisation des TIC.

Pour étudier la collaboration ressentie, comme expliquée précédemment, nous avons symétrisé la matrice du Tableau 4.1. Cependant, le diagramme obtenu ne permet pas d'observer les différences du ressenti de chaque acteur deux à deux. Or, il peut être intéressant d'étudier cette différence dans les perceptions des relations de chaque acteur. Cette dissonance peut entraîner des problèmes de confiance et de collaboration freinant l'utilisation des TIC. Ainsi comme nous le voyons dans la Figure 4.2 représentant le diagramme de cette différence, les différences sont globalement assez faibles (moins de deux points de différences). Nous notons cependant une grande différence entre clients publics et ingénieurs. Ces acteurs peuvent avoir alors des conflits à cause d'une différence d'attentes dans leurs relations et/ou l'utilisation des TIC.

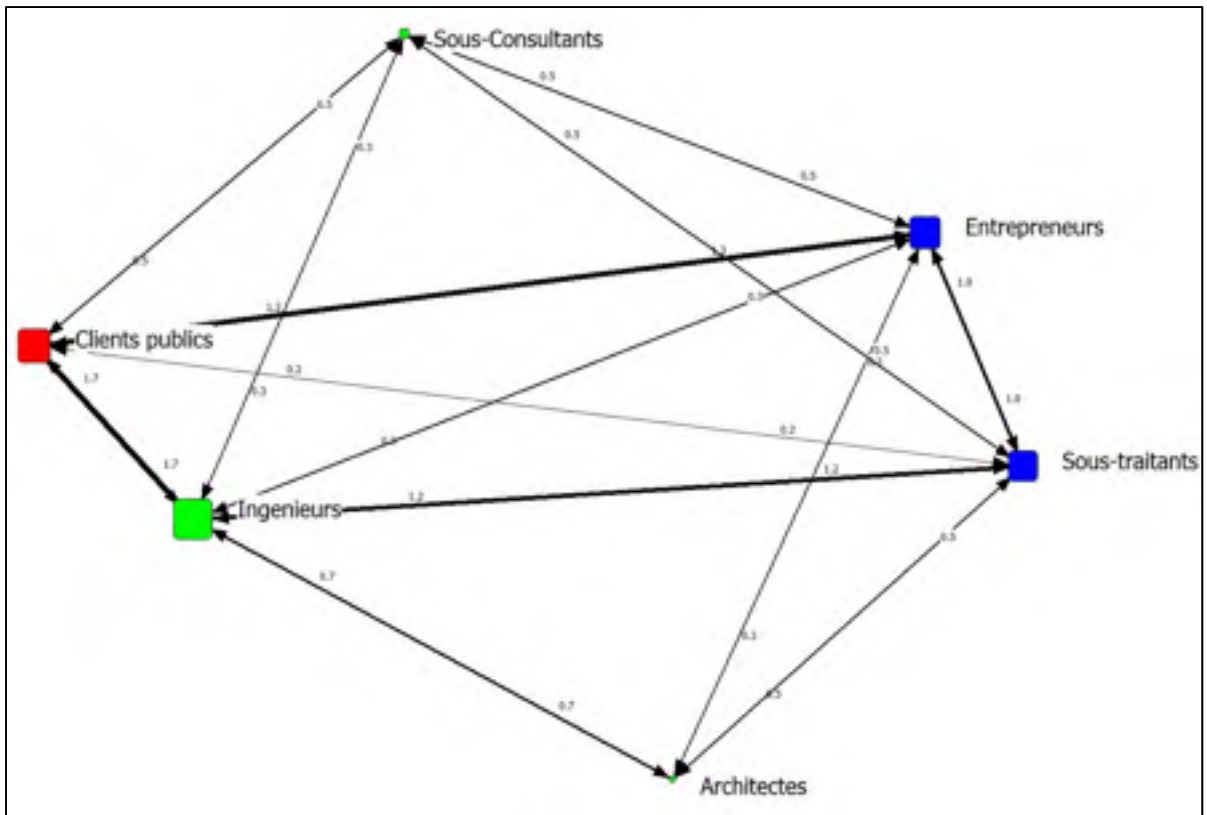


Figure 4.2 Diagramme des différences du ressenti de chaque acteur

4.1.3 Confiance entre les acteurs

Les réponses des répondants sur la confiance (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-3) sont moyennées par acteur. Cette matrice est ensuite symétrisée en prenant les valeurs minimales. En effet, nous considérons que la confiance réelle est tirée par le bas, par l'acteur le moins en confiance. Nous représentons les relations obtenues dans la Figure 4.3. Les relations où des répondants avouent ne pas vouloir/pouvoir partager librement tous ces documents avec l'autre (points attribués : 0, 1 et 3) sont soulignées par la couleur rouge.

Ce graphique nous permet de voir que seule l'équipe de conception partage un sentiment de confiance assez élevé. Les autres acteurs sont isolés. En effet, leurs nœuds sont très petits par rapport aux acteurs de l'équipe de conception. De plus, la confiance globale n'est pas très élevée, la densité du réseau est de 2.6 sur 5. Ensuite, ils ne semblent pas avoir de partage de

tous les documents sur les TIC possibles avec l'architecte. Celui-ci a pourtant le rôle de coordination des acteurs. Ceci peut donc poser problème pour l'implantation des TIC. Il y a donc beaucoup de confiance restant à bâtir. En outre, un gros écart de confiance existe entre les acteurs. En effet, l'écart type du réseau est de 1.19 (sur 2.5 maximum). Cet écart augmente le sentiment de travail en silo et d'exclusion des acteurs par les autres.

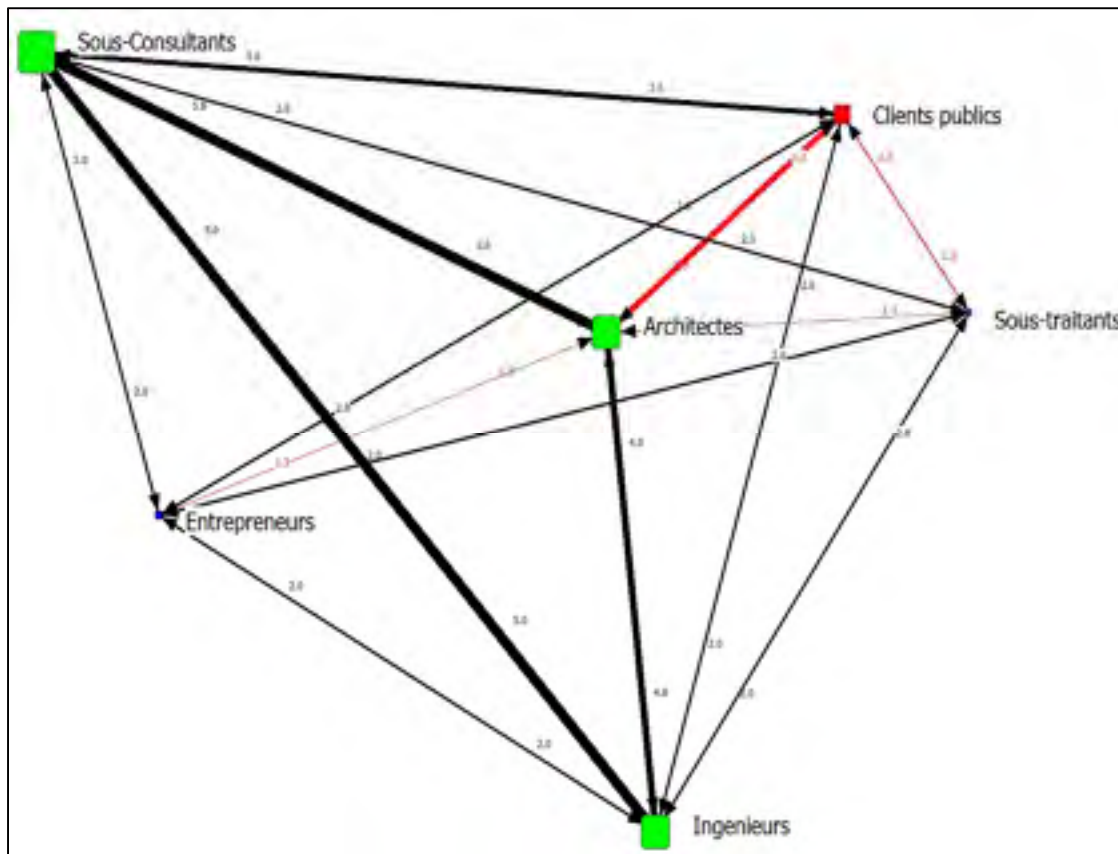


Figure 4.3 Confiance entre les acteurs

4.1.4 Visions communes entre les acteurs

Les relations sur le nombre de visions communes entre les acteurs ont été données dans la partie résultats (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-5). Le diagramme de ces relations obtenues est donné en Figure 4.4. Le diagramme des relations montre que les acteurs sont divisés selon les trois équipes définies précédemment. La séparation entre les équipes est

confirmée par l'écart type important de 1.12 (sur un maximum de 2) des relations du réseau. De plus, au sein des équipes, les acteurs partagent plus de 3 visions communes sur 4 alors qu'entre équipes ils en partagent moins de 2.

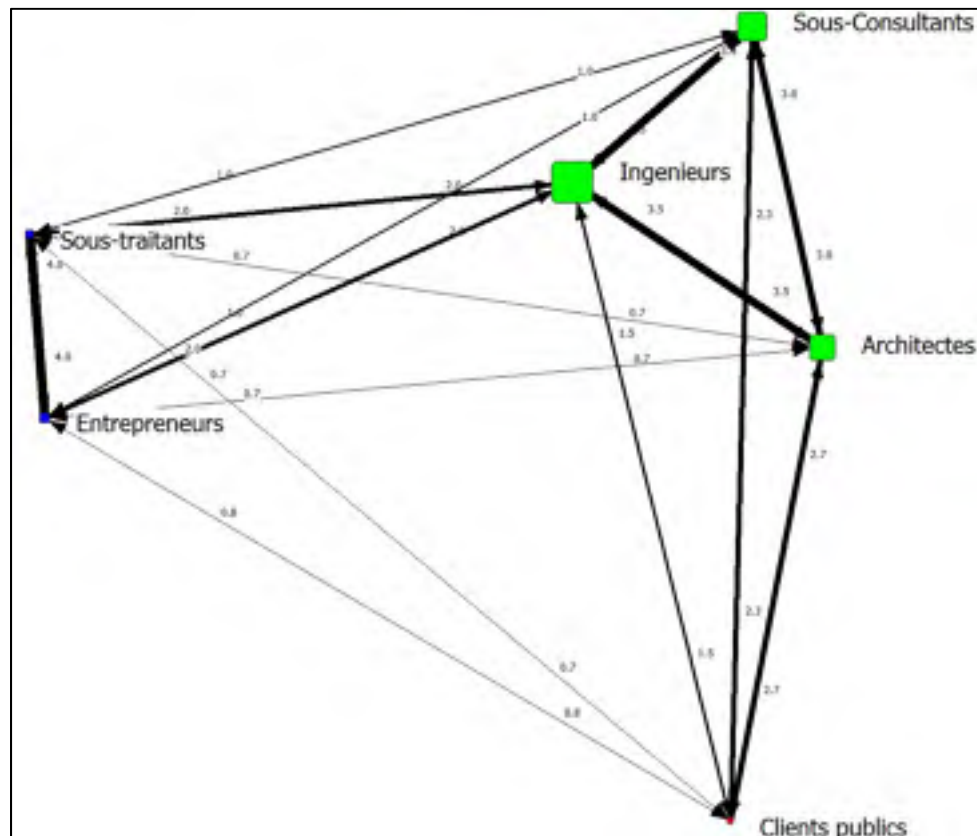


Figure 4.4 Diagramme des visions communes entre les acteurs

4.1.5 Sentiment de partage d'objectifs

Les réponses des répondants sur la vision commune entre les acteurs (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-6) sont moyennées par acteur et symétrisées par la plus petite valeur. En effet, le sentiment de partage d'objectif est tiré par le bas pas l'acteur ayant le moins de sentiment de partage. Le diagramme de ces relations obtenues est donné en Figure 4.5.

Le diagramme des relations ressemble au diagramme de la vision commune (Figure 4.4). Les acteurs semblent donc avoir conscience des différences de visions et d'intérêt. En effet,

l'équipe de conception et l'équipe de construction sont toujours séparées. Cependant, le client est finalement perçu comme plus proche de la vision de l'équipe de conception.

Enfin, la densité et l'écart type du réseau sont comparables à ceux de la vision commune, respectivement 2.1 sur 5 et 1.48 (sur un maximum de 2.5). Il y a donc peu de sentiment de partage d'objectif en moyenne et ce ressenti varie beaucoup d'un acteur à l'autre. Ainsi, nous notons la grande séparation qu'il existe entre l'équipe de conception plus le client et l'équipe de construction. Ce manque de visions communes renforce le manque de confiance freinant l'utilisation TIC mais vient aussi directement freiner les acteurs dans l'utilisation des technologies de partage par crainte de diffuser des documents révélant leurs intérêts. De plus, leurs visions différentes peuvent entraîner des utilisations des technologies incompatibles entre elles.

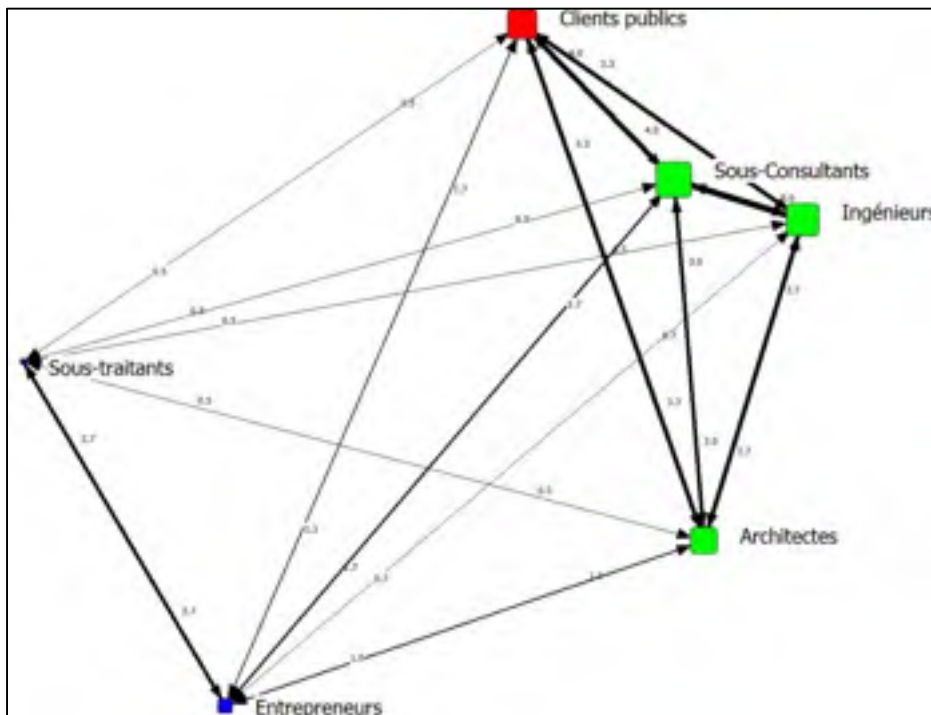


Figure 4.5 Diagramme de sentiment de partage de vision

4.1.6 Moyens de communication

Les nombres de moyens de communication voulus en communs par les acteurs ont été donnés dans la partie résultats (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-8). Ces relations obtenues sont représentées dans le diagramme de la Figure 4.6. Le diagramme montre que les S-T sont très exclus des autres acteurs. Les autres acteurs ne forment qu'un seul groupe contrairement aux précédentes relations dans lesquels nous observions trois groupes. Nous retrouvons cette observation dans l'écart type qui est moins important que dans les autres relations (0.88 sur un maximum de 2.5). C'est donc un bon point. Les acteurs veulent utiliser les mêmes moyens de communication. Cependant, les acteurs ne veulent pas utiliser les TIC et sont satisfaits des courriels et du téléphone comme nous allons le voir dans la partie suivante.

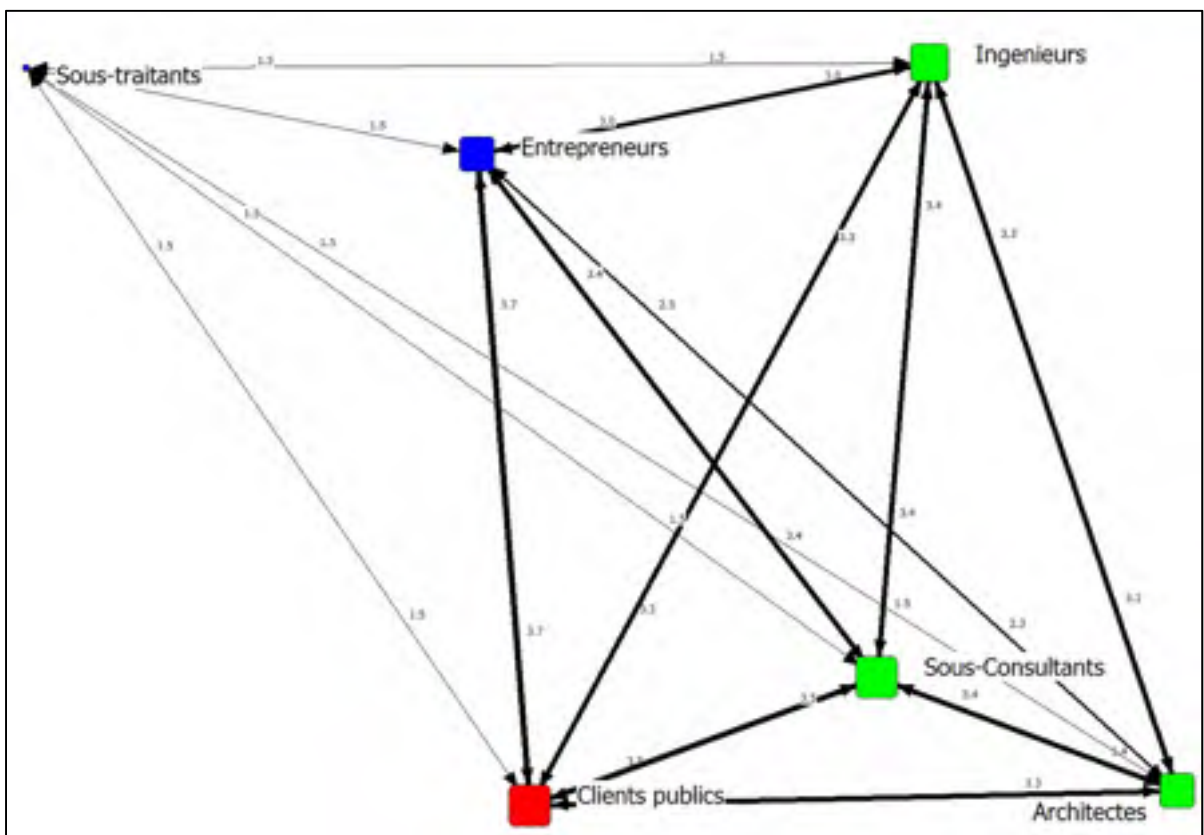


Figure 4.6 Diagramme des moyens de communication communs voulus par les acteurs

4.1.7 Efficacité des communications

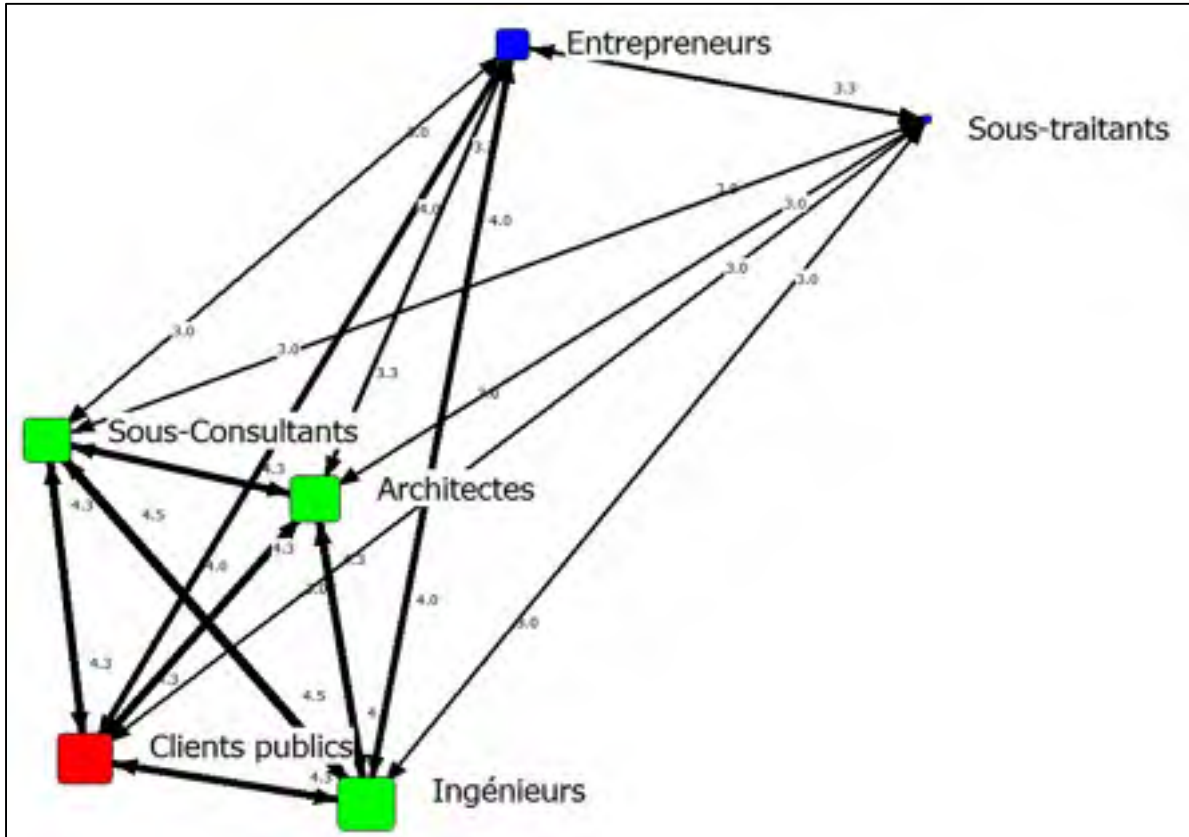


Figure 4.7 Diagramme de la vision de l'efficacité des communications des acteurs

Les réponses des répondants sur l'efficacité des communications (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-9) sont moyennées par acteurs et la matrice est symétrisée par les valeurs minimales. En effet, le sentiment d'efficacité des communications est tiré par le bas par l'acteur pensant les communications les moins efficaces. Les relations obtenues sont représentées dans la Figure 4.7. Nous remarquons que l'équipe de construction est séparée des autres acteurs. Cependant, la moyenne est haute (3.75 sur 5) et l'écart type est faible (0.6 sur un maximum de 2.5). Ainsi en moyenne les acteurs pensent avoir de bonnes communications avec les autres, mais que celles-ci sont améliorables. Le ressenti le moins favorable est jugé comme des communications correctes à améliorer. Cette satisfaction des moyens de communication peut sembler un point encourageant, cependant cela n'encourage

pas l'utilisation des TIC. En effet, les acteurs ne voient pas l'utilité des TIC puisqu'ils pensent avoir des moyens de communication efficaces.

4.1.8 Formats échangés

Les relations sur les formats échangés (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-10) sont moyennées par acteurs. Les relations obtenues sont représentées dans la Figure 4.8. Même si, les S-T et sous-consultants sont tenus à l'écart avec un partage se concentrant sur des formats PDF, nous remarquons que pour ces relations aucun groupe d'acteurs ne se forme. Cette observation est confirmée par le faible écart type de 0.44 sur un maximum de 2. L'utilisation de Revit et de l'IFC est très faible. Cela se traduit par une densité des relations de 1.76 sur un maximum de 4. Les acteurs s'en tiennent donc souvent aux exigences des contrats qui demandent des formats PDF ou AutoCAD.

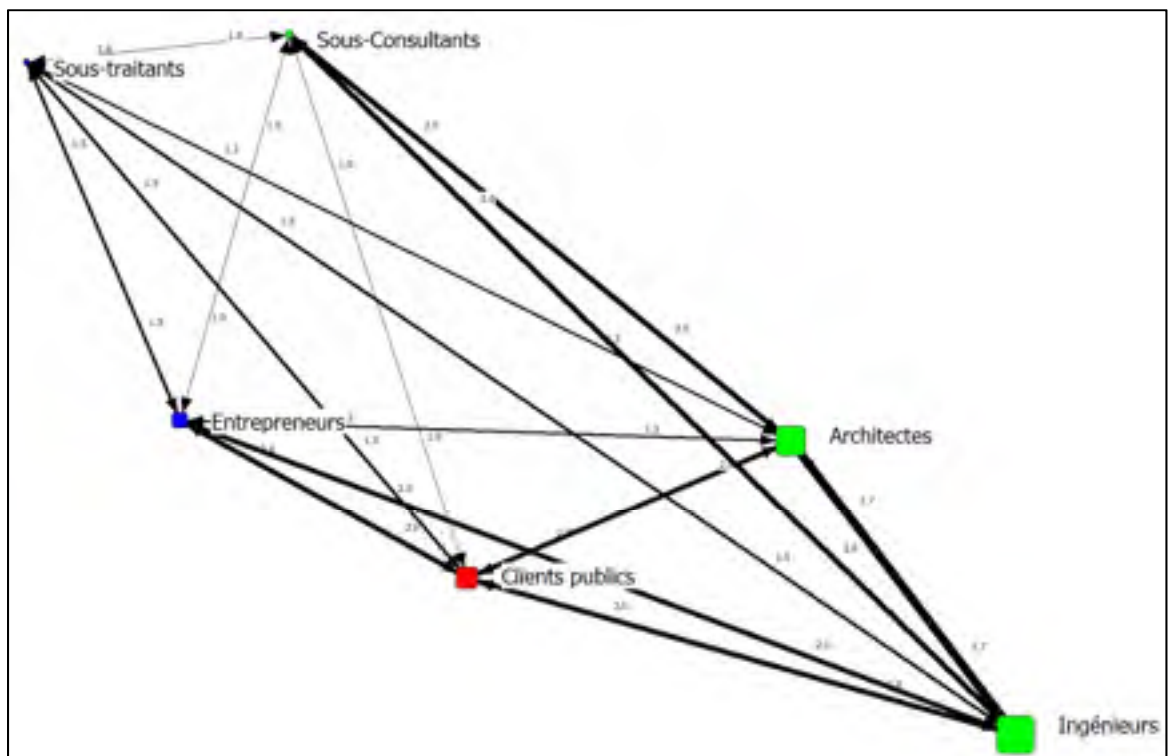


Figure 4.8 Diagramme des formats utilisés pour échanger les documents entre les acteurs

4.1.9 Vision de l'interopérabilité

Les réponses des répondants sur la vision de l'interopérabilité (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-11) sont moyennées par acteurs et la matrice est symétrisée par les valeurs minimales. En effet, le sentiment d'interopérabilité est tiré par le bas pas l'acteur exprimant l'interopérabilité la plus mauvaise. Nous représentons cette relation dans la Figure 4.9.

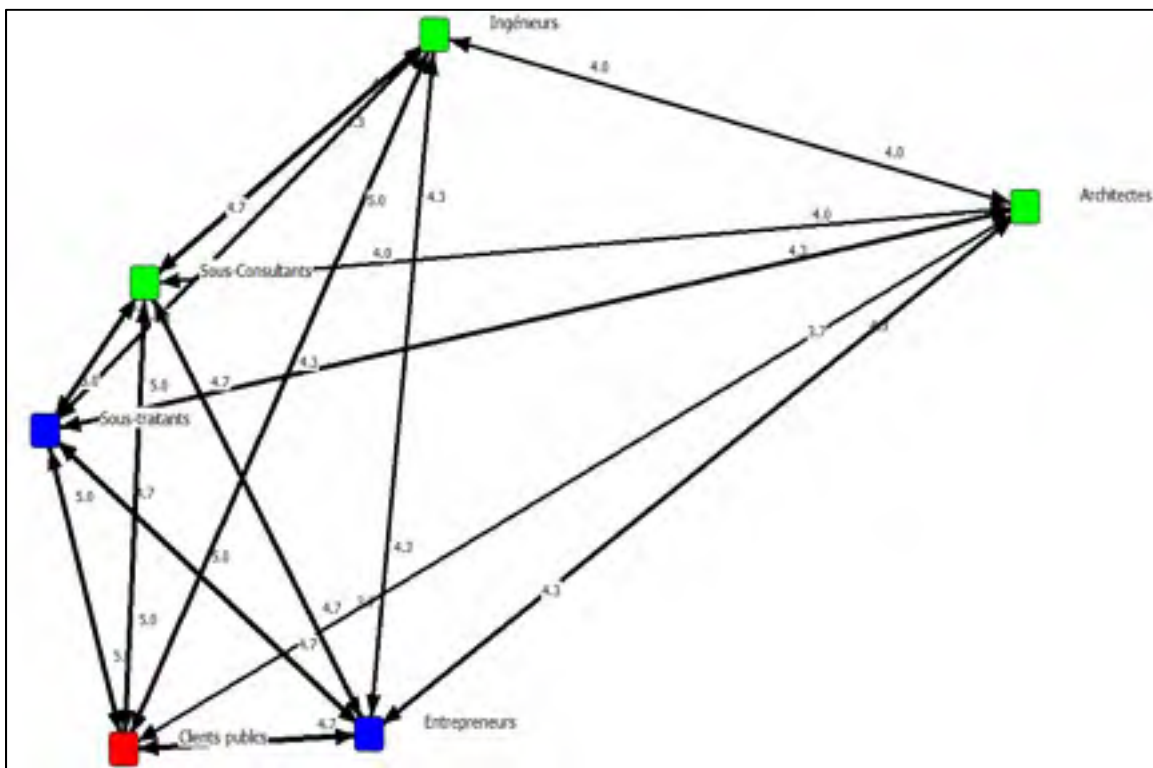


Figure 4.9 Diagramme de la vision de l'interopérabilité entre les acteurs

Alors que l'architecte est censé assurer la coordination des acteurs, nous remarquons qu'il est seul à se détacher des autres acteurs. En effet, aucune relation ne se démarque, comme le montre l'écart type bas, à 0.4 (sur un maximum de 2.5). Il y a donc globalement moins d'un point d'écart entre les différentes relations. De plus, le réseau est très dense (4.5 sur 5). Ainsi, les acteurs ne voient pas de problèmes d'interopérabilité en général, seuls quelques ajustements seraient nécessaires. Cette forte satisfaction de l'interopérabilité ne participe pas à la mise en place de standards et à l'utilisation de formats ouverts comme l'IFC. En effet, les

acteurs sont satisfaits des outils actuels et ne peuvent donc pas voir l'apport d'interopérabilité apporté par les TIC.

4.1.10 Général

Afin de dégager une tendance globale sur les résultats des thèmes précédents, nous additionnons et normalisons toutes les matrices des 8 relations précédentes. La matrice obtenue représente des relations reflétant la tendance générale des liens entre les acteurs (Voir ANNEXE III, Tableau-A III-12). Plus la relation est forte, plus les acteurs sont liés et auraient des facilités à implanter les TIC. Les relations obtenues sont représentées dans la Figure 4.10

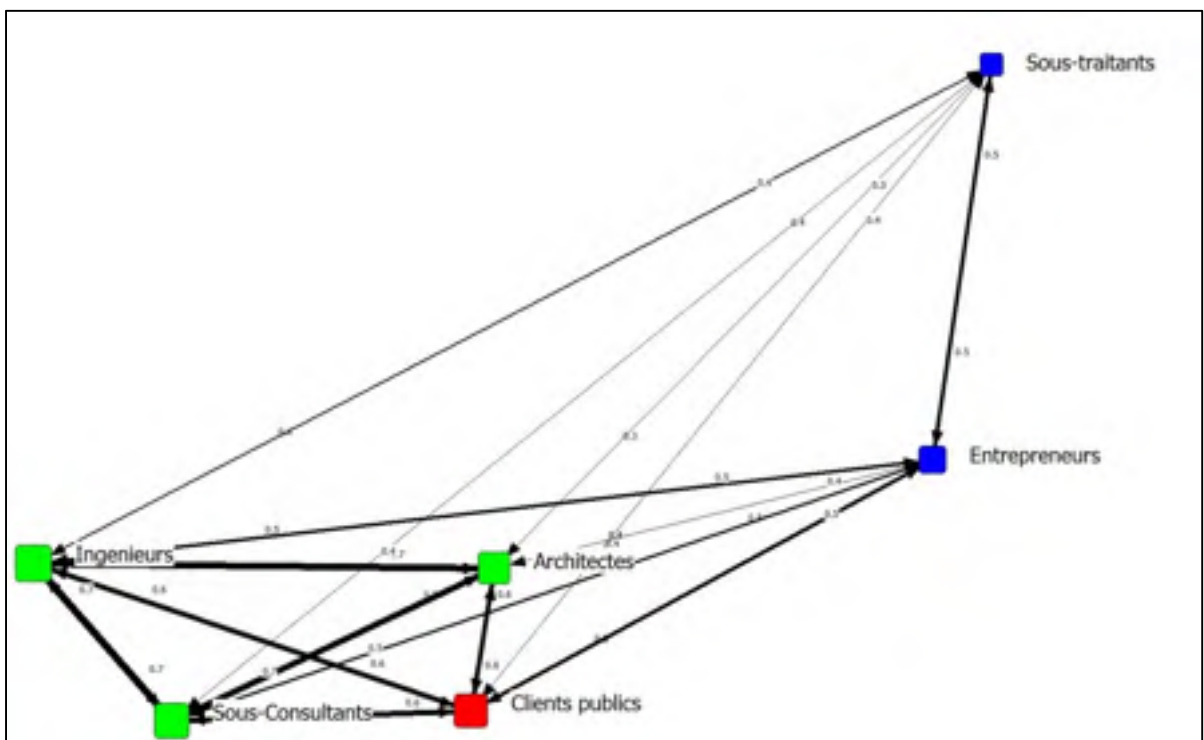


Figure 4.10 Diagramme de la somme normalisée de l'ensemble des relations analysées

Nous retrouvons dans ce diagramme les mêmes groupes qu'observés dans les relations précédentes, c'est-à-dire un premier groupe comprenant l'équipe de conception et le client et un deuxième groupe comprenant l'équipe de construction. Les acteurs de l'équipe de

construction sont entre eux moins liés que les acteurs de l'équipe de conception entre eux. Pour confirmer cette observation, dans UCINET nous utilisons la fonction « profile » qui forme des groupes en fonction de la structure du réseau. Ces groupes sont représentés dans le dendrogramme dans la Figure 4.11.

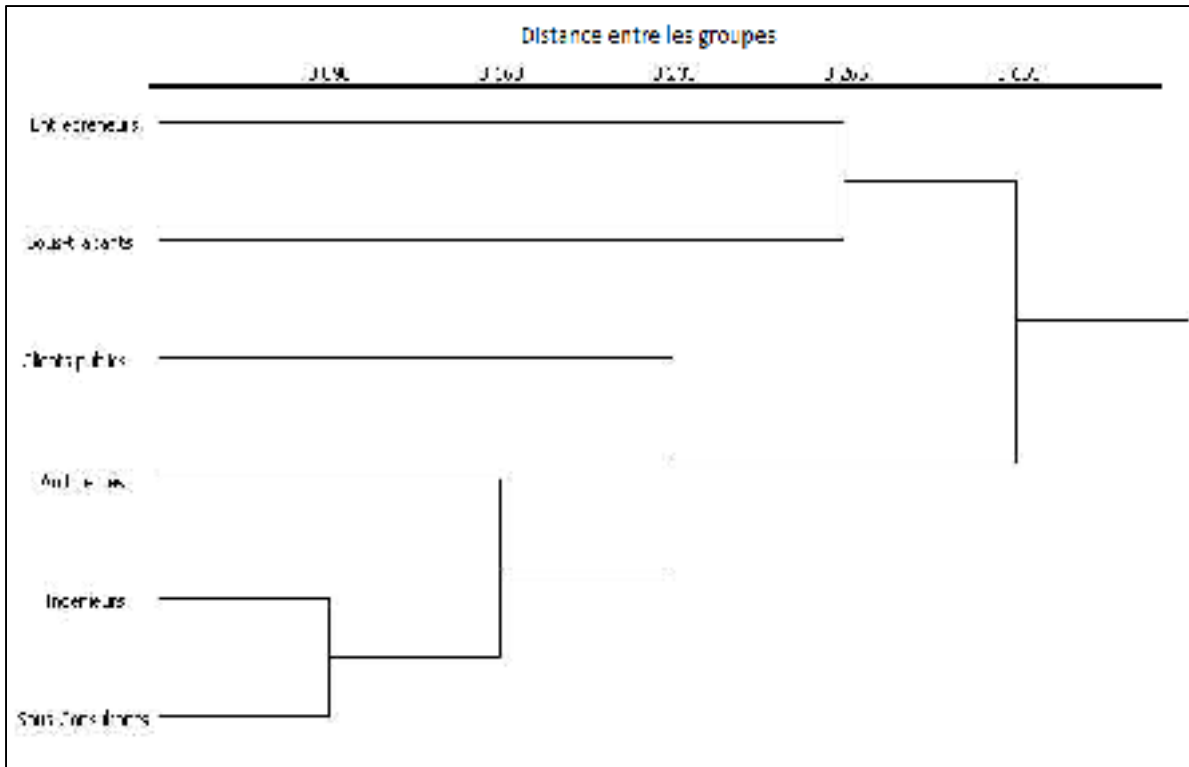


Figure 4.11 Dendrogramme de la somme normalisée de toutes les relations analysées

Ce diagramme représente les regroupements des acteurs en fonction de la distance entre les groupes. Ce diagramme confirme les observations précédentes : les acteurs de l'équipe de conception sont bien regroupés entre eux, avec dans une moindre mesure le client. L'équipe de construction est quant à elle isolée des autres acteurs. Ses deux acteurs (entrepreneurs généraux et S-T) sont eux regroupés pour une plus grande distance entre les groupes que l'équipe de conception et le client. Ainsi, cette équipe est moins liée que l'équipe de conception avec le client.

Enfin, la séparation entre l'équipe de conception et l'équipe de construction est très importante. En effet, la distance du regroupement entre les deux équipes est plus de deux fois plus importante que celle entre les entrepreneurs généraux et les S-T, et plus de sept fois plus grande que celle entre les ingénieurs et sous-consultants. Ainsi, l'interaction entre l'équipe de construction et le groupe formé par l'équipe de conception et le client est très faible, ce qui peut freiner l'implantation des TIC.

Finally, this analysis method allowed to overcome the difficulty of studying dynamic social networks in construction (Chinowsky, Diekmann et Galotti, 2008) by studying the actors in their ensemble.

4.2 Analyse des observations de réunions et des documents légaux

We now analyze the legal and contractual documents as well as the observation of meetings.

4.2.1 Bilan de l'étude des documents légaux et contractuels

We now make the balance of the results of the analysis of legal and contractual documents presented in the previous chapter. Even though many points of these documents would be to remind the actors to favor the implementation of TIC. In fact, a certain collaboration is required and the sharing of documents can encourage the actors to use TIC. However, many other points raise questions about the use of TIC and can slow down their implementation. In fact, a certain collaboration is mandatory, but it is not often well defined. Moreover, constraints on the work of professionals can lead to distance from collaboration and the use of TIC and the ambiguity about responsibilities can frighten professionals.

The contract of SQI studied seems to be a good basis for the implementation of BIM and other TIC. It takes into account the problems and needs related to new technologies in the

mesure où ce projet demande l'utilisation du BIM et du PCI. Différents points sont bien traités :

- les équipes sont sélectionnées aussi en fonction de leurs expertises et expériences sur le BIM et leur capacité à la collaboration;
- l'étroite collaboration entre les acteurs est demandée;
- l'équipe de projet est garantie fixe;
- une structure organisationnelle est identifiée au début du projet;
- une entité indépendante s'occupe de la gestion du BIM pour éviter tout conflit d'intérêts dans la gérance du BIM;
- tous les professionnels possèdent la responsabilité des documents qu'ils émettent;
- la connaissance BIM et de gestion du BIM de sa spécialité pour les soumissionnaires est demandée;
- l'utilisation et mise à jour des maquettes sont codifiées;
- un format ouvert pour la maquette numérique (IFC) est imposé (cependant : pas partout dans l'appel d'offres);
- un plan de gestion BIM définissant les rôles et responsabilités, favorisant l'utilisation de TIC est présent;
- le coordinateur doit se servir d'outil de communication et de visualisation lors de la tenue des ateliers de conception intégrée et autres ateliers qualité, afin de dynamiser les échanges et optimiser les prises de décisions.

Ce document n'est pas exempt de points négatifs. Notamment, les relations ne sont pas clairement définies, surtout entre l'architecte et le gestionnaire BIM qui coordonne tous les intervenants sur le BIM. Il est cependant nécessaire de prendre en compte les contrats tels que celui de la SQI. Ils sont complets et conviennent bien pour des projets grands et complexes. Néanmoins, ils peuvent être trop gros et lourds pour des projets de plus petite envergure et moins complexes. Il est à noter qu'aucun point pertinent n'a été retrouvé dans les contrats entre clients et entrepreneurs généraux et dans les polices d'assurance des professionnels.

4.2.2 Analyse des observations de réunions

Les résultats des observations des réunions montrent que les acteurs ont de profonds désaccords :

- les entrepreneurs généraux et professionnels semblent très opposés les uns aux autres. Il est souvent question de responsabilités mal partagées ou par crainte des actions de l'autre par manque de confiance;
- le processus intégrant le BIM ne trouve pas de consensus entre les acteurs. Par exemple, les entrepreneurs généraux veulent une utilisation et un partage complet des maquettes. Les professionnels et clients veulent une différenciation des maquettes de conception et de construction.

Malgré ces fortes oppositions, les acteurs s'accordent sur certains points :

- il y a un réel manque de compétence freinant alors l'implantation et l'utilisation complète du BIM;
- une normalisation des pratiques de modélisation et de partages des maquettes est nécessaire;
- l'utilisation du BIM impose une révision de paiement des professionnels et des entrepreneurs généraux soumissionnaire.

Il semble alors nécessaire que les responsabilités, les processus et le paiement soient normalisés et révisés pour permettre une meilleure implantation des TIC et notamment le BIM.

4.3 Analyse des résultats des observations sur chantier

Nous analysons maintenant les résultats des différentes études de cas par rapport aux hypothèses de l'étude.

4.3.1 Période d'assimilation des nouveaux ouvriers

Afin d'examiner l'hypothèse sur la période d'assimilation des ouvriers (H1 : l'assimilation des ouvriers entraîne des délais importants), nous analysons tout d'abord la pertinence des résultats sur l'avancement et la productivité des S-T. Nous notons une différence légère sur l'avancement des S-T de système intérieur des cas 1 et 2 (Figure 3.12 et Figure 3.25). Cette différence est due à une différence dans la dynamique des projets : alors que le cas 1 n'a pas été retardé (courbe d'avancement en S), le cas 2 a dû attendre des directives. Ainsi, la courbe du cas 2 est plus aplatie puisque le S-T a dû restreindre ses équipes. La différence paraît donc pertinente. De plus, nous remarquons que la productivité calculée est très fluctuante sur les cas 1 et 2 (Figure 3.13 et Figure 3.26). Cela peut s'expliquer par la productivité des différentes tâches qui peuvent ne pas respecter celles prises dans les données de RSmeans. De plus, cette variabilité peut être expliquée par les différences d'habileté des différents travailleurs. Néanmoins, la revue de littérature a montré que la productivité est influencée par un grand nombre de facteurs qui peuvent donc la rendre variable. Néanmoins, nous constatons que l'ordre de grandeur est bien identique entre les deux cas. Les résultats semblent donc pertinents.

Les résultats des deux cas semblent montrer qu'il n'y a pas de lien entre l'arrivée de nouveaux ouvriers et la productivité (Figure 3.13 et Figure 3.26). Cependant, les surintendants des cas 1 à 3 affirment qu'un nouvel ouvrier va perdre une à deux heures de travail dû à l'assimilation. La remobilisation des mêmes ouvriers n'engage pas d'assimilation.

4.3.2 Problème de mobilisation des sous-traitants

Concernant l'hypothèse sur les délais de mobilisation (H2 : gestion des S-T entraîne des retards dans la mobilisation de S-T), nous analysons la pertinence des résultats obtenus sur les retardements. Nous observons deux différences dans les résultats des cas 1 et 2 :

- il y a en moyenne moins de retardements sur le cas 2 que sur le cas 1. Nous pouvons penser que cela est dû aux plus grosses contraintes de l'échéancier du cas 1 qui accepte

- moins de flexibilité (la livraison ne pouvait pas être décalée). De plus, dans le cas 2, les gros délais provoqués par les professionnels et le client ont laissé plus de flexibilité aux S-T;
- une différence dans les causes des retardements est observée entre les deux cas (Figure 3.10 et Figure 3.23). Contrairement au cas 2, une part non négligeable des retardements dans le cas 1 est due à des conflits entre S-T. Cette différence semble due à la grande pression sur l'échéancier forçant les S-T à travailler proche les uns des autres. Dans le cas 2, plus de manque d'ouvriers a été observé, mais ceux-ci n'ont pas impacté l'échéancier des travaux du fait de l'attente des demandes de changements;
 - sur les cas 1 et 2, nous concluons qu'aucune relation ne peut être faite numériquement entre l'ampleur des travaux et le taux de retardements (Figure 3.9 et Figure 3.22). Cependant, il est observé dans les deux cas que les S-T ayant les plus grands taux de retardement sont ceux ayant les ampleurs de travaux les plus faibles. Ainsi, le nombre de S-T semble augmenter le nombre de retardements (Figure 3.8 et Figure 3.21);
 - sur les cas 1 et 2, une majorité des retardements n'est pas attribué à la sur sous-traitance (ASST) (Figure 3.10 et Figure 3.23). Ces retardements sont dus aux professionnels et au client et ont créé les délais majeurs dans l'échéancier des deux cas. Néanmoins, la part de retardements ASST n'est pas négligeable.

Ainsi, les résultats concernant les retardements semblent pertinents au vu des spécificités des cas d'études.

L'hypothèse d'un impact des retardements de mobilisation des S-T sur le délai total ne semble pas validée. En effet, les retardements relevés durant les observations ne sont pas majoritairement des problèmes de mobilisations, mais dus aux professionnels et clients (Figure 3.10 et Figure 3.23). D'après les surintendants des cas 1 et 2, la mobilisation est compliquée dans le cas de S-T avec des travaux de faible ampleur. Néanmoins, le chemin critique est déterminé par les S-T ayant des travaux importants (Voir ANNEXE VII, Figure-A VII-1 et Figure-A VII-2), ce qui annule l'impact des délais de mobilisation des S-T ayant des travaux de faible ampleur.

D'autre part, au début des observations, les échéanciers préparés par les gérants de projets sont récupérés. De plus, les échéanciers réels sont réalisés au fil des projets grâce aux données récoltées. La méthode prévoyait l'analyse de ces échéanciers pour en déduire l'impact de la juridiction des métiers, mais plusieurs éléments expliqués ci-après empêchent cette analyse.

Tout d'abord, les échéanciers de base ne peuvent pas servir pour l'analyse pour trois raisons :

- ils ne sont pas correctement réalisés d'après les gérants de projet;
- ils ne sont pas utilisés pour la planification des travaux. Le suivi des délais est alors impossible sans date de références. Par exemple, le surintendant n'ayant pas de date fixe pour la rentrée des S-T, les délais de mobilisation ne peuvent être quantifiés correctement dans nos observations;
- il est complexe pour le chercheur de saisir toutes les dynamiques, de déduire les délais et de créer l'échéancier d'un cas idéal alors que les personnes ressources n'ont pas le temps d'expliquer ces détails. Les surintendants et gérants de projet réalisent des choix, et planifient selon des jugements personnels que le chercheur ne peut inclure dans son analyse.

Ensuite l'impact des demandes de changement et des conflits entre S-T sur l'échéancier n'est pas quantifiable. En effet, ces demandes et conflits mettent en attente une partie des travaux du S-T. La mise en attente peut ne pas affecter les S-T ayant assez de travaux à effectuer pendant l'attente. Mais cette attente peut ensuite modifier son travail en le rendant plus ponctuel. Le S-T se retrouve à effectuer des tâches dispersées sur le chantier au lieu d'avoir un avancement plus linéaire. Alors 3 impacts sont possibles :

- sa productivité peut être réduite. Malheureusement, cette baisse de productivité n'a pas pu être quantifiée du fait de la variabilité de la productivité relevée;
- le S-T peut aussi réduire les équipes pour compenser le manque de travail. Cette baisse du nombre d'ouvriers ne peut pas être identifiée au vu de la variabilité de cette grandeur;
- le S-T n'ayant plus assez de travail peut se démobiliser. Alors la date de démobilisation et de remobilisation peut être due à l'attente de la demande de changement, mais aussi à

l'attente d'autres S-T ou à un choix délibéré du S-T de privilégier un autre chantier. Ces causes se regroupent la plupart du temps. La cause de démobilisation n'est donc pas identifiable.

Ainsi, les retards constatés sur l'échéancier réel par rapport à l'échéancier planifié constituent des délais dont nous ne pouvons établir avec précision les causes à partir de nos seules observations des chantiers. Ces difficultés viennent appuyer les conclusions de Gautier *et al.* (2015) indiquant que les échéanciers deviennent difficiles à contrôler dû à la fragmentation des tâches induites par la multitude de S-T.

4.3.3 Gestion importante des S-T

Concernant l'hypothèse sur la gestion des S-T (H3 : le surintendant est submergé par la gestion des S-T causant alors des erreurs et délais), nous analysons tout d'abord la pertinence des résultats sur les communications et la gestion. Il avait été précisé par les surintendants que la gestion de routine pour chaque S-T, par exemple les questions techniques, n'est pas reportée. En étudiant les causes des communications et gestions reportées, il a été observé que la gestion de routine n'était effectivement pas reportée au chercheur. Ainsi, les données des communications et gestions reportées semblent non liées au type de S-T considéré. De plus, les quantités et les causes des communications et gestions sont dans le même ordre de grandeur sur les cas 1 et 2. Les résultats semblent ainsi pertinents.

Sur les cas 1 et 2, nous trouvons les résultats suivants :

- en moyenne les surintendants réalisent peu de gestions et de communications. Une différence significative a pu être observée entre les cas 1 et 2 durant la journée d'observations (58% du temps dans le cas 2 et 24% du temps sur le cas 1). Cette différence est due à la variabilité des journées du surintendant et à sa personnalité. Les surintendants ont en effet tous appuyé l'importance du surintendant et de sa méthode de travail qui varie d'un individu à l'autre;

- les S-T avec le plus petit taux de communications et de gestions sont ceux avec les travaux les plus conséquents (Figure 3.4 et Figure 3.17). Cela s'explique par la forte présence de ces S-T sur le chantier, ce qui permet de réduire le nombre de communications par téléphone ou courriels et de diminuer le nombre de communications de mobilisation. De plus, par exemple, les réunions de préparations doivent être effectuées pour chaque S-T, quelle que soit l'importance de ses tâches;
- les relations trouvées indiquent que les taux de communication et de gestion diminuent très rapidement avec l'augmentation de l'ampleur des travaux des S-T (Figure 3.5 et Figure 3.18). Ainsi, plus il y a de S-T, plus le surintendant doit réaliser des communications et gestion pour une même quantité de travail effectuée;
- la grande majorité des communications est due à la gestion de l'enchaînement des tâches sur le chantier et des problèmes des S-T;
- les communications et les gestions sont principalement réalisées entre la 1^{re} mobilisation et la démobilisation finale. Il semblerait donc que la gestion de l'avancement, les remobilisations ainsi que les problèmes d'avancement demandent beaucoup de communications;
- la faible communication et gestion avant la première mobilisation et après la dernière mobilisation confirme bien la différence de gestion entre le surintendant et le gérant de projet. Le surintendant a pour mission de gérer les travaux et les S-T directement sur le chantier. Ainsi, une grosse partie de cette gestion est effectuée par le gérant de projet en amont et en aval de la mobilisation des S-T qui se sent alors submergé d'après l'étude de Gautier *et al.* (2015);
- les communications sont principalement réussies et donc efficaces (86% et 79.3% respectivement pour le cas et 2). Cette grande majorité de réponses réussies est expliquée par l'utilisation massive du téléphone de la part du surintendant qui préfère ce mode plus direct et rapide en comparaison aux courriels. Les confirmations plus officielles et autres courriels sont généralement envoyés par le gérant de projet. La majorité des appels sont concluants ou le sont dans l'heure. Les S-T semblent ne pas répondre seulement lorsqu'ils ne veulent pas se mobiliser.

Ainsi, la multiplicité des S-T semble créer une augmentation de la gestion à réaliser de la part du surintendant liée à deux facteurs : le nombre de communications importants dans les cas de S-T ayant des travaux de faible ampleur, et la gestion de l'échéancier morcelé du au nombre de S-T. Néanmoins, cette augmentation n'a pas eu de conséquences majeures observées.

Finalelement, comme il a été écrit, les surintendants, bien que volontaires, n'ont pas le temps de « tout raconter ». Par exemple, ils ne peuvent ou ne veulent pas décrire toute la gestion/planification « de routine ». Pour combler ce manque, des journées d'observations ont été réalisées dans les cas 1 et 2. Néanmoins, si toutes les communications et gestions avaient été parfaitement reportées, la part de communication pour la coordination et la planification aurait été en réalité sûrement plus élevée. Ainsi, ces données n'auraient alors que renforcé les conclusions tirées dans cette étude.

4.3.4 Gestion de la sécurité

Nous regardons maintenant la gestion de la sécurité (H4 : le surintendant perd beaucoup de temps et d'argent pour gérer la sécurité des S-T). Dans les cas 1 et 2, une part non négligeable des gestions réalisées provient de la gestion de la sécurité des S-T (Figure 3.6 et Figure 3.19). Cependant, les gestions observées ne sont pas dues à des manquements à la sécurité des S-T malgré que seul l'entrepreneur général du cas 2 est embauché une firme extérieure de gestion de la sécurité. Ainsi, la grande majorité des gestions de la sécurité est due aux accueils sécurité. Les accueils sécurités sont considéré inutile par les S-T et surintendants. Ainsi ils ne sont pas tous effectués ou en retard.

4.3.5 Conflits juridiques et spatiaux

Concernant l'hypothèse sur les conflits entre S-T (H5 : les conflits juridiques et spatiaux peuvent entraîner des délais et baisses de productivité), nous analysons tout d'abord la pertinence des résultats sur les déficiences. Le nombre de déficiences est assez faible sur les cas 1 et 2. Ce faible nombre s'explique par le fait que :

- la liste de déficiences émise en fin de chantier n'est pas considérée;
- les surintendants ne rapportent pas les déficiences n'ayant pas eu un impact significatif sur l'échéancier;
- les S-T ont les compétences nécessaires et effectue du travail de qualité.

Ainsi, les résultats concernant les nombres de déficiences semblent donc cohérents. D'autre part, une différence est notée dans la répartition entre les deux cas d'étude (Figure 3.7 et Figure 3.20). Alors que les déficiences ne semblent pas avoir de causes prépondérantes dans le cas 2, les négligences ont une importance plus prononcée dans le cas 2. Cela est dû à des S-T qui sont qualifiés par le surintendant de mauvais. Il rejette la faute de cela sur le BSDQ qui peut donner des contrats à des compagnies qu'il n'aurait pas engagées sans obligation, car jugées incompetentes. Ainsi, cette différence dans les causes semble cohérente.

Les conflits entre S-T entraînent peu de déficiences reportées. Cependant, sur les cas 1 et 2, les résultats montrent qu'une grande partie des déficiences est attribuée à la sur sous-traitance. Ainsi, la diminution du nombre de S-T pourrait significativement diminuer le nombre de déficiences. De plus, les retardements dus aux conflits entre S-T ont été plus nombreux sur le cas 1 du fait de l'échéancier plus contraignant que le cas 2. Ces conflits ne semblent donc pas inévitables et semblent apparaître lorsqu'il y a une forte pression de l'échéancier poussant les S-T à travailler de manière rapprochée.

4.3.6 Évènements impliquant plusieurs sous-traitants

Concernant l'hypothèse des évènements impliquant plusieurs S-T (H6 : beaucoup d'évènements impliquent plusieurs S-T), nous analysons tout d'abord la pertinence des résultats. Plus d'interdépendances sont observées dans le cas 1 que dans le cas 2 (Figure 3.11 et Figure 3.24). Cela semble provenir des délais plus contraignants du cas 1. En effet, dans le cas 2 les retards dus aux professionnels et aux clients ont étalé les travaux dans le temps. Alors, les S-T ont eu moins d'interaction et ont eu le temps de voir arriver les problèmes et de les résoudre. Les résultats semblent donc pertinents.

Sur les cas 1 et 2 nous retrouvons les mêmes résultats. Les S-T avec le plus d'évènements en commun avec les autres sont les S-T en mécanique (Ventilation, électricité, plomberie, gicleur) et le système intérieur. Les actions concernant ces S-T sont souvent liées puisque leurs travaux demandent beaucoup de coordination et leurs travaux peuvent facilement rentrer en conflit les uns avec les autres.

Alors, la réglementation des métiers ne semble pas adaptée à certains cas. En effet, les S-T ont besoin de souplesse pour effectuer des tâches annexes à leur métier. Ces S-T, les plus interdépendants (système intérieur et mécanique), ont des métiers très différents, semblant impossibles à regrouper. Néanmoins, il a été observé sur tous les chantiers que malgré la réglementation des métiers, les S-T de mécanique peuvent par exemple effectuer eux-mêmes des ouvertures dans le gypse. Les S-T prennent cette liberté, car tout le monde s'accorde sur le fait qu'il serait contre-productif de demander aux ouvriers de système intérieur de réaliser ces travaux ponctuels.

4.4 Interprétations des données grâce à la dynamique des systèmes

Les données analysées permettent de montrer la pertinence des hypothèses et de les quantifier, nous servant pour établir des relations servant à créer un modèle de dynamique des systèmes. Nous définissons tout d'abord le but et le type du modèle proposé. Comme nous l'avons vu dans la littérature, les modèles de dynamique des systèmes pour les nouveaux domaines d'études sont simples. Le choix est donc fait de réaliser un modèle simple modélisant le travail de trois S-T. Un S-T de tirage de joints, un de peinture et un de revêtement de sol souple sont considérés, car ils pourraient être facilement regroupés.

Tableau 4.2 Données du modèle

Unité de travail en tirage de joints	1110 heures-personne
Unité de travail en peinture	720 heures-personne
Unité de travail en pose de revêtements de sol	936 heures-personne
Productivité normale	1 unité de travail par ouvrier et par heure

Nous basons les valeurs du modèle sur celles du cas 1 puisque ce projet fut moins perturbé par des problèmes et délais dus aux professionnels et au client. La modélisation utilise comme unité de travail les jours-personnes de ces S-T tirés du cas 1 convertis en heures-personne (un jour-personne=8heures-personne) (voir Tableau 4.2). Ainsi, les ouvriers mettent une heure pour effectuer une unité de travail (heure-personne) en temps normal. Cette productivité dite normale sera influencée durant toute la construction par des paramètres expliqués dans les parties suivantes (voir Tableau 4.2). Quatre hypothèses de la recherche sont modélisées et présentées ci-après.

4.4.1 Période d'assimilation des nouveaux ouvriers

Nous désirons modéliser l'assimilation des nouveaux ouvriers qui ne sont pas pleinement efficaces sur le chantier juste après leur mobilisation (H1). Un modèle de la littérature est adapté aux observations réalisées. Abdel-Hamid (1989) a modélisé le temps d'assimilation des employés dans la conception d'un logiciel. Ce modèle de la littérature prend en compte l'adaptation de travailleurs à de nouvelles conditions. Cette assimilation, bien que semblable, n'est pas la même pour un ingénieur conception qu'un ouvrier. Il est donc nécessaire d'adapter le modèle pour pouvoir le reprendre dans cette étude. Ce modèle possède comme paramètre le temps moyen d'assimilation. Nous fixons ce temps d'assimilation en fonction de nos observations.

4.4.1.1 Étude des dynamiques du modèle d'Abdel-Hamid (1989)

Nous analysons dans cette partie le retard sur les travaux qu'implique le paramètre temps d'assimilation du modèle d'Abdel-Hamid (1989). Ce modèle donne la dynamique représentée dans la Figure 4.12 pour un temps d'assimilation moyen de 1h30min. Dans ce graphique, nous affichons la productivité et les tâches restantes d'un ouvrier déjà assimilé (ouvrier habitué), respectivement les courbes 3 et 4. Ces courbes sont comparées à la productivité et les tâches restantes d'un nouvel ouvrier effectuant les mêmes tâches (Courbe 1 pour la productivité et courbe 2 pour les tâches restantes).

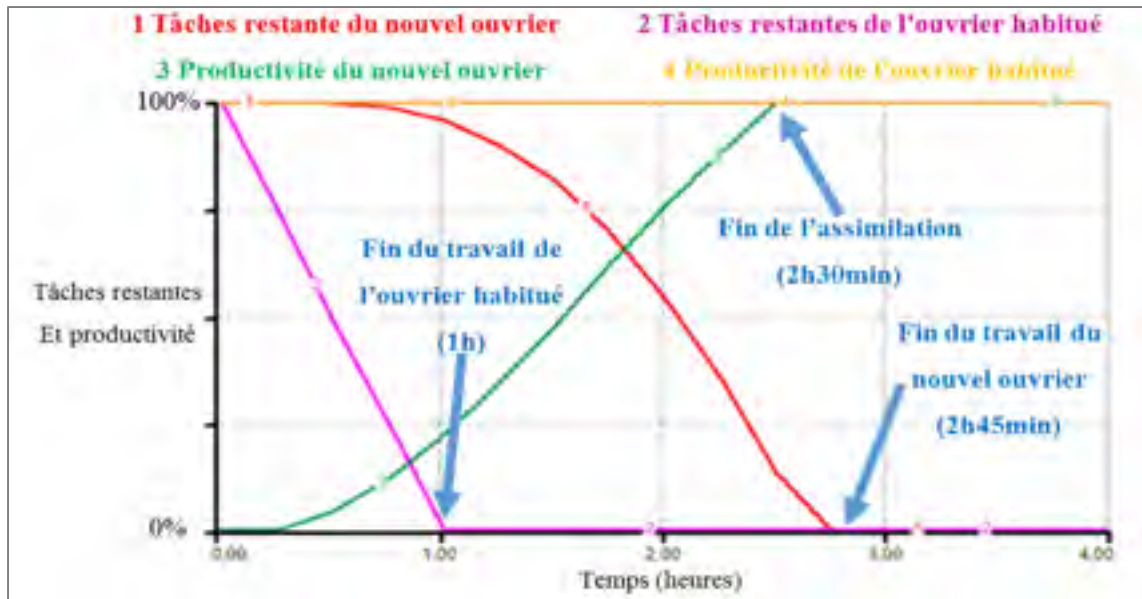


Figure 4.12 Dynamiques de l'assimilation d'un ouvrier modélisé par les SD
Tirée d'Abdel-Hamid (1989)

Nous voyons que l'augmentation progressive de la productivité du nouvel ouvrier prend 2h30min pour atteindre la productivité de l'ouvrier habitué. Le nouvel ouvrier met alors 2h45 pour effectuer ses tâches, soit 1h45 de plus que l'ouvrier habitué.

4.4.1.2 Adaptation du modèle d'Abdel-Hamid (1989) aux observations

D'après les résultats des observations, les ouvriers semblent avoir une courte période d'assimilation perdant d'une à deux heures de travail selon les surintendants. Nous modélisons ainsi, une perte de temps de 1h45 avec le paramètre temps d'assimilation fixé à 1h30 avec le modèle d'Abdel-Hamid (1989). Après ce temps, il travaillera comme un ouvrier étant là depuis longtemps. Ainsi, la productivité moyenne des ouvriers, influencée par l'assimilation est définie dans l'équation (4.1).

$$\begin{aligned}
 \text{Productivité}_{\text{assimilation}} & & (4.1) \\
 &= \text{Productivité normale} \\
 &\cdot \text{pourcentage d'ouvriers habitué}
 \end{aligned}$$

4.4.2 Communications et gestions

Nous modélisons l'effet de la gestion du surintendant sur les travaux des S-T. L'analyse a montré que l'augmentation du nombre de S-T entraîne une augmentation de la gestion et des communications faites par le surintendant (H3). Alors, le surintendant a moins de temps pour réaliser sa gestion de routine et son suivi des travaux qu'il considère comme très importants. Les S-T font alors plus d'erreurs, travaillent moins vite. Enfin, plus les S-T font des erreurs, plus le surintendant doit réaliser de gestions. Ces dynamiques sont traduites dans le diagramme causal de la Figure 4.13.

Ainsi, les relations trouvées précédemment entre le taux de gestion et l'ampleur des travaux ainsi qu'entre le taux de communication et l'ampleur des travaux sont utilisés ici (Figure 3.4, Figure 3.5, Figure 3.17 et Figure 3.18). Pour créer un modèle correspondant au diagramme causal de la Figure 4.13 nous prenons plusieurs hypothèses qui sont décrites dans les sous-parties suivantes.

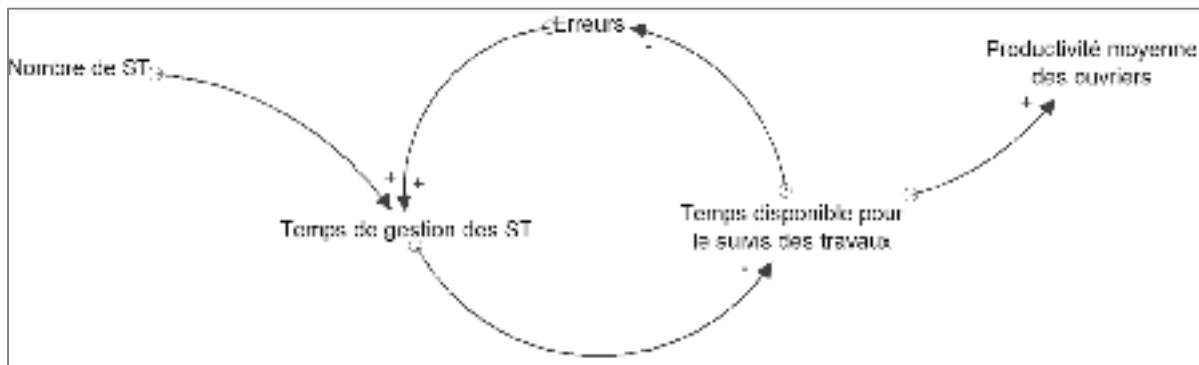


Figure 4.13 Diagramme causale des communications et de la gestion

4.4.2.1 Modélisation du temps de gestion initial

L'hypothèse est prise que chaque communication relevée nécessite en moyenne 5 minutes et chaque gestion relevée en moyenne 20 minutes. Nous additionnons ces quantités pour avoir le temps de gestion du surintendant. Grâce aux données récoltées et présentées dans la partie résultats, nous réalisons ensuite le graphique de ce temps de gestion en fonction des jours-

personnes (ampleur des travaux) des S-T dans la Figure 4.14. L'équation (4.2) donnée par la courbe de tendance est modélisée dans le modèle pour obtenir un temps de gestion (du surintendant auprès des S-T) initial en fonction de l'ampleur des travaux de chaque S-T. Nous définissons le temps de gestion optimal par le temps de gestion calculé si un seul ST effectuait l'intégralité des 3 tâches modélisées comme vu dans l'équation (4.3).

$$\text{Temps de gestion initial (heures)} \quad (4.2)$$

$$= \sum_k 0.1691 \cdot (\text{jours} - \text{personnes}_k)^{0.5267}$$

Avec k les S-T

$$\text{Temps de gestion optimal (heures)} \quad (4.3)$$

$$= 0.1691 \cdot \left(\sum_k \text{jours} - \text{personnes}_k \right)^{0.5267}$$

Avec k les S-T

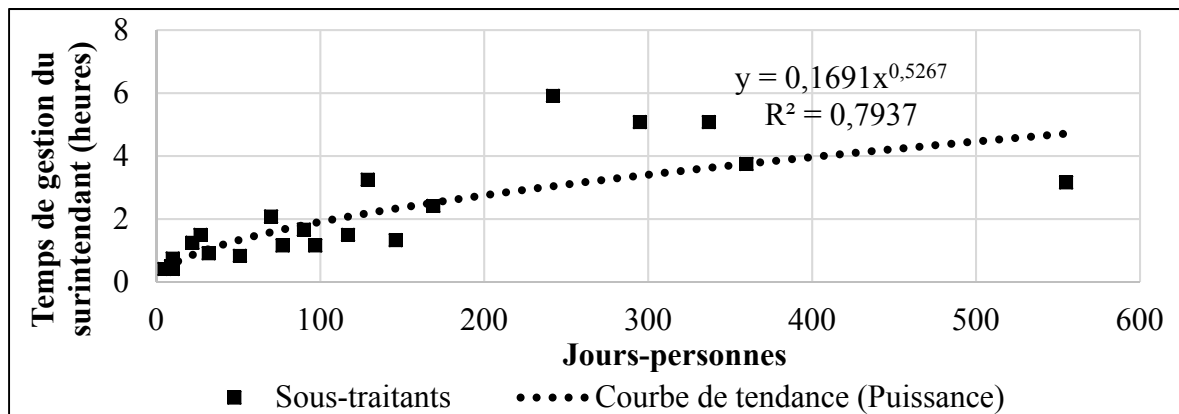


Figure 4.14 Temps de gestion en fonction de l'ampleur des travaux des ST (cas 1)

4.4.2.2 Modélisation des erreurs

Les surintendants n'ont reporté que très peu d'erreurs au chercheur. Nous basons alors notre modélisation sur la littérature. Nous avons vu dans la littérature que les coûts de gestion oscillent entre 2 et 6% des coûts de construction. Nous faisons l'hypothèse que ce coût est proportionnel au nombre d'erreurs par rapport au nombre de tâches. Ce pourcentage

d'erreurs commises est utilisé afin de déterminer les taux de productivité et de production d'erreurs comme nous le voyons dans les équations (4.4) et (4.5).

$$\begin{aligned} \text{Taux de productivité} &= \text{Productivité} \cdot \text{Nb d'ouvriers} & (4.4) \\ &\cdot (1 - \% \text{ d'erreurs commises}) \\ & \text{(Unités de travail/heure)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Taux de production d'erreurs} &= \text{Productivité} & (4.5) \\ &\cdot \text{Nb d'ouvriers} \cdot \% \text{ d'erreurs commises} \\ & \text{(Unités de travail erronées/heure)} \end{aligned}$$

Nous ne considérons pas la reprise des erreurs dues au manque de gestion. En effet, nous considérons que cette perte de temps occasionnée par ces reprises est déjà prise en compte dans la perte de productivité due à la gestion modélisée dans la partie suivante.

Nous faisons l'hypothèse que le surintendant doit réaliser deux appels et une gestion (gestion totale de 30 minutes) pour chaque unité de travail erronée (voir équation (4.6)). Cette gestion se rajoute alors à la gestion totale, fermant la boucle présentée sur la Figure 4.13.

$$\begin{aligned} \text{Temp de gestion}(t + \Delta t) &= \text{Temps de gestion}(t) + & (4.6) \\ &\text{Taux de production d'erreurs} \cdot \Delta t \cdot 0.5 \\ & \text{(Heures)} \end{aligned}$$

$$\text{Avec } \text{Temp de gestion}(0) = \text{Temps de gestion initial}$$

Dans le modèle nous calculons alors le ratio de gestion défini dans l'équation (4.7). Ce taux est compris entre 0 et 1. Ce rapport est utilisé pour définir l'influence de la gestion superflue sur la productivité et les erreurs des S-T.

$$\text{Ratio de gestion}(t) = \frac{\text{Temps de gestion optimal}}{\text{Temps de gestion}(t)} \quad (4.7)$$

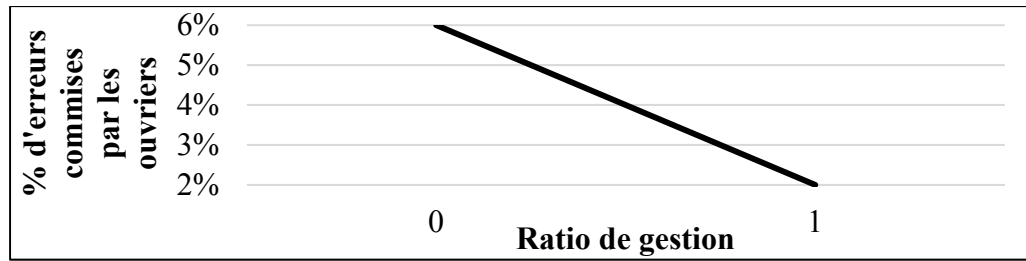


Figure 4.15 Relation entre la gestion et les erreurs

Nous prenons alors l'hypothèse que les ouvriers réalisent 2% d'erreurs lorsque la gestion est optimale (ratio de 1) et 6% lorsque le ratio entre la gestion optimale et la gestion simulée est au plus bas (ratio de 0). Cette relation est représentée graphiquement sur la Figure 4.15.

4.4.2.3 Modélisation de l'effet de la gestion sur la productivité

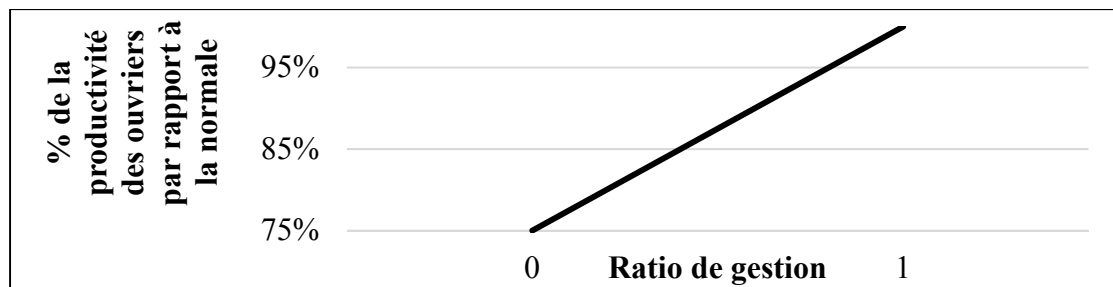


Figure 4.16 Effet de la gestion sur la productivité

Beaucoup de recherches étudient l'importance des différents facteurs sur la productivité, mais ne définissent pas de relations entre ces facteurs et productivité. Nous ne pouvons pas tirer de conclusions pertinentes avec les valeurs observées du fait du nombre important de facteurs influençant la productivité. Nous utilisons donc l'avis des surintendants pour modéliser ces relations. D'après les surintendants, lorsqu'ils n'effectuent pas leur gestion de routine, les S-T peuvent perdre jusqu'à 25% de la productivité. Alors nous définissons l'effet du ratio de gestion sur la productivité selon la relation représentée graphiquement sur la Figure 4.16. Le maximum de perte de productivité (-25%) est donc modélisé lorsque le ratio de gestion est le plus défavorable (ie. 0) (voir équation (4.8)). Lorsque la gestion simulée est égale à la gestion

optimale (ratio égal à 1) alors la productivité est inchangée. Les pertes de productivité pour des ratios de gestion entre 0 et 1 sont modélisées linéairement.

$$\begin{aligned}
 & \text{Productivité} = & (4.8) \\
 & \text{Productivité}_{\text{assimilation}} \cdot \text{Effet du taux de gestion} \\
 & \text{(Unités de travail/heure/ouvrier)}
 \end{aligned}$$

4.4.3 Gestion de la sécurité

Nous modélisons les accueils sécurité (H4). En effet, les nouveaux ouvriers arrivant sur le chantier doivent effectuer un accueil sécurité auprès du surintendant. Pour traduire ces accueils dans le modèle de dynamique des systèmes, seul le temps perdu par l'ouvrier est modélisé. En effet, la gestion des accueils sécurité est déjà prise en compte dans la gestion initiale modélisée dans la partie précédente. Dans cette étude, nous considérons que chaque nouvel ouvrier a un accueil sécurité.

Pour la modélisation, un temps d'accueil sécurité de 20 minutes est fixé d'après les observations réalisées. Cet accueil sécurité rend improductifs les ouvriers arrivant sur le chantier pendant ce temps d'accueil fixé. La modélisation de ce temps perdu est faite par un temps où la présence de l'ouvrier n'est pas prise en compte dans l'avancement des travaux. Cela se traduit dans le diagramme causal de la Figure 4.17.

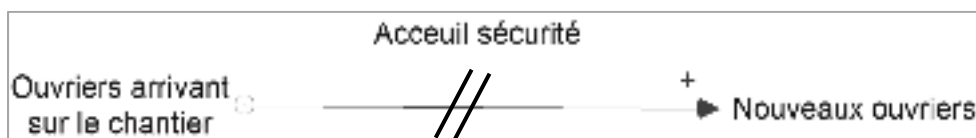


Figure 4.17 Diagramme causale des accueils sécurité

4.4.4 Mobilisation des sous-traitants et nombre d'ouvriers

Nous cherchons à modéliser les dynamiques de mobilisation des S-T. En effet, les relations entre entrepreneurs généraux et S-T causent des erreurs plus importantes, des pertes de temps

et un manque de flexibilité comparée à une relation employé/ouvrier. Cela cause des délais de mobilisations plus longs et traduits en Figure 4.18. Les délais de mobilisation dus à la mauvaise gestion des S-T et leur grand nombre n'ont pas pu être quantifiés par les observations. En effet, ces délais sont difficilement quantifiables tant les causes et facteurs influents sont nombreux. Les surintendants et le chercheur observent néanmoins que les S-T se mobilisent moins pour des tâches plus petites. Les S-T sont souvent plus difficiles à mobiliser lorsque l'ampleur des travaux est réduite. Il en est de même donc pour la correction des déficiences en fin de chantier.

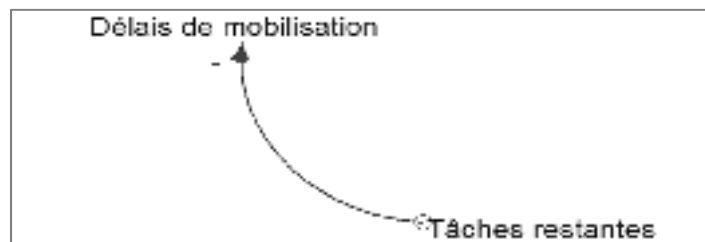


Figure 4.18 Diagramme causale de la mobilisation

Les observations ont montré que les S-T diminuent leurs équipes lorsque les travaux touchent à leur fin. Les surintendants estiment que les S-T baissent leur nombre de travailleurs pour les finitions, évaluées à 10% du travail. Ainsi le nombre d'ouvriers souhaité par les S-T en fonction de l'avancement est représenté sur la Figure 4.19.

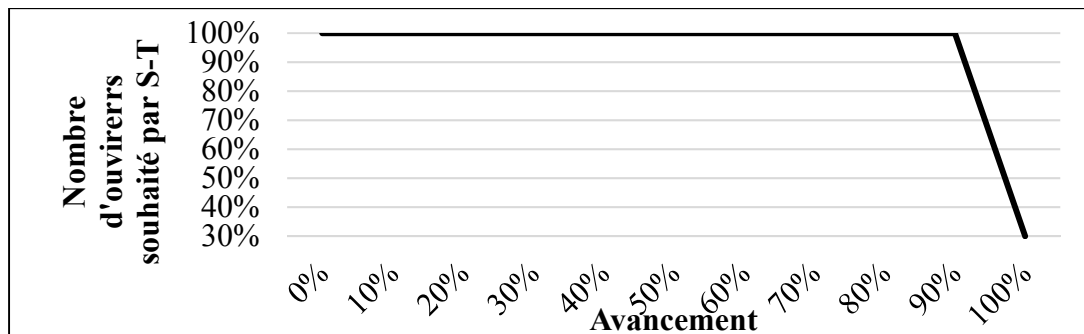


Figure 4.19 Nombre d'ouvriers souhaités par S-T en fonction de l'avancement de leurs travaux

Enfin, conformément aux observations, dans la modélisation, les S-T ne peuvent se mobiliser qu'en début de journée et ne commencent pas une mobilisation le vendredi.

4.4.5 Simulations

L'unité de temps du modèle est l'heure. Les simulations sont réalisées avec un pas de temps de quinze minutes (0.25h). Nous simulons tout d'abord un projet où trois S-T sont engagés pour effectuer les 3 tâches (expliquées page 139). Cette simulation est ensuite comparée à une simulation où un seul S-T est engagé. Ce S-T utilise alors une seule équipe réalisant les 3 tâches. Un nombre de 10 ouvriers est défini comme le nombre maximal de travailleurs pouvant travailler sur le chantier en même temps. Nous prenons comme hypothèse que les S-T peuvent mobiliser 10 ouvriers chacun. Nous faisons l'hypothèse qu'un S-T attend que le S-T avant lui ait réalisé 60% de ces travaux pour pouvoir commencer ses propres travaux. L'intégralité des équations utilisées est donnée en ANNEXE IX. Des études de sensibilités et de validations proposées par Sterman (2000) (comme les simulations aux valeurs limites) sont réalisées sur le modèle.

4.4.5.1 Chantier de taille moyenne

Une première simulation du modèle est lancée avec trois S-T puis avec un seul S-T. Les résultats en termes de durée de projet et de nombre d'erreurs sont donnés dans le Tableau 4.3. L'écart entre la durée des deux projets simulés n'est que de 4.2%. Ils ne semblent donc pas avoir d'influence de la sur sous-traitance sur la durée des travaux.

À l'opposé, la sur sous-traitance semble avoir une grande influence sur les erreurs. En effet, la diminution à un seul S-T réduit de près de 60% le nombre d'erreurs simulées.

D'après la comparaison des résultats présentée en annexe (Voir ANNEXE X, Figure-A X-1 et Figure-A X-2), il semble que la sous-traitance (3 S-T) fasse augmenter la gestion et donc les erreurs et baisser la productivité. Cependant, la dynamique de mobilisation plus efficace

avec 3 S-T est compensée par les pertes de productivité ce qui réduit l'écart de durée entre les deux simulations.

Tableau 4.3 Durée des projets simulés d'un projet de moyenne envergure

Hypothèse du nombre de S-T	3 S-T	1 S-T	Différence
Nombre d'heures de travail (h)	348.8	334	-4.2%
Nombre total d'erreurs effectuées (unités de travail)	26.3	10.7	-59.3%

4.4.5.2 Chantier de petite taille

D'après l'avis des surintendants et gérants de projet, l'ampleur des chantiers observés semble trop importante pour que la juridiction des métiers ait un impact significatif sur la durée des projets. Afin de vérifier cela, nous simulons un projet vingt fois plus petit. Le nombre d'unités de travail est divisé par 20. Cela correspond à un chantier dont le budget total serait de 250 000\$ contre 5M\$ pour les simulations précédentes (estimations basées sur le cas 1). Nous prenons l'hypothèse que le nombre d'ouvriers maximum sur le chantier est de 3. Les résultats sont reportés dans le Tableau 4.4. Les résultats graphiques sont donnés en annexe (Voir ANNEXE X, Figure-A X-1 et Figure-A X-2). D'après les simulations la sous-traitance engendre donc des délais plus importants pour les petits chantiers. En effet, sur le petit chantier simulé le gain de temps pour l'utilisation d'une seule équipe au lieu de trois est de 33.8%. De plus, les erreurs étant faible (1.4 et 1.8 unité de travail), la différence en faveur de l'utilisation de 3 équipes semble négligeable.

Tableau 4.4 Durée des projets simulés d'un projet de petite envergure

Hypothèse du nombre de S-T	3 S-T	1 S-T	Différence (%)
Nombre d'heures de travaux (h)	82.8	54.8	-33.8%
Nombre total d'erreurs effectuées (Unités de travail)	2	1,8	-10%

4.4.5.3 Mise à disposition du modèle

Afin de pouvoir être utilisé par tous, le modèle est disponible via une interface graphique à l'adresse suivante : <https://sims.iseesystems.com/maxime-sagnier/modèle-du-mémoire-de-maxime-sagnier/#page1>

Cette interface comprend une première page d'accueil et de contrôle des paramètres avec :

- quatre boutons disponibles pour visualiser les différentes parties du modèle. Ils sont intitulés « Vision du modèle, partie : [...] »;
- un bouton de remis à zéro pour réinitialiser tous les graphiques et paramètres (revient aux paramètres de simulation d'un chantier moyen avec trois S-T);
- un bouton pour accéder aux pages de résultats (contenant le bouton pour lancer la simulation avec les paramètres définis);
- une zone du choix de scénario pour définir les variables définissant les scénarios d'ampleur de travaux et de sous-traitance;
- une zone pour contrôler les hypothèses prises en compte.

L'interface comporte deux pages de résultats :

- la première, initialement vide, montre les résultats de la dernière simulation lancée par l'utilisateur;
- la deuxième comporte des graphiques comparatifs. Ces graphiques comprennent initialement les résultats des quatre simulations présentées dans cette étude. Puis les résultats de la dernière simulation de l'utilisateur s'ajoutent.

De plus, le fichier du modèle est donné dans le disque fourni avec ce mémoire (Voir ANNEXE XI).

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5.1 Synthèse

L'objectif était d'identifier les freins et incitatifs à l'implantation des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'industrie de la construction québécoise et de valider et quantifier l'impact de la juridiction des métiers sur la productivité et la gestion des projets de construction.

Tout d'abord, pour étudier l'implantation des nouvelles technologies, une revue du cadre légal de l'industrie de la construction ainsi que des entretiens et des observations de réunions ont été réalisés. Les résultats sont discutés selon la nature des implications sur l'implantation des TIC.

5.1.1 Contexte freinant l'implantation des TIC

L'analyse des réseaux sociaux a permis d'identifier un contexte freinant l'implantation des TIC. Cette analyse a tout d'abord démontré la fragmentation observée dans la littérature. Cette fragmentation se retrouve dans la collaboration, la confiance et les visions des acteurs qui sont regroupés en équipe (Conception, client et construction). L'équipe de construction est isolée du groupe formé par l'équipe de conception et le client. De plus, les acteurs de cette équipe (entrepreneurs généraux et S-T) sont plus isolés entre eux que les autres acteurs entre eux. En outre, les réseaux sociaux étudiés sont loin des réseaux idéaux que l'on peut espérer pour une entière collaboration et utilisation des TIC. La collaboration exigée par les contrats reste aussi centrée sur certains acteurs, notamment l'architecte, alors qu'il n'est pas au centre des acteurs d'après nos observations. Les résultats prouvent donc la fragmentation de l'industrie de la construction discutée dans la littérature. En outre, il est apparu dans les réunions observées une différence de point de vue entre l'entrepreneur général et les professionnels qui viennent entraver leur volonté d'utiliser ensemble les TIC.

De plus, d'après l'analyse des entretiens, les acteurs sont satisfaits de leurs moyens de communication et formats échangés alors que ceux-ci sont loin du cas idéal où tous les acteurs collaborent en utilisant les TIC. Cette satisfaction freine les acteurs dans leur investissement dans les TIC puisqu'ils ne voient pas les bénéfices potentiels. De plus, les analyses ont montré un manque criant de volonté de partage des informations sur les TIC en formats ouverts et modifiables. Ainsi, les TIC ne peuvent pas avoir les bénéfices escomptés s'ils sont implantés dans un tel contexte.

5.1.2 Contexte incitant l'implantation des TIC

Les observations ont aussi pu dépeindre un contexte incitant à l'implantation des TIC. En effet, une certaine collaboration est déjà demandée dans les contrats. Cela encourage et oblige dans une certaine mesure les acteurs à utiliser les TIC. Cette incitation permet de faire découvrir à certains acteurs les TIC, ce qui peut permettre aux acteurs de voir les bénéfices et restreindre leurs craintes.

Durant les observations, il a été observé certains consensus. D'après les entretiens, les acteurs semblent tous d'accord sur l'importance des appels téléphoniques et l'utilité des courriels pour l'archivage et la traçabilité des décisions et actions prises après les appels téléphoniques. Cependant, ces courriels sont mal utilisés et submergent les acteurs. Des TIC seraient alors bienvenues pour mieux gérer ces communications, notamment pour l'archivage et la traçabilité. Les acteurs s'accordent aussi sur certains aspects techniques à mettre en place. En effet, d'après l'analyse des réunions observées, tous les acteurs sont pour une normalisation de l'utilisation des technologies afin que tout document soit facilement accessible, compréhensible et modifiable par chacun. Un point positif pour l'implantation des TIC est aussi l'accord des acteurs sur les facteurs qui devraient être améliorés (cités ci-après).

Enfin, certains acteurs sont demandeurs de TIC. C'est le cas des surintendants des cas 1 et 2 étudiés qui voient de grandes possibilités d'amélioration de la productivité sur chantier grâce aux TIC.

5.1.3 Frein à l'implantation des TIC

Les résultats de l'étude ont permis de mettre en lumière les freins les plus importants à l'implantation des TIC pour les acteurs de la construction québécoise. Ces freins sont tirés des remarques des différents répondants et de l'observation de réunions. Tout d'abord, pour les acteurs, il y a un gros manque d'aptitudes dans les TIC. Les personnes n'ont pas les compétences du fait de la faiblesse de la formation et du manque de temps pour la formation et pour passer la courbe d'apprentissage dans les entreprises.

D'autre part, il y a un manque de connaissance au niveau de l'existence et des bénéfices des TIC. En effet, les acteurs les plus réticents sont globalement ceux connaissant le moins les TIC. Ces acteurs ne voient pas les bénéfices que peuvent apporter les TIC. Alors devant les coûts des infrastructures et de la formation, l'implantation des technologies est alors vue comme un risque financier. Les acteurs attendent de voir des exemples de réussite pour implanter les TIC dans leurs pratiques et ne veulent pas être les premiers à implanter les TIC. Les acteurs pensent que l'implantation passe donc par l'exigence de celles-ci par les clients publics et une dynamique générale où tous les acteurs implantent ensemble les TIC.

De plus, le décret sur les honoraires des professionnels ne semble pas adapté à l'utilisation et la gestion des TIC. Certains professionnels estiment que ces honoraires ne sont pas assez élevés pour leur permettre l'implantation des TIC qui leur demande du temps. De plus, les entrepreneurs généraux et certains clients pensent que ces honoraires incitent les professionnels à un travail minimal.

D'autre part, sur le chantier, d'après les surintendants, les TIC semblent aussi difficiles à implanter dû à la réticence des ouvriers. De plus, certains ne voient l'utilité du 3D par rapport au 2D. Cependant selon les surintendants des cas étudiés cela est amené à changer et les ouvriers seront à l'avenir plus ouverts.

Finalement, l'un des principaux freins est le manque de confiance actuel entre les acteurs. Les acteurs justifient souvent ce manque de confiance et de collaboration par des soucis légaux et de responsabilités. Les entrepreneurs généraux et S-T ne paraissent pas honnêtes aux yeux des autres acteurs à cause de la loi sur le plus bas soumissionnaire. Les acteurs affirment aussi que ce manque de collaboration vient du flou de responsabilité, qui inquiète les professionnels. Les problèmes de responsabilités sont un sujet récurrent dans les discussions de confiance et de partage entre les acteurs. De plus, l'analyse des documents légaux et contractuels a permis de confirmer qu'il y a des points freinant la collaboration et rendant floues les responsabilités des acteurs.

5.1.4 Impacts de la juridiction des métiers

L'objectif de cette étude était aussi de valider et quantifier les impacts de la juridiction des métiers sur la productivité et la gestion des projets de construction de petits et moyens chantiers. L'analyse a révélé que sur les chantiers d'envergure moyenne observés, le principal impact de la juridiction des métiers est l'augmentation du nombre de communications et de gestions du surintendant (H3). Le surintendant a alors moins de temps pour réaliser ses missions premières : le suivi des S-T et de leurs travaux directement sur le chantier. Cela entraîne alors une baisse de productivité des S-T.

De plus, l'analyse a révélé que cinq hypothèses étaient négligeables sur les chantiers observés :

- la période d'assimilation des nouveaux ouvriers (H1) ne semble pas affecter grandement la productivité et ne fait perdre qu'entre une et deux heures aux travailleurs. Cet impact est négligeable sur les chantiers observés. Cependant, comme le montre notre modèle de dynamique des systèmes, l'impact est plus conséquent sur les chantiers de quelques semaines;
- les problèmes de mobilisation des S-T (H2) se sont révélés assez faibles sur les chantiers observés. Les délais sont majoritairement causés par l'attente de réponses ou de changement de la part des professionnels et du client. Cependant, les surintendants et les

- simulations par la dynamique des systèmes indiquent que les problèmes de mobilisation des S-T sont plus problématiques et ont plus d'impact sur les chantiers de petite taille que de taille moyenne;
- la gestion de la sécurité du surintendant pour les S-T (H4) est assez faible. Seuls les accueils sécurités sont chronophages. Ceux-ci ne sont pas toujours réalisés du fait du grand nombre de nouveaux ouvriers arrivants sur le chantier. Le grand nombre de S-T augmente donc le nombre de nouveaux ouvriers qui ne reçoivent alors pas tous d'accueil sécurité;
 - peu de conflits spatiaux (H5) sont observés. Les conflits juridiques n'ont pas été observés. Cependant, il est noté que les conflits spatiaux sont plus nombreux sous un échancier plus contraignant et quand les S-T sont obligés de cohabiter dans les mêmes espaces de travail. Ces conflits semblent alors plus nombreux sur les projets de petite envergure;
 - les évènements impliquant plusieurs S-T (H6) ne sont pas très nombreux. Cependant, les S-T de mécaniques et celui de système intérieur sont très liées les uns aux autres. Certains, ouvriers de S-T mécaniques exécutent même des tâches qui ne sont pas dans leur juridiction.

Ainsi, ces hypothèses semblent négligeables sur les chantiers observés d'envergure moyenne semblent avoir des impacts plus importants sur des chantiers de plus petite envergure.

5.2 Implications pour l'industrie de la construction et le cadre légal

D'après l'analyse, l'hypothèse que l'industrie de la construction québécoise possède des spécificités freinant ou incitant l'implantation des TIC est vérifiée. En effet, bien que les résultats de cette étude montrent que nous retrouvons en partie les mêmes freins dans la littérature, l'analyse montre que certains de ces freins et incitatifs proviennent du cadre légal québécois.

Ces freins et incitatifs ont alors des implications sur les acteurs et le cadre légal. Tout d'abord, pour casser la barrière due au manque de vision des bénéfices, les entreprises devraient mieux se renseigner sur ces technologies, les services qu'elles proposent et sur les avantages prodigués qui sont documentés dans beaucoup d'études de cas dans la littérature.

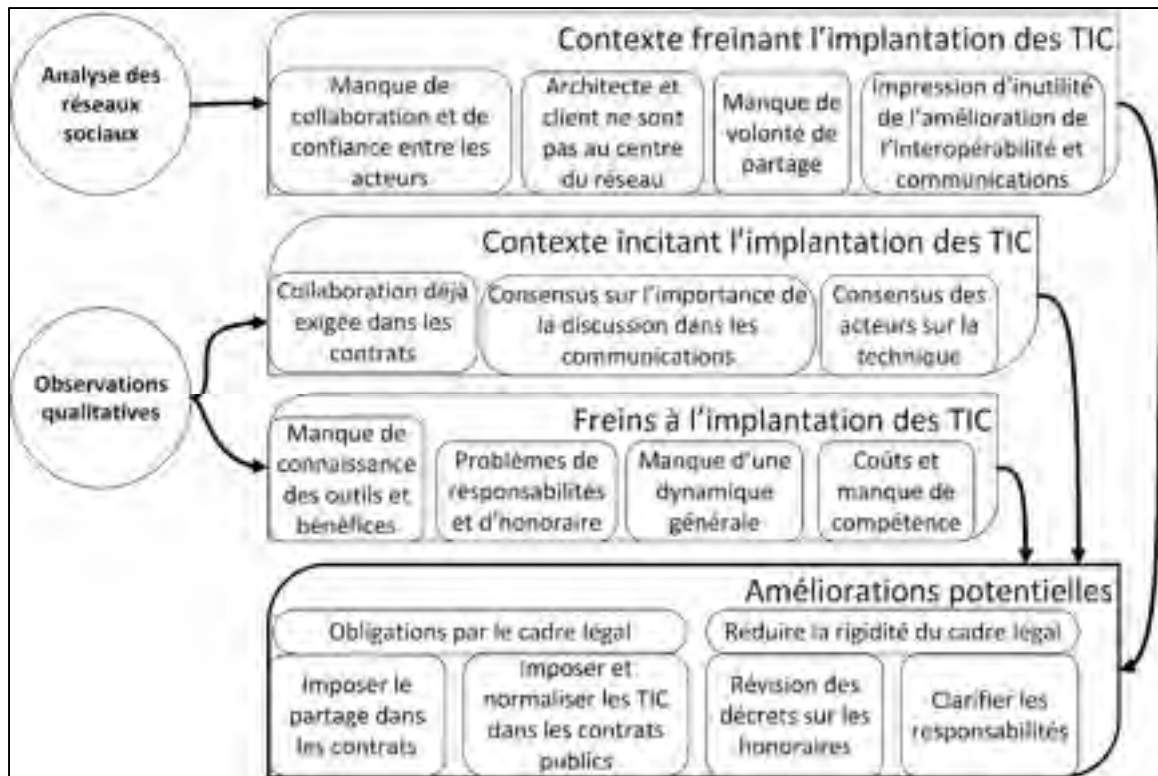


Figure 5.1 Résumé des discussions sur l'implantation des TIC

De plus, comme nous l'avons vu, les acteurs ne collaborent pas pleinement entre eux. Les contrats précisent que cette collaboration est pourtant obligatoire. Les acteurs devraient alors suivre ces exigences. Cependant, comme vue dans la littérature et dans nos résultats, cette collaboration est dépendante de la confiance. Cette confiance doit s'améliorer. Ce manque de confiance actuel dû aux craintes face aux responsabilités et aux différences d'intérêts semble pouvoir se régler avec un changement du cadre légal, selon les répondants. En effet, il semble important de normaliser les contrats et les responsabilités pour que les acteurs puissent se faire confiance et partager leurs informations librement sur les TIC. De plus, les acteurs semblent vouloir une révision du décret sur les honoraires des professionnels pour prendre en

compte l'utilisation des TIC. Ensuite, une dynamique globale peut être lancée par les clients publics en imposant l'utilisation des TIC pour aider les entreprises à les implanter et ainsi voir leurs bénéfices et réduire les risques financiers des entreprises. Les discussions sur l'implantation des TIC dans l'industrie de la construction québécoise sont résumées dans la Figure 5.1.

5.3 Implications des impacts de la juridiction des métiers

L'analyse a aussi permis de valider et quantifier certaines hypothèses de la littérature. Ces conclusions révèlent certaines implications pour les entrepreneurs généraux, S-T et le cadre légal. En ce qui concerne les entrepreneurs généraux et les S-T, comme discuté précédemment, ceux-ci devraient porter attention aux périodes d'assimilation des travailleurs en gardant les équipes de travail le plus constant possible. Cette remarque est particulièrement pertinente sur des chantiers de quelques semaines, mais moins pour des chantiers de plusieurs mois.

En ce qui concerne le cadre légal, des manquements à la juridiction des métiers ont été observés. Il serait alors nécessaire de revoir cette juridiction pour l'assouplir aux besoins de la construction des petits projets. Cette remarque est d'autant plus pertinente que les résultats semblent montrer un impact important de cette juridiction sur les plus petits chantiers (quelques semaines).

De plus, les entrepreneurs généraux reprochent les impacts dus à la sur sous-traitance au BSDQ. En effet, les entrepreneurs généraux en contrats privés affirment ne pas avoir d'impacts de la sur sous-traitance, car ils choisissent leur S-T. À l'inverse les entrepreneurs généraux en contrats publics rejettent la faute de certains désagréments sur le BSDQ. Les surintendants (entrepreneurs généraux) reprochent au BSDQ de leur imposer de « mauvais » S-T et qui peuvent faire faillite comme nous l'avons observé. Enfin, les surintendants considèrent les accueils sécurité obligatoires comme inutiles. Il peut être envisagé d'assouplir ce règlement. Par exemple, sur le cas 2, le surintendant réalise un accueil sécurité pour le

contremaître des S-T. C'est alors au contremaître de transmettre les règles de sécurité à ses ouvriers.

Finalement, les résultats ont montré que les problèmes majeurs de projets observés sont les délais dus aux changements et questions techniques ainsi qu'à la gestion des S-T. Les nouvelles technologies semblent prometteuses pour améliorer la gestion des projets. Selon les surintendants des cas 1 et 2 le gérant de projet du cas 3, les TIC semblent amoindrir fortement les problèmes majeurs qu'ils retrouvent sur leurs chantiers. Néanmoins, selon les surintendants, il semble que l'implantation des technologies soit difficile à l'heure actuelle rejoignant les conclusions sur l'implantation des TIC faite précédemment. Les efforts à fournir pour aider l'implantation des TIC semblent donc primordiaux.

5.4 Limitation

Cette étude comporte des limitations dues à sa méthodologie. D'une part, l'échantillon des personnes interviewées dans cette étude est petit. Cela relativise les généralisations faites dans les conclusions de l'étude sur les TIC.

D'autre part, des difficultés dans la récolte de données durant les entretiens ont été notées. En effet, il est difficile d'obtenir des réponses précises aux questions voulues. Cela est bien imagé par le fait que les répondants affirment souvent que les relations dépendent des personnes et des compagnies. Cette réponse fut récurrente. Le chercheur doit alors pousser le répondant à essayer de donner une tendance générale. Cette réponse dénote une variabilité des relations dans les projets de construction. Néanmoins, cette réponse peut aussi montrer une réticence du répondant à généraliser de mauvaises relations qui peuvent ponctuellement bien se passer ou inversement.

De plus, la sélection des personnes ayant accepté de faire partie de l'étude a aussi pu amener un biais. En effet, les personnes contactées ne semblent pas intéressées au premier abord s'ils ne se sentent pas à l'aise avec le sujet. Ils refusent prétextant ne pas utiliser de TIC et ne pas

être des experts. Malgré les explications plus approfondies de la recherche et de la nécessité d'interviewer des personnes non impliquées dans l'adoption des TIC, certaines personnes continuent de refuser. Alors les personnes ayant accepté et interrogées sont donc peut-être déjà plus ouvertes à l'utilisation des TIC que les autres. Cela peut remettre aussi en question d'autres études : les questionnaires envoyés pour sonder l'utilisation des TIC ne sont-ils pas écartés par les personnes ne se sentant pas à l'aise avec les TIC?

Ensuite des limitations sont notées dans les observations sur les chantiers. En effet, par manque de temps des gérants de projets, il n'a pas été possible d'observer la gestion des contrats des S-T.

De plus, les surintendants n'ont pas su se prononcer pour donner une règle rhétorique qui aurait pu être traduite par la logique *fuzzy* pouvant améliorer le modèle de dynamique des systèmes.

Finalement la principale difficulté a été le refus par les surintendants de pouvoir interroger les S-T régulièrement pour connaître notamment l'avancement ou les dynamiques de l'équipe et de mobilisation. Néanmoins, pendant les observations et des questionnements ponctuels, les ouvriers n'ont pas semblé en mesure de répondre correctement au chercheur. Les réponses ont souvent été infirmées par les autres observations du chercheur. Ainsi, il semble que recueillir des informations par ce biais n'aurait pas été possible, même avec l'accord du surintendant.

5.5 Directions futures

L'étude a pu démontrer les impacts des spécificités québécoises et du cadre légal sur la productivité et l'implantation des TIC. Le report des données par le questionnement du surintendant rend les résultats plus subjectifs. Ainsi, il est conseillé aux travaux futurs de procéder à des observations plus directes avec par exemple une présence constante sur le chantier. Le modèle de dynamique des systèmes a montré son potentiel. Les recherches

futures pourront ainsi continuer à le développer. De plus, celui-ci a montré que l'impact de la juridiction des métiers sur de plus petits chantiers est plus élevé. Ainsi, les prochaines études devront donc réaliser des observations sur des chantiers de plus petite envergure. Devant la difficulté pour obtenir des données par observation, il est proposé aux recherches futures de s'intéresser aussi à la logique *fuzzy* : en rencontrant des experts capables de quantifier les impacts de la juridiction contrairement aux surintendants rencontrés. Le modèle par la méthode de la dynamique des systèmes est un début d'outil d'aide à la décision pour la gestion de projet. Il est donc conseillé de poursuivre le développement de ce modèle afin de créer un outil d'aide à la décision poussé pour les gestionnaires de projet et pour la révision de la juridiction des métiers. Enfin, ces données sont les seules recueillies sur ce sujet, il y a donc un manque pour comparer ces données à d'autres situations. Les résultats ont besoin d'observations comparatives dans d'autres environnements (où la juridiction québécoise n'est pas appliquée). Enfin, il serait nécessaire de poursuivre ces observations pour valider et quantifier les impacts non observés.

D'autre part, l'étude n'a pas pris en compte tous les impacts possibles de la juridiction. En effet, la recherche s'est concentrée sur la validation et la quantification de certains impacts identifiés par Gautier *et al.* (2015). De plus, cette étude étant la seule à s'être intéressée au sujet, la liste des impacts identifiés n'est donc peut-être pas exhaustive. Les recherches futures peuvent alors chercher à découvrir d'autres impacts de la juridiction des métiers. De plus, les hypothèses étudiées ne prennent pas en compte le gain de productivité entraîné par la spécialisation des ouvriers. En effet, le règlement sur les métiers dans la construction permet de s'assurer des compétences des ouvriers ce qui augmente leur productivité. La formation des ouvriers permet aussi une meilleure sécurité du fait de la connaissance des ouvriers avec les méthodes de travail. Pour quantifier ce lien entre surspécialisation et productivité, une comparaison entre des travaux d'ouvriers spécialisés et ceux d'ouvriers généralistes est nécessaire. Ceci serait possible en allant chercher des données en dehors du Québec, ce qui ne rentrait pas dans le cadre de cette étude. Néanmoins, cette étude resterait complexe, puisque Gautier *et al.* (2015) ont identifié que la juridiction des métiers entraîne

aussi une baisse d'heure de travail des compagnons et donc de leur expérience réduisant ainsi leur productivité. Il est alors conseillé aux recherches futures de s'intéresser à ces impacts.

Enfin, les TIC semblent être les outils dont l'industrie de la construction a besoin pour augmenter sa productivité. Nous avons trouvé que pour faciliter leur implantation le cadre légal doit être modifié. Les recherches futures devraient alors examiner les changements à apporter au cadre légal afin de favoriser cette implantation.

CONCLUSION

L'objectif de la recherche était d'étudier des spécificités de l'industrie de la construction québécoise impactant la productivité. Tout d'abord, nous avons regardé les raisons des difficultés d'implantation des TIC au Québec. En effet, il a été vu au travers de la documentation scientifique que le manque de productivité dont pâtit l'industrie de la construction provient notamment de son manque de collaboration entre ses acteurs. Les TIC sont une des solutions pouvant pallier la fragmentation de l'industrie de la construction. Les TIC viennent favoriser l'échange d'informations entre les acteurs travaillant en silo et permettent donc une meilleure collaboration. La littérature regorge d'études sur les freins à l'implantation des TIC. Cependant, ces études ne sont pas réalisées au sein du contexte québécois et/ou étudient seulement des précurseurs dans l'implantation de ces technologies.

L'analyse de réseaux sociaux est un outil puissant, analysant les relations entre les acteurs. Son utilisation dans l'industrie de la construction a rencontré divers succès ayant permis d'étudier les projets de construction, leur processus, leur contexte et la collaboration. Nous avons donc utilisé la méthode de l'analyse des réseaux sociaux (SNA) pour notre étude. Afin d'étudier les freins et incitatifs à l'implantation des TIC au Québec, nous avons étudié différents documents du cadre légal de la construction. Nous avons ensuite conduit des entretiens avec les acteurs non précurseurs dans les TIC de l'industrie. Nous avons analysé ces entretiens par la SNA. Pour compléter ces résultats, nous avons observé des réunions regroupant les acteurs de la construction pour parler de l'implantation du BIM au Québec.

Cette méthode nous a permis de confirmer que les freins à l'implantation des TIC trouvés dans la littérature se retrouvent aussi au Québec. Les coûts des infrastructures et le manque de compétences sont les premiers freins exprimés par les acteurs. La fragmentation entre les acteurs a été vérifiée à travers leur manque de collaboration, de confiance et de partage de visions qui nuit à l'implantation et l'utilisation des TIC. Bien que nous ayons retrouvé les mêmes freins que dans la littérature scientifique, les causes ne sont pas les mêmes d'après

nos observations. Au Québec, le cadre légal peut être partiellement responsable. Ce cadre légal cause des problèmes aux acteurs de responsabilités et d'honoraires à l'origine du manque de confiance et de collaboration. De plus, les acteurs publics devraient exiger l'utilisation des TIC dans les contrats pour donner une dynamique attendue par l'industrie pour implanter ces technologies, ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle. Ainsi, le cadre légal semble devoir s'adapter afin de permettre une meilleure implantation des TIC.

Ce cadre légal, notamment la juridiction des métiers, a fragmenté l'industrie et est à l'origine de la multiplicité des entrepreneurs spécialisés. Dans la littérature, différents impacts de cette juridiction ont été identifiés, mais n'ont pas été quantifiés ni validés. La littérature montre que la dynamique des systèmes est un bon outil pour valider et quantifier des facteurs d'influences dans toutes sortes de systèmes en gestion de projet. Afin de valider et quantifier les impacts identifiés par la littérature et de comprendre les dynamiques engendrées par la multiplicité des S-T, nous avons réalisé des observations sur plusieurs chantiers afin d'élaborer ensuite un modèle basé sur la dynamique des systèmes.

Ces observations, étalées sur six mois, ont pu révéler l'importance de la gestion supplémentaire induite par cette multiplicité des S-T (H3) pouvant impacter négativement la productivité des S-T par le manque de suivi directement sur le chantier de la part du surintendant. De plus, nous avons pu observer que cette juridiction jugée trop rigide est parfois transgressée afin de répondre à une demande de productivité pour éviter trop d'interdépendance entre les S-T (H6). Cependant, sur ces projets, d'un budget d'environ 5M\$ et d'une durée variant entre quatre et huit mois, les délais sont majoritairement dus aux professionnels et au client et non à la mobilisation des S-T (H2). Ainsi, le cadre légal de l'industrie de la construction semble augmenter la gestion à réaliser sur les chantiers, mais sur des chantiers de moyennes envergures (5M\$), la baisse de productivité provoquée est mineure par rapport aux retards de changement et d'attente de réponses aux questions techniques. Un modèle de dynamique des systèmes simulant certains impacts de la juridiction des métiers a été réalisé avec une interface accessible par tous. Ce modèle a montré que ces impacts et la période d'assimilation des nouveaux ouvriers (H1) semblent

induire plus de retard des travaux sur des chantiers de plus petite envergure d'une durée de quelques semaines. La juridiction des métiers est donc bien à l'origine d'une perte de productivité sur les petits chantiers. Elle doit alors être adaptée pour permettre un flux de travail plus constant.

Selon les surintendants interrogés, les problèmes majeurs de délais et productivité pourraient être grandement réduits par l'utilisation des TIC et notamment le BIM. Pourtant leur implantation semble être difficile. Les efforts à fournir pour aider l'implantation des TIC, notamment sur le cadre légal, semblent donc primordiaux.

ANNEXE I

LISTE DES DOCUMENTS LÉGAUX ÉTUDIÉS

Tableau-A I-1 Liste des documents légaux étudiés

Liste des Documents
Tarif d'honoraires pour services professionnels fournis au gouvernement par des architectes
Tarif d'honoraires pour services professionnels fournis au gouvernement par des ingénieurs
Loi sur les architectes
Code de déontologie des architectes
Loi sur les ingénieurs
Code De Déontologie Des Ingénieurs
Réflexion Sur La Rémunération Des Services professionnels Rendus Par Les Ingénieurs Et Les Architectes Aux Organismes Publics
Outils Informatiques Disponibles aux Professionnels De La Construction
(CCDC) Contrat de Design-construction à forfait
Manuel Canadien de la Pratique de l'Architecture
Sélection Des Professionnels, Architectes Et Ingénieurs Ou Consortium Construction D'une Nouvelle École à Vocation EHDAA Régionale Primaire Et Secondaire
Cahier Des Charges : Services professionnels En Architecture Projet De Construction D'une École Hôtelière (Commission scolaire Marie-Victorin)
Cahier Des Charges : Services professionnels En Ingénierie (Mécanique/Électricité) Projet De Construction D'une École Hôtelière (Commission scolaire Marie-Victorin)
Cahier Des Charges : Services professionnels En Ingénierie (Génie Civil / Structure) Projet De Construction D'une École Hôtelière (Commission scolaire Marie-Victorin)

Liste des Documents
Services professionnels en Architecture Projet De Construction Nouveau complexe hospitalier sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus (SQI)
Services professionnels En Ingénierie (Mécanique/Électricité) Nouveau complexe hospitalier sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus (SQI)
Services professionnels en Ingénierie (Génie Civil / Structure) Nouveau complexe hospitalier sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus (SQI)
Services professionnels pour un garage municipal et une caserne incendie (Ville de Québec)
Contrat de la ville de Montréal
Contrat d'une Université
Contrat de l'association des firmes de génie-conseil entre l'ingénieur et le sous-traitant
Contrat de l'association des firmes de génie-conseil entre l'ingénieur et le client
Contrats recommandés de l'association des architectes en pratique privé
Contrats entre Design-Constructeur et professionnels (CCDC)
Polices d'assurance des services professionnels
Loi sur les maîtres électriciens
Loi sur les maîtres mécaniciens en tuyauterie
Libellé contractuel pour la MDB au Canada

ANNEXE II

GUIDE D'ENTRETIENS

Structure des entretiens semi-dirigés

Freins à l'adoption de la technologie informatique dans l'industrie de la construction au Québec

Ce document est un questionnaire servant de guide au chercheur lors de ses entrevues (semi-dirigées). Le questionnaire n'est pas remis au participant. On demande au participant d'essayer de ne pas donner son avis, mais celui de sa profession (clients, architectes, ingénieur, ingénieur-conseil, entrepreneur, S-T), à défaut de son entreprise. Une présentation de la définition de TIC est présentée au participant avant l'entretien.

Questions communes aux acteurs

Identification :

- quelle est votre entreprise? quel est son rôle (architectes, ingénieur, maître d'œuvre, S-T)?
- combien y a-t-il d'employés?
- quels types de projets faites-vous?
- quelles sont vos responsabilités et vos missions?

Relation avec les autres acteurs :

- durant les projets avec quels acteurs collaborez-vous? (travail avec des échanges bilatéraux);
 - êtes-vous obligé de (bien) collaborer avec eux?
 - comment se passe la collaboration?
 - avec qui pensez-vous avoir une relation de confiance et honnête?
 - considérez-vous toute l'information des autres acteurs comme fiable (si celle-ci n'est pas officielle par exemple)? respectent-ils la confidentialité?
 - pourriez/pouvez-vous partager tous vos documents de projet avec les autres acteurs? qui en particulier?

- les TIC vous permettent-elles de faire cela?

Habitudes :

- quels sont vos moyens de communication avec les autres acteurs?
 - collaboratif ou solitaire. échange formel ou informel? communication directe ou indirecte?
 - jugez-vous vos moyens de communication compatibles avec ceux de vos collaborateurs et autres acteurs?
 - comment se passent les communications avec les autres acteurs?
 - pourquoi? auriez-vous des solutions?
 - quels moyens de communication aimeriez-vous utiliser?
- quels sont les outils informatiques que vous utilisez?
 - avec quels acteurs sont partagés les fichiers créés? Sous quels formats?
 - les formats sont-ils compatibles avec les autres? Y a-t-il un manque d'interopérabilité?
 - êtes-vous prêts à utiliser des formats ouverts?
 - des normes pourraient-elles changer ça?
- que pensez-vous de la gestion des formats des documents dans les contrats?

Vision :

- quels sont vos buts dans un projet? Votre intérêt (financiers) dans les projets?
 - Sont-ils communs avec d'autres acteurs?

Vision des TIC :

Présentation de ce que sont les NTIC : Les technologies mobiles et l'infonuagique (cloud computing) et les technologies comme le BIM.

- quelles sont les technologies et pratiques que vous connaissez ?
 - avec lesquelles travaillez-vous?
 - pouvez-vous juger les impacts de leur utilisation sur vos projets ?
- qu'est-ce que le BIM pour vous?

D'après la littérature scientifique et l'avis d'experts, le BIM est à la fois un outil et un processus. C'est un processus où la conception se réalise de façon itérative (contrairement au

processus traditionnel linéaire). Des ateliers de conception réunissent tous les concepteurs autour de la maquette numérique régulièrement pendant la conception. Le BIM est un outil centré sur une maquette numérique modélisant le bâtiment et contenant toutes les informations pertinentes sur celui-ci et ces éléments qui le composent. Le BIM comprend divers outils pour la modélisation, l'analyse (énergétique, structurale...), et l'exploitation (planification, estimation, métrés...).

- êtes d'accord avec ces définitions ?
 - comment utiliser le BIM?
 - comment voudriez-vous utiliser le BIM?
 - le BIM a-t-il des avantages pour vous?
- que pensez-vous des TIC?
- quelle est sont vos engouements et craintes?
- quels sont les outils potentiellement utiles?
- les informations sur des TIC sont-elles viables, sécuritaires et confidentielles par rapport aux outils traditionnels?
- y a-t-il des problèmes de responsabilités selon vous lors de l'utilisation des TIC? De propriété? Pourquoi?
- selon vous, quels sont les freins et les atouts à l'adoption de nouvelles technologies?
- avez-vous les compétences pour adopter de nouvelles technologies (sans aide; sans incitation)?
- que pensez-vous des TIC au niveau financier? (Retour sur investissement);
- un nouveau métier va apparaître? (Comme le BIM manager?);
 - qui devrait prendre en charge ce rôle? (Contre la prise en charge de cette mission par un autre acteur spécifique?);
 - lorsqu'il y a un manager BIM et un architecte coordinateur de l'ensemble des acteurs comment se passe la coordination du BIM?
- qui a le droit d'auteur et responsabilité sur les documents ? Quelles en sont les implications?
 - que pensez-vous de la gestion des droits avec des TIC?
 - les autres peuvent-ils modifier les documents? (juridiquement, et selon vous);

- qu'est-ce que la cession des droits au client implique?
- les soumissions sont propriété matérielle du client, que cela signifie pour vous?
- comment protégez-vous les droits sur les différents documents?
- quel est le lien entre droit d'auteur et responsabilité?
- est-ce différent en PCT ou en conception-construction?
- que pensez-vous de la valeur contractuelle de la maquette numérique?
 - s'il n'y a pas de valeur contractuelle, allez-vous la développer? pourquoi?
 - comment la rendre juridiquement imposée? pourquoi le faire ou non?
- qu'est-ce que les contrats influencent dans l'utilisation des TIC?
 - les obligations d'échanges de documents influencent-elles l'adoption des TIC?
 - la transmission de « copies », transmission par écrit, obligation d'intermédiaire et représentation exclusive. Comment comprenez-vous ces termes contractuels ?
 - ces termes influencent-ils l'adoption des TIC
 - des points des contrats sont-ils flous?
 - la gestion du BIM est-elle claire?
 - les responsabilités, notamment de coordination sont-elles claires?
 - les appliquées vous?
 - la coordination n'est pas codifiée, pourquoi? Comment cela serait-il possible?
 - même question pour les modifications ou le partage des documents.
- traitez-vous les contrats par forfaits et pourcentages différemment de ceux par taux horaire? Les modes traditionnels et les conceptions-réalisation?

Questions optionnelles

- comment se passe la gestion des contrats design-construction au niveau de la collaboration?
 - comment imposer la collaboration et les TIC?
- les consortiums sont-ils utiles pour une meilleure collaboration? Et utilisation des TIC?
 - comment se forment ces consortiums, sur quels critères choisissez-vous vos partenaires?
 - pourquoi les interdire ou les autoriser?

- comment se répartissent vos frais lors d'un projet (conception, gestion, administratif et coordination)?
 - cela vous encourage-t-il à l'implantation de nouvelles technologies pour améliorer les échanges d'informations?

Questions pour les architectes et ingénieurs

- comment considérez-vous les TIC par rapport à vos compétences?
 - refusez-vous d'implanter des TIC hors de portées de vos compétences?
- comment feriez-vous pour ne pas vous attribuer le travail d'un autre dans un travail collaboratif?
 - accepteriez-vous que votre sceau ne soit pas sur un document dont vous avez participé à la conception?
 - seriez-vous prêt à signer/sceller des documents sur lesquels d'autres professionnels ont travaillé en collaboration avec vous?
- que pensez-vous des sceaux avec l'utilisation des TIC?
- que pensez-vous de la cession des droits d'auteurs à d'autres acteurs (y compris client)?
- avez-vous peur de perdre vos expertises dans des maquettes numériques récupérées?
 - selon vous, auriez-vous le droit de réutiliser des parties des maquettes que vous avez conçues?
- que faites-vous pour la collaboration dans l'équipe de projet?
- comment se passe la gestion des missions des architectes et ingénieurs ?
 - comment se passe la coordination des ingénieurs de leur spécialité par rapport à la coordination générale de l'architecte?
- dans les contrats c'est l'architecte qui coordonne l'ensemble des intervenants. Dans quelle position cela les place-t-il? Alors, dans des processus collaboratifs, quelles sont vos réactions?
- lors des décisions, l'ingénieur n'apporte seulement qu'un support et n'a à chaque fois qu'un rôle participatif/consultatif. Quelles en sont les conséquences?
 - comment se comportent-ils face à des TIC qu'il ne maîtrise pas forcément?

- les différents intervenants sont conjointement responsables des dépassements des coûts.
Quels en sont les impacts?
 - cela favorise-t-il l'implantation des TIC?

Questions pour les ingénieurs

- les obligations de la loi sur les ingénieurs sont-elles vraiment contraignantes? (collaboration encadrée, examen ou révision d'un document d'un confrère, indépendance de l'ingénieur);
 - sont-elles vraiment des freins à l'implantation de TIC?
 - comment passer outre?

Questions pour les architectes

- quels sont les impacts des obligations d'annotation de vos documents?
 - les obligations d'annotation de vos documents vous permettent-elles de les diffuser avec des TIC?

Question pour les entrepreneurs

- quelles sont les conséquences de la cession des maquettes numériques?
 - avez-vous peur de perdre vos expertises dans des maquettes numériques récupérées?
 - avez-vous le droit de réutiliser des parties des maquettes que vous avez conçues?

Question pour les clients

- les obligations de la loi sur les ingénieurs sont-elles vraiment contraignantes? (collaboration encadrée, examen ou révision d'un document d'un confrère, indépendance de l'ingénieur);
 - sont-elles vraiment des freins à l'implantation de TIC?
 - comment passer outre?
- comment sont traités les contrats par forfaits et pourcentages et ceux par taux horaire?
 - observez-vous une différence entre les contrats dont le mode de rémunération varie?
 - est-ce le strict minimum qui est fait pour répondre aux missions définies par le contrat?
- comment sont gérées les missions des architectes et ingénieurs?
- comment se passe la coordination des ingénieurs de leur spécialité par rapport à la coordination générale de l'architecte?

- dans les contrats c'est l'architecte qui coordonne l'ensemble des intervenants. Dans quelle position cela les place-t-il? Alors dans des processus collaboratifs quelles sont vos réactions?
- pourquoi utilisez-vous le format PDF et Autocad? Ou que papier?
- lors des décisions, l'ingénieur n'apporte seulement qu'un support et n'a à chaque fois qu'un rôle participatif/consultatif. Comment se comportent-ils face à des TIC qu'il ne maîtrise pas forcément?
- que pensez-vous des appels d'offres uniques pour l'ensemble des missions divisibles lorsque les consortiums ne sont pas acceptés? Pourquoi faire ce genre de contrat?
- les différents intervenants sont conjointement responsables des dépassements des coûts. Quels en sont les impacts?
 - cela favorise-t-il l'implantation des TIC?

ANNEXE III

RÉSULTATS DES ENTRETIENS AVEC LES ACTEURS

Tableau-A III-1 Coûts des projets et type de contrat sous la charge des répondants

Acteur	N^o	Coûts des projets	Type de contrat (public par défaut)	NB d'employés
Client	1	0 – 100M\$	Forfaitaire	10 gérants de projets
	2	>50M\$	Forfaitaire et lots	>20 gérants de projets
	3	0 à 50M\$	Forfaitaires	2 gérants de projets
Architecte	1	0-100M\$	De tout	~20 architectes
	2	0 à 200M\$	Forfaitaire	~40 archi.
	3	<10M\$	Privé - rénovation	4 archi.
Ingénieurs	1	0-50M\$	Forfaitaire et Design-Build partout au canada	20 ingé.
	2	10-200M\$	Forfaitaire et Design-Build	>100 ingénieurs
	3	2-25M\$	Forfaitaire et Design-Build +20% privé	~20 ingénieur
Entrepreneur	1	0-25M\$	Forfaitaire	7 gérants de projets
	2	1-25M\$	Clé en main	3 gérants de projets
	3	0-10M\$	Forfaitaire	3 gérants de projets
S-T	1	1-10M\$	Forfaitaire (travaille aussi aux US)	~10 gérants de projets
	2	0-20M\$	Forfaitaire	3 gérants de projets
Sous-consultant	1	1-50M\$	Forfaitaire	5 gérants de projets
	2	0-25M\$	Forfaitaire et DB	3 gérants de projets

Tableau-A III-2 Collaboration

<p>Client 1</p> <p>Ils travaillent avec tout le monde, mais cela est particulier selon eux (pour les ST). Dépend des firmes, mais en général il y a une bonne collaboration. Cependant, c'est plus facile avec les professionnels même s'ils sont débordés et qu'il faut les suivre. Si l'EG est chargé à l'excès cela se passe bien.</p>	<p>Client 2</p> <p>Collabore très bien avec les architectes. Avec les ingénieurs ça va moins bien qu'avant, car ils ont été touchés par des firmes internationales et ils pensent plus qu'à l'argent. Beaucoup d'arcours et électricité. Avec les EG, ça dépend, mais ils pensent tous à l'argent. Ils ne travaillent pas avec les ST qui sont du ressort de l'EG.</p>	<p>C</p> <p>A 5</p> <p>I 4</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 0</p> <p>S-C 0</p>
<p>Architecte 2</p> <p>Ne collabore pas avec les EG et encore moins avec les S-T</p>	<p>Architecte 3</p> <p>La collaboration dépend réellement des personnes. Cela peut mal se passer avec le client s'il y a une incompréhension. Mais en général ça se passe bien. Ça va du avec les EG et encore plus avec les S-T</p>	<p>C 4</p> <p>A</p> <p>I 4</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 5</p>
<p>Ingénieur 3</p> <p>Ils collaborent avec tout le monde, mais cela se passe mal avec les EG en fait parce et bien en Design-Build (il ne faut que des Design-Build). La collaboration ne se passe pas bien avec les architectes qui ne font pas leur travail de coordination et ont des demandes imprévisibles. Us ne s'entendent pas forcément, mais ils sont obligés par le contrat. Mais cela se passe très bien en Design-Build.</p>	<p>EG 1</p> <p>Ils travaillent avec tout le monde. Sont ST des professionnels avec qui, ils échantonnent si besoin. Ils collaborent avec tout le monde, mais on se réfère sur le client lorsque ça ne va pas. La collaboration dépend des personnes. Le BDM peut être mauvais à cause du client qui peut venir s'ingérer dans leurs chiffres. Ça se passe mieux dans les contrats clé en main, mais ils rencontrent finalement les mêmes problèmes.</p>	<p>C 4</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 1</p>
<p>S-T 1</p> <p>Ils travaillent et collaborent quasi exclusivement avec l'EG. Ils peuvent collaborer ponctuellement avec les autres ST directement sur le chantier, ils peuvent passer directement par les professionnels pour leur poser des questions et leur donner la validation de leurs travaux. Cependant, la relation avec les professionnels et ce n'est pas vraiment une collaboration. Pour avoir plus ils doivent passer par l'EG.</p>	<p>S-T 2</p> <p>Travaille et collabore assez bien qu'avec les EG même si ce n'est pas parfait.</p>	<p>C 0</p> <p>A 0</p> <p>I 0</p> <p>EG 4</p> <p>S-T</p> <p>S-C 0</p>

<p align="center">Client 3</p> <p>Il y a une bonne collaboration avec les architectes. La collaboration est un peu moins bonne avec les ingénieurs, car ils sont sous-payés. Le client doit les suivre de près. Avec les EG ça se passe en général bien s'ils sont payés. Ils ne travaillent pas en général avec les ST qui sont sous la charge des EG.</p>	<p align="center">C</p> <p>A 4</p> <p>I 3</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 0</p> <p>S-C 0</p>	<p align="center">Architecte 1</p> <p>Travaille avec tout le monde, cependant ce ne sont pas les mêmes équipes en construction et en conception. La personne interrogée ne travaille donc jamais avec les EG et ST en mode traditionnel.</p>	<p align="center">C 5</p> <p>A</p> <p>I 4</p> <p>EG 0</p> <p>S-T 0</p> <p>S-C 5</p>
<p align="center">Ingénieur 1</p> <p>On collabore, mais cela se passe moins bien avec les EG avec qui ils travaillent moins. Ce n'est pas vraiment de la collaboration avec les ST. Le client nous donne juste les guides Lines et cela peut moins aller lorsqu'il y a des extras. Cela se passe mieux avec les architectes. On partage les informations, car on est bien obligé. Au Québec, les projets sont "cost driven", les personnes sont donc plus stressées, car la construction est plus coûteuse qu'ailleurs.</p>	<p align="center">C 1</p> <p>A 5</p> <p>I</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 4</p>	<p align="center">Ingénieur 2</p> <p>Ils travaillent pour des architectes ou des clients privés. La collaboration est égale avec tout le monde sauf les ST avec lesquels ils ont des échanges, mais ne collaborent pas du tout. Les ST essaient de transférer leurs responsabilités sur eux.</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A 3</p> <p>I</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 5</p>
<p align="center">EG 2</p> <p>Travaille avec les professionnels, mais il y a plus d'échange avec les S-T. Il faut une collaboration avec le client.</p>	<p align="center">C 5</p> <p>A 5</p> <p>I 2</p> <p>EG</p> <p>S-T 5</p> <p>S-C 0</p>	<p align="center">EG 3</p> <p>Pas vraiment de collaboration avec tout le monde. Peut-être plus avec les clients.</p>	<p align="center">C 3</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 2</p>
<p align="center">Sous-consultant 1</p> <p>Travaillent essentiellement avec les professionnels avec qui ils sont sous contrat. Le client ne leur donne que les lignes directrices pour travailler. Ils sont parfois amenés à travailler (sans collaboration avec les autres professionnels). Il ne collabore pas, mais travaille avec les S-T. Les collaborations se passent en général bien du fait de la mission limitée qu'ils possèdent.</p>	<p align="center">C</p> <p>A 5</p> <p>I 5</p> <p>EG 0</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C</p>	<p align="center">Sous-consultant 2</p> <p>Faite collaboration avec les professionnels. Mais avec les EG, il y a juste des échanges pour des visites sur chantiers.</p>	<p align="center">C 0</p> <p>A 5</p> <p>I 5</p> <p>EG 1</p> <p>S-T 0</p> <p>S-C</p>

Tableau-A III-3 Confiance

<p align="center">Client 1</p> <p>C'est plus honnête avec les architectes qui ne pensent pas qu'à l'argent. Même si les honoraires sont assez élevés en conception, ils ne le sont pas pour la construction alors ils n'ont pas le temps pour le suivi de chantier. Pas les EG ou Ingénieurs. Les documents sont toujours fiables de la part des professionnels. C'est moins le cas des EG.</p>	C	
	A	4
	I	7
	EG	2
	S-T	2
	S-C	4
<p align="center">Architecte 2</p> <p>On ne peut pas passer les plans en format modifiable aux EG. Les contrats et clauses de confidentialités ne peuvent pas changer cela. On ne fait pas confiance aux EG et ST. On ne peut pas utiliser de TIC avec eux. On ne peut pas utiliser le BIM à cause de cela. De plus, que faire si les manufacturiers n'ont pas les maquettes BIM? Les estimations de L'EG par le BIM ne changeront rien (le plus bas soumissionnaire sera toujours celui qui s'est trompé). De plus s'il y a pas erreurs sur matériaux alors ça sera sur la main d'œuvre.</p>	C	4
	A	
	I	5
	EG	2
	S-T	3
	S-C	5
<p align="center">Ingénieur 3</p> <p>Oui, ils font confiance aux acteurs. Ils partagent avec eux les documents modifiables puisque de toute façon ils ne sont pas signés. Par contre, ils ne donneraient pas de maquettes numériques aux personnes en dehors de la conception pour ne pas donner les familles qu'ils ont créées. Ils ne font pas confiance aux EG et S-T.</p>	C	4
	A	4
	I	
	EG	3
	S-T	2
	S-C	5
<p align="center">S-T 1</p> <p>Ils ne font en général confiance à personne. Cependant lorsque les travaux se déroulent bien ils font confiance à l'entrepreneur pour qu'ils puissent s'arranger du mieux possible. Cependant lorsqu'il arrive des problèmes alors les relations sont moins honnêtes et chacun défend ses intérêts. Mais cela dépend quand même beaucoup des compagnies. Ils peuvent diffuser à tout le monde les documents sur les TIC. Ils n'ont pas beaucoup de documents.</p>	C	3
	A	3
	I	2
	EG	2
	S-T	
	S-C	2

Client 2	
<p>Les relations sont plus hennites avec les architectes, car les EG doivent gagner de l'argent alors qu'ils sont choisis au plus bas soumissionnaires. On considère comme fiables les informations de tout le monde. Les TIC leur font peur, car les professionnels peuvent avoir peur de signer les maquettes. (Mais c'est à eux de s'en charger). Tous leurs documents sont publics, mais c'est aux professionnels de garantir la confidentialité de leurs documents. Il n'y a donc pas à faire confiance ou non aux partis prenants.</p> <p>On ne peut pas demander le BIM aux entrepreneurs ou des TIC aux ST qui n'ont pas dans leurs compétences, car ils sont un client public.</p>	C
	A 5
	I 2
	EG 2
	S-T 2
	S-C 5
Architecte 3	
<p>Pas de confiance dans les EG et S-T. Dû au BSDQ, les soumissionnaires sont trop bas. Ils cherchent donc à rattraper (S-T). Avec les ingénieurs, ils ont l'habitude de travailler avec eux donc ça se passe bien (sinon on change). Plus un acteur est impliqué tôt, plus il y a de la confiance entre nous.</p> <p>Sur les TIC, il ne faut pas que le client voie le projet en temps réel. On nous demande moins de temps et moins d'honoraires, mais plus de responsabilités. Les ingénieurs ne veulent donc pas trop travailler avec les versions avant la finale. On ne veut pas partager nos documents avec l'EG. Les TIC peuvent nous faire perdre les informations à l'EG, c'est dangereux. On ne peut pas passer toute l'information à l'EG malgré des décharges (déjà vu des modèles sur les sites des manufacturiers qui proviennent des professionnels). La loi n'est pas assez précise et la responsabilité reste sur les professionnels. Le BIM va changer les processus, on va donner la maquette avec les quantités. Ça améliore la coordination.</p>	C 3
	A
	I 4
	EG 1
	S-T 1
	S-C 5
EG 1	
<p>La confiance dépend aussi des entités. Ils nivellent leur confiance en fonction des expériences passées avec les firmes. Il est plus difficile de croire la technique des professionnels, l'administratif du client. Avec les ST on n'a pas le choix avec le BSDQ donc c'est variable. Lorsqu'ils soumissionnent, ils ne savent pas ce qui est pris de leur soumission. Mais c'est un risque à prendre qui ne changera pas avec les TIC et notamment les maquettes numériques. Ils n'autorisent pas les contacts entre ST et professionnel sans en être au courant. Ils ne font pas confiance. Ils partagent tous les documents avec les ST sauf les informations de gestions.</p>	C 4
	A 2
	I 2
	EG
	S-T 2
	S-C 2
S-T 2	
<p>Ils ne font pas assez confiance aux EG qui n'ont pas les mêmes intérêts. Ils ne font pas du tout confiance aux clients qui ne veulent pas les payer.</p>	C 1
	A 2
	I 2
	EG 4
	S-T
	S-C 2

Client 3	
<p>La relation est plus honnête avec les professionnels qui ne sont pas contraints à gagner de l'argent alors qu'ils sont les plus fins soumissionnaires. Les architectes sont plus honnêtes, ils ne pensent pas qu'à l'argent. Tous les documents partagés sur les TIC restent fiables.</p> <p>Ils n'ont pas confiance dans la capacité des ST à utiliser le BIM. Pour eux les soumissions ne sont pas vraiment leurs propriétés et ne se serviraient jamais des informations pour les donner à un autre.</p>	C 0
	A 4
	I 2
	EG 2
	S-T 2
S-C 4	
Ingénieur 1	
<p>On n'a jamais une réelle confiance. Il faut toujours tout vérifier. Mais on est obligé de faire confiance et passer les plans. On ne considère pas les informations fiables des acteurs, mais on les prend quand même sur les TIC (ça ne change rien).</p>	C 4
	A 4
	I
	EG 4
	S-I 4
S-C 5	
EG 2	
<p>On a confiance en personne à part dans le client pour lequel on est obligé. On partage cependant tous les plans si nécessaires.</p>	C 4
	A 2
	I 3
	EG
	S-T 2
S-C 2	
Sous-consultant 1	
<p>Ils ont une grande confiance avec les professionnels. Ils pensent leurs échanges honnêtes. Ils sont un peu méfiants avec le client, avec qui ils ne sont pas liés contractuellement.</p> <p>Ils n'ont pas confiance des EG qui veulent souvent leur cacher des affaires. Ils sont cependant prêts à partager leurs documents avec tout le monde.</p>	C 4
	A 5
	I 5
	EG 3
	S-T 2
S-C	

Architecte 1	
<p>Il y a une bonne confiance avec les consultants. Cela se passe en général plutôt bien avec le client et les ingénieurs. Cependant, il peut y avoir régulièrement de mauvais clients. De plus, il peut se servir de l'architecte pour faire passer des conflits avec d'autres parties prenantes. Il peut arriver des relations conflictuelles avec l'ingénieur. En conséquence, c'est plus facile, nous choisissons les partenaires pour alimenter les forums. Mais cela peut arriver que ça se passe mal. On ne partage pas tout avec le client. On gère les droits d'accès sur les plateformes. On fait confiance aux informaticiens sur les TIC. Et les TIC ne sont pas d'ingénieurs pour les droits d'auteurs, car il y a des normes de sécurité énormes et un gros contrôle (qui est le même que sur papier).</p>	U 5
	A
	I 4
	+G 1
	S-I 1
	S-C 5
Ingénieur 2	
<p>Il n'y a pas de différence de confiance entre les réseaux selon lui. Cependant, le contrat va changer les relations. Mais notre politique (Spécifique) est d'en tirer le plus possible et d'essayer de satisfaire tout le monde (ils sont cependant payés plus cher). Il n'y a selon lui jamais de mauvaises surprises de mauvaise collaboration. Ils ne montrent pas tout au client pour ne pas montrer nos méthodes. Les TIC ne peuvent pas mesurer leurs plans, mais ils peuvent tout diffuser sans problèmes.</p>	C 3
	A 4
	I
	EG 4
	S-T 4
	S-C 5
EG 3	
<p>Il fait un minimum de confiance avec les acteurs, mais pas plus. Seul le client doit être plus de confiance.</p>	C 4
	A 2
	I 2
	+G
	S-I 2
	S-C 2
Sous-consultant 2	
<p>Ils font confiance aux professionnels, mais le minimum possible pour les autres.</p>	C 2
	A 5
	I 5
	+G 2
	S-I 2
	S-C

Tableau-A III-4 Réponses aux questions sur les visons des acteurs

Client 1
<p>Comme eux ont la vision globale des projets et les suivent, le rôle du BIM manager retombe sur eux. Cependant, il faudrait que chacun des intervenants ait son intégrateur BIM. Pour eux, la soumission n'est pas vraiment à eux, de toute façon ils ne demandent que les coûts et pas de plans. Tous leurs documents sont publics, mais c'est aux professionnels de garantir la confidentialité de leurs documents. Les honoraires ne sont pas adaptés à l'utilisation des TIC. Les clients ne peuvent pas tout faire et prendre en charge l'utilisation de ces TIC. Les ingénieurs sont sous payés. Alors ils peuvent faire du BIM à l'interne, mais ils ne vont pas le diffuser. Ils ne sont pas fermés au changement, mais ils manquent d'argent.</p>
Architecte 2
<p>Les droits d'auteurs sont à l'architecte et il ne veut pas que ces documents soient diffusés. Le BIM manager doit être l'architecte, c'est dans son rôle de coordination. Sinon on lui enlève du travail.</p> <p>On gère la confidentialité en ne diffusant pas les formats modifiables. Nous pourrions utiliser NOTARIUS, mais c'est trop encombrant. Le BIM, c'est bien pour la visualisation et le client en début de projet, mais ça ne sert à rien en construction. Il faudrait normaliser le BIM, mais ça serait trop lourd. Pense que les très grands EG peuvent utiliser le BIM et est avantageux, mais cela qu'en PPP. De plus, le BIM serait intéressant pour les gros projets et gros clients, mais ceux-ci ne paient pas assez.</p>
Ingénieur 3
<p>Le BIM manager doit être externe. Mais il peut être aussi l'architecte ou l'EG, cela ne dérange pas. L'EG n'a pas la même vision qu'eux pour répondre aux exigences du client. Il peut faire du troc avec lui.</p> <p>Il faut plus d'honoraires pour utiliser les TIC. Le décret n'est pas adapté. La qualité augmente donc les coûts avec.</p>
S-F 1
<p>Tout le monde à intérêt à ce que les travaux se déroulent le plus vite possible. Le client et les professionnels en veulent toujours plus alors qu'ont doit avoir les prix les plus bas possible. Ils n'ont pas d'avis sur le BIM manager car ils "y connaissent rien". Pour eux la responsabilité est sur les professionnels. Ils pensent qu'on remet trop la mauvaise coordination sur eux.</p>

<p style="text-align: center;">Client 2</p> <p>Les honoraires des architectes et ingénieurs sont bons pour la conception, mais pas assez élevés en construction. Les soumissions ne sont que la propriété matérielle du client. Les documents et droits d'auteur sont selon lui au client, car ils paient pour cela. Pense que la sécurité n'est pas bonne avec les TIC, mais elle est identique à celle d'avant. Il n'y a pas moyen de combler cela. Le BIM manager devrait être à un gérant externe d'après ce client, mais devrait être à l'architecte ou même au client qui est gérant du projet d'après le répondant. Nous pouvons sélectionner les professionnels selon leurs compétences et utilisations des TIC grâce au comité de sélection, mais cela est impossible pour les EC qui du vent être les plus bas soumissionnaires.</p>
<p style="text-align: center;">Architecte 3</p> <p>Le BIM manager doit être celui qui gère le projet. Si l'on fait tout en 3D ça prend une équipe double. Il faut alors aussi élargir les responsabilités en changeant le BSDQ. Peut-être que les professionnels en mettent trop dans les plans et qu'il faudrait plus de responsabilités à l'entrepreneur. Le BIM va changer les processus, on va donner la maquette avec les quantités. On fournit la maquette pour favoriser la constructibilité, mais pas son intégrité sinon il faut revoir les responsabilités. Ça va changer la structure de la responsabilité: comment signe et date-t-on les documents? Les responsabilités ne sont pas claires lorsque l'on passe la maquette. De plus, cela va changer le mode contractuel. Il faudra revoir les responsabilités. On avertit quand on change les plans d'un autre. La responsabilité est à 90% sur l'architecte.</p>
<p style="text-align: center;">EG 1</p> <p>C'est l'architecte qui doit avoir le rôle de BIM manager puisque c'est lui qui dirige le projet. Les honoraires sont suffisants pour utiliser le BIM qui fait gagner de l'argent à tout le monde.</p>
<p style="text-align: center;">S-T 2</p> <p>C'est à un externe de se charger du BIM même s'ils avouent ne pas s'y connaître. Pour eux les professionnels fuient leur responsabilité et demande toujours plus d'honoraires, mais en font toujours moins.</p>

Client 3
<p>Les honoraires ne sont pas assez élevés pour la construction, dont le suivi est bâclé par les professionnels. De plus, ils ne sont pas adaptés à l'utilisation des TIC. Le BIM manager doit être soit client, architecte ou externe. Mais le client ne peut pas prendre en charge toute l'utilisation des TIC. Ils peuvent sélectionner les professionnels en fonction de leur compétence pour les TIC, mais pas les EG. De toute manière, demander des technologies non maîtrisées par la majorité va à l'encontre de la politique publique. Les clients publics sont souvent bloqués par un manque de moyen malgré leurs envies de changements.</p>
Ingénieur 1
<p>Il faut bien faire confiance et partager nos documents sur les TIC ou autre. Il n'y a pas un danger spécifique aux TIC. Il regarde pour faire plaisir au client dans la limite du possible. Le Bim manager devrait être l'architecte ou l'EG. La loi sur les ingénieurs n'impose pas de contrainte gênante pour la collaboration.</p>
EG 2
<p>C'est l'entrepreneur qui doit être en charge du management du BIM car il a l'expertise de construction nécessaire. Les honoraires des professionnels doivent baisser, car leur travail est plus facile et beaucoup de responsabilités sont reportées sur l'EG.</p>
Sous-consultant 1
<p>Le BIM manager doit être selon eux le gestionnaire de projet le plus globalement impliqué. Celui-ci peut donc être l'architecte, l'EG ou le client. Les problèmes de responsabilité ne sont pas leurs problèmes. Ils sont surtout sur les professionnels. Eux sont juste responsables de la mesure ou de la conception qu'ils réalisent. Ils ne voient pas de problèmes concernant la gestion de leur responsabilité.</p>

Architecte 1
<p>Les BIM manager c'est temporairement pour accompagner. Après cela fera double avec la fonction de l'architecte. C'est la même chose qu'anciennement pour les techniciens en CAO. Les professionnels demandent parfois des honoraires supplémentaires pour le BIM, mais eux choisissent en fonction des projets de le faire avec ou sans BIM (si cela est avantageux pour eux).</p>
Ingénieur 2
<p>Pense Le BIM utile pour eux. Et que l'utilité du BIM va de soi. Utilisation même sans demande du contrat. L'EG n'a pas le droit de mesurer sur les modèles 3D. La responsabilité des acteurs est floue (tout le monde est responsables). Il n'y a cependant pas de problème pour diffuser les documents. Les contraintes de OIQ sont des fois surpassées pour régler des problèmes (ou essaie de faire plaisir aux différents partis prenants).</p>
EG 3
<p>Le BIM manager doit être l'EG. Cependant, trop de responsabilités sont transférées des professionnels à l'EG. Ce n'est pas juste, les professionnels doivent faire face à leurs responsabilités.</p>
Sous-consultant 2
<p>C'est l'architecte qui doit avoir le rôle de BIM manager puisque c'est lui qui dirige le projet. Ils trouvent qu'il y a trop de responsabilités portées sur les professionnels.</p>

Tableau-A III-5 Visions communes

Répondant/Acteur	Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs	Sous-traitants	Sous-Consultants
Clients publics		2,67	1,5	0,83	0,70	2,33
Architectes	2,67		3,5	0,67	0,67	3
Ingénieurs	1,5	3,5		2	2	3,5
Entrepreneurs	0,83	0,67	2		4	1
Sous-traitants	0,70	0,67	2	4		1
Sous-Consultants	2,33	3	3,5	1	1	

Tableau-A III-6 Ressenti de la vision commune

Client 1		Client 2	
Les EG pensent plus aux coûts, car ils sont les plus bes soumissionnaires. Les professionnels ont la même vision en conception, mais ne considère pas la phase travaux comme importants. Ils embaient des stagiaires normalement au suivi de qualité promis.	C	Les professionnels ont plus la même vision que nous. Les EG pensent plus à l'argent et ne se soucient pas de la qualité.	C
	A		A
	I		I
	EG		EG
	S-T		S-T
S-C	S-C	S-C	S-C
Architecte 2		Architecte 3	
On n'a pas du tout la même vision que les EG. Avec les ingénieurs, ça va en général. Les avantages du BIM ne reviennent pas à l'architecte. Il faudrait plus d'honoraires. Mais cela n'est pas possible dans le public où les honoraires sont déjà trop bas. Dans le privé ils voient déjà l'architecte comme une dépense superflue alors ils ne paieront pas.	C	Ne sait pas se prononcer.	C
	A		A
	I		I
	EG		EG
	S-T		S-T
S-C	S-C	S-C	S-C
Ingénieur 3		EG 1	
Les entrepreneurs ne pensent qu'à l'argent. Nos consultants eux pensent à rendre un bon proje..	C	Ne pense pas partager les mêmes visions et intérêts que les autres acteurs.	C
	A		A
	I		I
	EG		EG
	S-T		S-T
S-C	S-C	S-C	S-C
S-T 1		S-T 2	
Tout le monde pense à son argent et donc n'a pas les mêmes intérêts sauf nous avec les entrepreneurs.	C	Ils n'ont rien en commun avec les acteurs, sauf les EG avec qui ils construisent.	C
	A		A
	I		I
	EG		EG
	S-T		S-T
S-C	S-C	S-C	S-C

<p align="center">Client 3</p> <p>Les professionnels ont la même vision que le client durant la conception, mais ne voient pas la phase construction aussi importante que cela ne l'est pour le client. Les EG ont leur vision centrée sur leurs coûts.</p>	<p align="center">C</p> <p>A 4</p> <p>I 4</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 4</p>	<p align="center">Architecte 1</p> <p>On n'a pas la même vision que les EG (durabilité vs qualité minimum)</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A</p> <p>I 5</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 3</p>
<p align="center">Ingénieur 1</p> <p>On n'a pas les mêmes intérêts que les entrepreneurs. Le client n'aime pas les Extra.</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A 4</p> <p>I</p> <p>EG 1</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 5</p>	<p align="center">Ingénieur 2</p> <p>Il ne voit pas de différence dans la vision.</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A 5</p> <p>I</p> <p>EG 0</p> <p>S-T 0</p> <p>S-C 5</p>
<p align="center">EG 2</p> <p>Ils partagent quelques intérêts avec les S-T, mais très peu avec les autres.</p>	<p align="center">C 1</p> <p>A 1</p> <p>I 1</p> <p>EG</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 1</p>	<p align="center">EG 3</p> <p>Ils ne partagent rien avec les professionnels. Ils ne se comprennent pas. Très peu est partagé mis à part avec les S-T.</p>	<p align="center">C 1</p> <p>A 0</p> <p>I 0</p> <p>EG</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 1</p>
<p align="center">Sous-consultant 1</p> <p>Ils pensent partager les mêmes intérêts que les professionnels et les clients. Néanmoins le client ne les comprend pas en tout temps du fait du manque de compétences techniques selon eux. Les entrepreneurs ne pensent qu'à leur argent.</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A 5</p> <p>I 5</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C</p>	<p align="center">Sous-consultant 2</p> <p>Ils sont sur la même ligne avec les ingénieurs, mais des désaccords existent avec les clients et architectes.</p>	<p align="center">C 4</p> <p>A 4</p> <p>I 5</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C</p>

Tableau-A III-7 Moyens de communications utilisés par les répondants pour l'échange de plans

<p align="center">Client 1</p> <p>Courriels et sites FTP pour télécharger des plans. Beaucoup de téléphones, car c'est beaucoup plus rapide et efficace. Mais il faut toujours envoyer des courriels pour archivage. Utilise parfois les plateformes des professionnels. Les entrepreneurs doivent réaliser leurs archives sur le chantier. On ne peut pas demander l'utilisation de TIC. Ce a diminuerait le nombre de soumissionnaires possible. Les plateformes de partages peuvent poser des problèmes. Il n'y a pas de traces de qui à consulter les documents.</p>	<p align="center">Client 2</p> <p>Ils utilisent beaucoup le téléphone. Les courriels sont aussi utilisés (c'est un bel outil, mais ça n'en finit plus). Utilise SharePoint pour partager les documents, mais demande aussi contre honoraires une plateforme fournie par l'architecte. Ne connais pas les plateformes de partages plus sophistiquées. Mais connaît les tablettes et tables numériques et aimerait en avoir. Mais un organisme public ne peut pas investir (même s'il pense qu'il y aurait vite un retour sur investissement).</p>
<p align="center">Architecte 2</p> <p>On ne veut pas utiliser les TIC avec FBG. Dropbox pour gros fichier, sinon des courriels (les gens sans courriels (petits ST) sont amenés à disparaître). Pas de plateformes de partage qui profiteraient aux ingénieurs et nous qui paierons. Cela nous conviendrait comme ça. Nous pourrions peut-être utiliser des scanners 3D.</p>	<p align="center">Architecte 3</p> <p>Le téléphone est incontournable. On utilise les courriels et des sites pour transférer les maquettes (pas avec les EG). Il faut de l'électronique avec de la traçabilité. Pour la plupart des plateformes comme BIM 360 peuvent être bien. Pour l'instant les courriels c'est pas trop mal même si c'est pas toujours optimal. Mais pour l'instant, tout le monde n'est pas sur Revit.</p>
<p align="center">Ingénieur 3</p> <p>Courriels pour archiver, mais ils sont mal utilisés. Le téléphone est vraiment important pour faire passer des messages. Ils dorrent les plans sur CD aux entrepreneurs au début. Ils utilisent les sites FTP des architectes, mais ils n'aiment pas ça. C'est trop archaïque. Ils aimeraient avoir des plateformes de partage gérées par l'architecte.</p>	<p align="center">EG 1</p> <p>Ils utilisent le téléphone, les courriels, les sites FTP des professionnels et dropbox. Ils ont eux à l'intérieur une plateforme de gestion des documents notamment pour l'archivage. (Ils envisagent de peut-être étendre cette plateforme aux ST). Les plateformes de partages peuvent alléger les courriels dans l'avenir.</p>
<p align="center">S-T 1</p> <p>Ils utilisent le téléphone principalement et des courriels pour recevoir les documents et confirmer les décisions prises à l'oral. Ils utilisent selon leur grosseur les sites FTP des entrepreneurs pour prendre les plans et documents de projet.</p>	<p align="center">S-T 2</p> <p>Ils utilisent que le téléphone et les courriels.</p>

<p style="text-align: center;">Client 3</p> <p>Ils utilisent beaucoup le téléphone et les courriels sont obligatoires pour tout formaliser. Ils utilisent aussi des plateformes de collaboration et notamment celles des professionnels peuvent même les payer pour. Ils ne connaissent cependant que peu les plateformes plus sophistiquées. Ils aimeraient avoir ces outils plus développés, mais sont contraints par le manque de financement et l'impossibilité de demander l'utilisation des TIC aux sous-traitants.</p>	<p style="text-align: center;">Architecte 1</p> <p>Un compromis si l'on choisit d'utiliser des TIC alors le client et l'EG suivent. Nous utilisons des plateformes de partage. On utilise les courriels, FTP et des fois le téléphone (mais un courriel est toujours nécessaire pour confirmer). On n'utilise pas les TIC de façon globale: fournir tous les documents au client n'est pas efficace. Aimerais avoir moins de communications à distance. Ça se règle plus vite en réunion. Ne pense pas pouvoir se passer des courriels pour la nécessité d'archiver.</p>
<p style="text-align: center;">Ingénieur 1</p> <p>Ils utilisent les courriels et le téléphone. Ils profitent des sites FTP des EG le cas échéant. Mais ces courriels et FTP ne transmettent que 20% du temps la bonne information. Il faut alors appeler. On ne peut pas utiliser d'autres choses comme les plateformes de partage pour communiquer, car il faut archiver. Ils ont donc besoin des courriels.</p>	<p style="text-align: center;">Ingénieur 2</p> <p>Téléphone et les courriels pour confirmer. Ils utilisent des plateformes de partages comme ProjeerWise et Exonex et fournissent pour la conception. Ils utilisent quelquefois le site de l'EG. L'accès aux documents est réglementé selon les personnes. Ils téléversent leurs plus chaque semaine.</p>
<p style="text-align: center;">EG 2</p> <p>Ils utilisent le téléphone, les courriels, les sites FTP des professionnels et desktop. Ils ont eux à l'interne une plateforme de gestion des documents notamment pour l'archivage.</p>	<p style="text-align: center;">EG 3</p> <p>Ils utilisent le téléphone, les courriels, les sites FTP des professionnels et leur site internet.</p>
<p style="text-align: center;">Sous-consultant 1</p> <p>Ils utilisent les téléphones, les courriels. Ils utilisent parfois les sites FTP des professionnels. Ils sont assez satisfaits de moyen de communication, mais aimeraient utiliser des plateformes de partages pour faciliter leur connaissance du projet.</p>	<p style="text-align: center;">Sous-consultant 2</p> <p>Ils utilisent le téléphone, les courriels, les sites FTP des professionnels et l'EG.</p>

Tableau-A III-8 Moyens de communications

Répondant \ Acteur	Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs	Sous-traitants	Sous-Consultants
Clients publics		3,33	3,33	3,67	1,5	3,5
Architectes	3,33		3,33	2,33	1,5	3,40
Ingénieurs	3,33	3,33		3	1,5	3,40
Entrepreneurs	3,67	2,33	3		1,5	3,40
Sous-traitants	1,5	1,5	1,5	1,5		1,5
Sous-Consultants	3,5	3,40	3,40	3,40	1,5	

Tableau-A III-9 Sentiment d'efficacité des communications

<p>Client 1</p> <p>Les courriels sont corrects, mais les personnes font de longues chaînes</p>	<p>C</p> <p>A 4</p> <p>T 4</p> <p>EG 4</p> <p>S-T 4</p> <p>S-C 4</p>	<p>Client 2</p> <p>Les communications fonctionnent bien.</p>	<p>C</p> <p>A 5</p> <p>T</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>
<p>Architecte 2</p> <p>Il y a une bonne communication. Cependant, l'entrepreneur ne fait pas son travail de transmission vers les ST. Il n'est pas possible en plus de mettre des plans toujours à jour pour les ST. Ils n'ont rien pour les mettre à jour e. imprimé.</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>T 5</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C 3</p>	<p>Architecte 3</p> <p>C'est correct, mais ce n'est pas toujours optimal.</p>	<p>C 4</p> <p>A</p> <p>T 4</p> <p>EG 4</p> <p>S-T 4</p> <p>S-C 4</p>
<p>Ingénieur 3</p> <p>Ça va, mais les courriels sont inefficaces. Mais ils ne vont rien pour améliorer ce a.</p>	<p>C 4</p> <p>A 4</p> <p>T</p> <p>EG 4</p> <p>S-T 4</p> <p>S-C 4</p>	<p>EG 1</p> <p>Les gens utilisent moins le téléphone ce qui est dommage, car on ne peut pas tout faire passer par courriel. Cependant, il faut toujours se couvrir avec les courriels pour éviter les abus.</p>	<p>C 3</p> <p>A 3</p> <p>T 3</p> <p>EG</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 3</p>
<p>S-T 1</p> <p>Les communications sont satisfaisantes. Cependant, les demandes de changement et réponses aux questions sont longues avec les professionnels et le client.</p>	<p>C 2</p> <p>A 2</p> <p>T 2</p> <p>EG 4</p> <p>S-T</p> <p>S-C 4</p>	<p>S-T 2</p> <p>Les sites de partage sont parfois trop complexes ou inefficaces.</p>	<p>C 4</p> <p>A 4</p> <p>T 4</p> <p>EG 4</p> <p>S-T</p> <p>S-C 4</p>

<p align="center">Client 3</p> <p>Communication se déroulent bien avec tout le monde.</p>	<p>C</p> <p>A 4</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>	<p align="center">Architecte 1</p> <p>Oui cela se passe bien, mais les gens ne savent pas utiliser les CC dans les courriels.</p>	<p>C 4</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>
<p align="center">Ingénieur 1</p> <p>Oui tout se passe bien. Le téléphone est beaucoup utilisé pour les questions urgentes avec l'EG. La confirmation est donnée par courriel après même si les travaux ont commencé.</p>	<p>C 5</p> <p>A 5</p> <p>I</p> <p>EG 5</p> <p>S-T 5</p> <p>S-C 5</p>	<p align="center">Ingénieur 2</p> <p>Oui il n'y a pas de problèmes</p>	<p>C 5</p> <p>A 5</p> <p>I</p> <p>EG 5</p> <p>S-T 5</p> <p>S-C 5</p>
<p align="center">EG 2</p> <p>Il y a trop de courriels inutiles.</p>	<p>C 4</p> <p>A 4</p> <p>I 4</p> <p>EG</p> <p>S-T 4</p> <p>S-C 4</p>	<p align="center">EG 3</p> <p>Il n'y a pas de problèmes.</p>	<p>C 5</p> <p>A 5</p> <p>I 5</p> <p>EG</p> <p>S-T 5</p> <p>S-C 5</p>
<p align="center">Sous-consultant 1</p> <p>Oui il y a une bonne communication générale. Les demandes de mesure des EG sont souvent malheureusement trop tardives.</p>	<p>C 5</p> <p>A 5</p> <p>I 5</p> <p>EG 5</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C</p>	<p align="center">Sous-consultant 2</p> <p>Oui il y a une bonne communication générale, mais les courriels sont envoyés à tort et à travers. C'est difficile parfois avec les EG et S-T.</p>	<p>C 4</p> <p>A 1</p> <p>I 4</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C</p>

Tableau-A III-10 Formats

Client 1		Client 2			
Utilise AutoCAD et les PDF. Ils seraient d'accord pour utiliser des formats ouverts si cela convient aux professionnels. (Les formats multimédias ne sont dans leur esprit que pour les professionnels) De plus, étant un client public ils se doivent choisir les formats les plus ouverts possible pour ne pas restreindre le nombre de soumissionnaires potentiels. Mais ils ont peur que ces formats créent des problèmes. Il y a des projets dont lesquels les architectes et ingénieurs structures travaillent avec le BIM au cas ne veulent pas l'utiliser. Ils ne veulent pas non plus payer en supplément aux professionnels, car ils utilisent le BIM.	C	Demande des PDF et AutoCAD. Les AutoCAD pour pour les estimateurs internes. Le gérant de projet n'en a pas d'utilité!	C		
	A		2		
	I		2		
	EG		2		
	S-T		2		
S-C	2	S-C	2		
Architecte 2		Architecte 3			
On ne donne pas les maquettes à TEG: qu'est-ce qu'il va en faire? On donne des PDF à TEG et des autocad aux ingénieurs. (Ne pense pas au client) Sera intéressé par des formats ouverts, car il en a marre d'AutoDesk. Ls ne transmettent les plans que lorsqu'ils sont finaux.	C	3	Pour les ingénieurs et le client, toujours en restant sauf si le client demande en autocad, 90% des clients ne veulent pas en restant 10% demande AutoCAD (auto-cadage si à faire à toutes les étapes). Pour les ST et entrepreneurs, on donne en CAD, mais en enlevant de la formulation. Le REVIT cela serait trop technique. De toute façon cela sera juste en votre honneur et donc avec les informations contenues dans nos modèles afin de protéger notre droit d'auteur. On serait prêt à utiliser un format ouvert s'il n'y a pas de perte de données.	C	2
	A			A	
	I	3		I	2
	EG	1		EG	1
	S-T	1		S-T	1
S-C	3	S-C	2		
Ingénieur 3		EG 1			
On donne des PDF et CAD car les CAD sont de toute façon pas signés. Par contre, ils partagent leur maquette Revit qu'avec l'équipe de conception pour ne pas se faire piquer leurs données. Mais ils n'ont pas de problèmes avec les réseaux.	C	3	On n'a pas les DWG de l'architecte à cause des responsabilités.	C	2
	A	3		A	2
	I			I	2
	EG	1		EG	
	S-T	1		S-T	2
S-C	3	S-C	2		
S-T 1		S-T 2			
Utilisent des PDF, mais aimeraient utiliser des DWG.	C	2	Utilisent que les PDF ou des plans papiers. Ils n'ont pas besoin de plan modifiable.	C	1
	A	2		A	1
	I	2		I	1
	EG	2		EG	1
	S-T			S-T	
S-C	2	S-C	1		

<p align="center">Client 3</p> <p>Utilisent PDF et AutoCAD. Ils sont pour l'utilisation de formats ouverts qui va avec la mentalité publique qu'ils doivent avoir. Les petits clients ne veulent pas prendre le BIM même si les professionnels l'utilisent et ne veulent pas payer de supplément pour cela.</p>	<p>C 1</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 2</p>	<p align="center">Architecte 1</p> <p>Utilise REVIT, mais ne connaît pas le format IFC, mais il serait intéressé.</p>	<p>C 3</p> <p>A</p> <p>I 3</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 3</p>
<p align="center">Ingénieur 1</p> <p>On utilise Notarius pour gérer la confidentialité et les droits d'auteurs des documents. On utilise des PDF et de IFC. Pour l'entrepreneur nous donnons juste les PDF. Sur un chantier le papier reste le meilleur format. On utilise des sites FTP. On est prêt à investir dans le BIM, on gagne 30% des coûts en 3D. Les TIC sont dangereuses pour les droits d'auteurs, mais nous sommes pour ça pas rendu à une réutilisation des modèles sans compétences. Il est difficile de mettre les modèles 3D contractuels, car ils sont trop complexes et il peut y avoir beaucoup d'erreurs. De plus, l'EG n'a pas besoin du 3D.</p>	<p>C 4</p> <p>A 4</p> <p>I</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 4</p>	<p align="center">Ingénieur 2</p> <p>Utilise Revit sur tout leur projet ou AutoCAD lorsque c'est demandé.</p>	<p>C 3</p> <p>A 3</p> <p>I</p> <p>EG 2</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 3</p>
<p align="center">EG 2</p> <p>On veut utiliser des DWG avec tout le monde,</p>	<p>C 2</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 2</p>	<p align="center">EG 3</p> <p>On veut utiliser des DWG avec tout le monde,</p>	<p>C 2</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG</p> <p>S-T 2</p> <p>S-C 2</p>
<p align="center">Sous-consultant 1</p> <p>Ils utilisent surtout des PDF. Ceux travaillant sur des plans utilisent les DWG. Cependant ils ne partagent pas ces DWG avec les autres acteurs mis à par les professionnels.</p>	<p>C 1</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG 1</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C</p>	<p align="center">Sous-consultant 2</p> <p>Ils utilisent les DWG qu'avec les professionnels</p>	<p>C 1</p> <p>A 2</p> <p>I 2</p> <p>EG 1</p> <p>S-T 1</p> <p>S-C</p>

Tableau-A III-11 Interopérabilité

<p>Client 1</p> <p>Tout se passe bien avec AutoCAD. Tout le monde possède AutoCAD.</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td></td></tr> <tr><td>EG</td><td></td></tr> <tr><td>S-T</td><td></td></tr> <tr><td>S-C</td><td></td></tr> </table>	C	5	A		I		EG		S-T		S-C		<p>Client 2</p> <p>Le gérant de projet utilise que les PDF. Il n'y a pas de problèmes d'interopérabilités.</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td></td></tr> <tr><td>EG</td><td></td></tr> <tr><td>S-T</td><td></td></tr> <tr><td>S-C</td><td></td></tr> </table>	C	5	A		I		EG		S-T		S-C	
C	5																										
A																											
I																											
EG																											
S-T																											
S-C																											
C	5																										
A																											
I																											
EG																											
S-T																											
S-C																											
<p>Architecte 2</p> <p>Pas de problèmes</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td>5</td></tr> <tr><td>EG</td><td>5</td></tr> <tr><td>S-T</td><td>5</td></tr> <tr><td>S-C</td><td>5</td></tr> </table>	C	5	A		I	5	EG	5	S-T	5	S-C	5	<p>Architecte 3</p> <p>Pas de problème relevé. Cependant, il faudrait un protocole RVT.</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>4</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td>4</td></tr> <tr><td>EG</td><td>4</td></tr> <tr><td>S-T</td><td>4</td></tr> <tr><td>S-C</td><td>4</td></tr> </table>	C	4	A		I	4	EG	4	S-T	4	S-C	4
C	5																										
A																											
I	5																										
EG	5																										
S-T	5																										
S-C	5																										
C	4																										
A																											
I	4																										
EG	4																										
S-T	4																										
S-C	4																										
<p>Ingénieur 3</p> <p>Pas de problèmes</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td>5</td></tr> <tr><td>I</td><td></td></tr> <tr><td>EG</td><td>5</td></tr> <tr><td>S-T</td><td>5</td></tr> <tr><td>S-C</td><td>5</td></tr> </table>	C	5	A	5	I		EG	5	S-T	5	S-C	5	<p>EG 1</p> <p>Intéressé par les TIC si le marché le demande, sinon cela coûte trop cher et n'est pas avantageux (pour le BIM). Les autres TIC peuvent être intéressantes.</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td>4</td></tr> <tr><td>I</td><td>4</td></tr> <tr><td>EG</td><td></td></tr> <tr><td>S-T</td><td>4</td></tr> <tr><td>S-C</td><td>4</td></tr> </table>	C	5	A	4	I	4	EG		S-T	4	S-C	4
C	5																										
A	5																										
I																											
EG	5																										
S-T	5																										
S-C	5																										
C	5																										
A	4																										
I	4																										
EG																											
S-T	4																										
S-C	4																										
<p>S-T 1</p> <p>N'est pas intéressé par les TIC qui sont trop chères. Ils ne connaissent de toute façon pas.</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td></td></tr> <tr><td>EG</td><td></td></tr> <tr><td>S-T</td><td></td></tr> <tr><td>S-C</td><td></td></tr> </table>	C	5	A		I		EG		S-T		S-C		<p>S-T 2</p> <p>Pas de problèmes</p>	<table border="1"> <tr><td>C</td><td>5</td></tr> <tr><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td></td></tr> <tr><td>EG</td><td></td></tr> <tr><td>S-T</td><td></td></tr> <tr><td>S-C</td><td></td></tr> </table>	C	5	A		I		EG		S-T		S-C	
C	5																										
A																											
I																											
EG																											
S-T																											
S-C																											
C	5																										
A																											
I																											
EG																											
S-T																											
S-C																											

<p>Client 3</p> <p>Avec AutoCAD et PDF tout le monde peut tout utiliser et il n'y a pas de problèmes de compatibilité.</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>	<p>Architecte 1</p> <p>Il y a des problèmes aux aux différentes versions. Il y a un problème de prix élevé des licences et des problèmes avec la signature notariale. Un des freins est la demande de plans AutoCAD par le client, alors que cela prend du temps à mettre la maquette 3D en format AutoCAD.</p>	<p>C 2</p> <p>A</p> <p>I 3</p> <p>EG 4</p> <p>S-T 4</p> <p>S-C 3</p>
<p>Ingénieur 1</p> <p>Non, on utilise des PDF et des formats IFC. Mais les fichiers IFC sont trop gros et la coordination peut être difficile.</p>	<p>C 5</p> <p>A 4</p> <p>I</p> <p>EG 5</p> <p>S-T 5</p> <p>S-C 4</p>	<p>Ingénieur 2</p> <p>Il n'y a pas de problème sauf si les ST ou ingénieurs utilisent AutoCAD et eux Revit.</p>	<p>C 5</p> <p>A 5</p> <p>I</p> <p>EG 3</p> <p>S-T 3</p> <p>S-C 5</p>
<p>EG 2</p> <p>Pas de problèmes</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>	<p>EG 3</p> <p>Pas de problèmes</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>
<p>Sous-consultant 1</p> <p>Ils sont intéressés par les plateformes de partage, mais ne voient pas l'utilité du BIM pour eux. Cependant ils investiraient si le marché le demande (si les professionnels ne fournissent plus de DWG, mais des maquettes 3D)</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>	<p>Sous-consultant 2</p> <p>Pas de problèmes</p>	<p>C 5</p> <p>A</p> <p>I</p> <p>EG</p> <p>S-T</p> <p>S-C</p>

Tableau-A III-12 Matrice générale (Somme et normalisée)

Répondant/Acteur	Clients publics	Architectes	Ingénieurs	Entrepreneurs	Sous-traitants	Sous-Consultants
Clients publics		0,596	0,610	0,522	0,365	0,623
Architectes	0,596		0,689	0,386	0,346	0,651
Ingénieurs	0,610	0,689		0,482	0,421	0,747
Entrepreneurs	0,522	0,386	0,482		0,544	0,454
Sous-traitants	0,365	0,346	0,421	0,544		0,382
Sous-Consultants	0,623	0,651	0,747	0,454	0,382	

ANNEXE IV

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS OBSERVÉES

Réunion 1

Contexte

La réunion avait pour but de recueillir l'avis des entrepreneurs généraux sur le BIM. Cette réunion visait plus particulièrement à discuter des valeurs contractuelles du BIM afin de préparer la rencontre du comité BIM dans lequel siège les entrepreneurs généraux. Étaient présents les représentants des principaux entrepreneurs généraux du Québec. Il est à noter que ces représentants sont tous liés à l'implantation du BIM dans leur entreprise et ne représente pas forcément l'avis des entrepreneurs en général.

Résumé

La réunion a commencé par une présentation sur le BIM à l'étranger et les généralités présentant le BIM, ses avantages pour les entrepreneurs. Il est montré que certains maîtres d'ouvrage essaient d'implanter le BIM. Mais celui-ci ne représente pas de valeur ajoutée dans les missions des architectes et ingénieurs. Le BIM est plus destiné aux entrepreneurs et au maître d'ouvrage. Pour les entrepreneurs le BIM est une plateforme de logiciels interopérables pour concevoir et gérer les données (objets intelligents). Pour l'instant les architectes ne mettent pas l'information dans la maquette, c'est à l'entrepreneur général de le faire. Alors que l'entrepreneur veut que ce soit l'architecte pour ensuite pouvoir venir exploiter les données et faire des estimations par exemple.

Le BIM c'est un logiciel et un processus qui va changer les pratiques. Le but étant aussi d'éliminer la ressaisie des données qu'il existe présentement dans la construction. L'approche recommandée pour l'implantation du BIM est une approche évolutive partant comme la SQI d'un BIM pour la coordination 3D pour aller vers un BIM 4-5-6D ! Ces dimensions 6D concernent surtout l'entrepreneur. À l'état actuel le BIM est utilisé pour la 3D,

mais il n'y a pas de collaboration. Le défi des entrepreneurs généraux est d'obtenir un BIM 3D pour devis afin de faire 4-5-6D.

S'en est suivi une discussion : Il s'est dit que les professionnels ne veulent pas donner leur modèle même en appel d'offres. Les professionnels ne veulent pas donner leurs maquettes ils veulent qu'il y en ait 2! Les entrepreneurs généraux devraient construire leur propre maquette. Les entrepreneurs généraux veulent être en design-build alors que les professionnels veulent garder le mode traditionnel et donner des papiers pour les appels d'offres. Il se dit qu'est c'est parce qu'ils ont peur qu'il y ait des erreurs dans leur maquette. De plus, ils tiennent au mode traditionnel ou ils gardent leurs honoraires en faisant affaire avec le client et non l'entrepreneur général en design-build. De plus, en design-build l'ingénieur en électricité peut être remplacé par les S-T électriciens (tout comme les tuyauteries) (ventilation ?). Concernant remise ou non des maquettes aux S-T, il a été soulevé le problème que ceux-ci ne faisant des devis qu'en fonction de ce qu'ils comprennent et les maquettes risquant d'être plus ou moins bien faites, les prix pourraient alors énormément varier selon la qualité de la maquette. Sur ce sujet plusieurs points de vue sont présents. Certains ne veulent pas donner le 3D aux S-T, mais des 2D bien faits. Ils pensent qu'on ne se sépara pas du 2D. Il a aussi été dit que le 2D ne peut pas être enlevé pour les détails qui ne se sont pas implantable dans la maquette ou trop précis, mais ceci ne serait plus le cas dans une industrie ayant recourt au préfabriqué. Les entrepreneurs généraux veulent pouvoir mettre les détails des fournisseurs dans la maquette. Les professionnels auraient alors peur des responsabilités. Mais il a été mis en évidence que la SQI peut avoir une réponse lorsque la maquette lui appartient. Cependant cela a soulevé beaucoup de questions comme est ce que les professionnels seront payés pour ce transfert de propriété. Et comment ils peuvent s'en servir, même si c'est déjà le même problème qu'avec les fichiers DWG. Si les appels d'offres pour les entrepreneurs généraux se font plus en 2D mais en 3D alors cela « changera la donne », car cela est plus complexe pour eux de répondre. Une des solutions aux problèmes d'appel d'offres complexes pour les entrepreneurs généraux a été mise en avant que sur le projet de la Baie-Saint-Paul la SQI avait payé les soumissionnaires (même s'il est estimé que

ces honoraires ne représentent que 25% des frais déboursés. Cette solution n'est donc pas voulue par les entrepreneurs généraux.

Un entrepreneur général ne pense pas que le contractuel soit le vrai enjeu. Pour lui le vrai enjeu est qu'il faut une vraie politique de marché de la part de l'ensemble de la construction et une véritable volonté globale d'innovation. Il faut repositionner tout le monde. Le BIM met en évidence ce problème qui a toujours existé. Pour cela les professionnels ne sont pas incités à le faire, ils ne veulent qu'aller chercher leurs honoraires. Ce modèle d'affaire où il n'y a pas de prix donné par le soumissionnaire est unique au monde. Dans ce changement, les entrepreneurs généraux devraient être un leader pour montrer et accompagner les autres vers l'innovation. Les entrepreneurs généraux veulent recevoir une maquette de conception au LOV (Level Of Detail) de niveau 200 (2^{ème} niveau sur 5) pour venir ensuite eux même bonifier cette maquette.

Le mode de rémunération des professionnels a beaucoup été discuté. Les entrepreneurs généraux pensent que celui-ci les pousse à vouloir garder le mode traditionnel. Caroline pense que le design-build sert les professionnels, car ils peuvent former des partenariats ou ils seront souvent appelés pour réaliser des projets. Un entrepreneur général pense lui que pour l'instant les professionnels gardent leur mentalité d'honoraires (en faire le moins possible) et donc chacun à ses intérêts, ne faisant donc pas avancer l'implantation de nouvelles technologies. Il a été dit aussi que les architectes ont un rôle de chef d'orchestre qu'ils n'assumaient pas.

Contrat en 2D ou 3D chacun à son avis les grosses firmes (semblant plus habituées et tournées vers le BIM) semblent préférer des contrats 3D et inversement pour les plus petites entreprises. Les points amenés en fin de rencontre lors d'un tour de table récapitulatif ont été principalement :

- les maîtres d'ouvres sont-ils vraiment prêts au changement ?
- personne ne veut changer ses habitudes;
- les entrepreneurs généraux doivent être leaders de l'innovation pour amener tout le monde (quitte à ne pas mentionner les problèmes au comité de pilotage BIM. IL faut que

les entrepreneurs généraux amènent tout le monde, mais surtout le client qui lui ne veut pas vraiment changer et à beaucoup de pouvoir;

- le problème est le manque de confiance entre les acteurs et donc personne n'est prêt à y aller.

Il faut donc retenir que bien que les avis sont ceux d'entreprises déjà ouvertes au BIM ne représentant pas la majorité des entrepreneurs généraux ceux-ci semblent tous être favorables au BIM et n'y trouvent aucun inconvénient. Les entrepreneurs généraux s'inquiètent surtout de ne pas recevoir les maquettes de la part des professionnels qui sont souvent mis en défaut dans leur volonté et leur résistance du potentiellement à leurs honoraires. De plus, il est à noter une différence de point de vue entre les grandes et plus modestes firmes présentes (les plus grosses sont plus ouvertes au BIM et à agir comme leader comparé aux plus petites).

Réunion 2 et 3 du comité BIM

Contexte

Cette réunion avait pour but de présenter aux différents membres du comité la vision du client public sur l'évolution des maquettes numériques dans le cycle de vie d'un bâtiment. Cette vision n'est pas encore officielle, mais est une bonne image de leur point de vue actuel. Cette vision sert de base pour rédiger les futurs contrats. À cette présentation était présent les représentants des architectes, des ingénieurs, des entrepreneurs généraux et des ouvriers.

Remarques

Dans le document, la parole de représentants sera reportée en faisant référence à leurs professions (les ingénieurs, les architectes, les entrepreneurs). Il est noté que tout ce qui est décrit dans ce document ainsi que les avis des acteurs résultent de la simple retranscription des paroles de chacun lors de cette réunion.

Résumé

Le client public a donc présenté sa vision du processus d'un projet utilisant la modélisation numérique (BIM). Cette vision se place au début d'un plan progressif pour l'implantation du BIM. Ici, le BIM ne serait pas intégré à son niveau de maturité maximum, mais comme outils de coordination 3D. La maquette ne servirait pas que pour la détection des interférences en 3D, la SQI veut amener aussi plus de collaboration entre les professionnels ressemblant à un processus de conception intégré. Elle veut aussi se servir de cet outil pour une meilleure vérification de qualité (technique et visuelle) afin de réduire le nombre et le coût des ordres de changements. Le BIM serait au centre de la conception collaborative dont le client pourrait être le cœur pour l'animer et la vérifier. Le client public ne pense pas révolutionner le processus de construction actuel, mais insère juste la conception d'une maquette numérique par itérations au sein du processus traditionnel. Dans cette vision, c'est plusieurs maquettes (architecturale, et une pour chaque spécialité) qui cheminent tout au long du projet. Ce processus hypothétique est décrit ci-dessous tel que présenté par le client public: Dans la phase de concept, les maquettes des professionnels sont dites intégrées. C'est-à-dire que chaque spécialité aura sa maquette, mais celle-ci intégrera celles des autres. Tous les acteurs doivent suivre l'avancement sur la maquette 3D. Pour les phases préliminaire et finale, il est question ici de maquette fédérée. Celle-ci se distingue par sa conception lors de groupe de travail collaboratif. Cette maquette sera partagée sur une plateforme collaborative. Le détail d'un partage par lien mort ou vivant n'est pas encore défini dans leur vision. Sur cette maquette s'effectuera le contrôle qualité de celles-ci ainsi que la détection des interférences contenue dans la conception. Pour l'appel d'offres, la maquette sera incorporée à celle-ci. Cependant, elle sera disponible selon des usages autorisés. C'est-à-dire qu'il sera noté dans le contrat que la maquette ne sera pas diffusable, elle ne pourra pas servir pour l'estimation de l'entrepreneur par exemple. Cela est mis en place pour garantir les droits et propriétés des professionnels. Par cela le client public essaie de protéger les données des professionnels.

- les architectes et ingénieurs montrent alors leurs peurs de donner trop d'informations par cette maquette. Ils argumentent notamment que la maquette n'est pas forcément à jour ou complète par rapport aux documents contractuels. Ils ne veulent pas que l'entrepreneur

viennent porter une réclamation du fait des erreurs faites sur la maquette ayant par exemple mal fait son estimation à cause des données de la maquette. De plus, les professionnels ne veulent pas voir circuler leur maquette de peur de voir les erreurs de celles-ci être ridiculisées devant le public. Les architectes insistent pour que la maquette soit disponible aux soumissionnaires que s'ils viennent la chercher (obligatoire puisque celle-ci n'est présentement pas diffusable sur SEAO) et signe un document les obligeant à restreindre leur utilisation de la maquette afin de préserver les professionnels des points précédents. Dans leur vision la maquette ne devrait être là que pour information pour pas que l'entrepreneur vienne révéler les erreurs et conflits vis-à-vis des autres documents contractuels;

- la SQI rétorque que comme cela se fait déjà il est possible de prioriser les documents contractuels. Ainsi s'il y a conflit entre les documents, car la maquette est obsolète, ce seront les plans 2D qui feront foi.

Le client public voudrait que les addendas apportent des modifications dans la maquette pour la garder à jour.

- les architectes affirment que par manque de temps, ils ne pourront pas mettre à jour la maquette pour l'émission des addendas, mais pour les plans définitifs.

Le client public veut ensuite passer la maquette au plus bas soumissionnaire.

- les architectes ont vraisemblablement peur de passer la maquette à l'entrepreneur. Les professionnels pensent que l'entrepreneur créera sa propre maquette de construction.

Pour la phase travaux, une maquette de construction est prévue. Celle-ci contiendra les principaux systèmes à intégrer. Les détails moins importants et difficiles à modéliser seront gardés dans les dessins d'ateliers traditionnels. Pour le client public, les entrepreneurs en se basant sur la maquette de conception devront proposer une version avec une mise en œuvre optimisée. Les professionnels devront approuver les dessins d'atelier ainsi que la maquette de construction des entrepreneurs. Ceci est justifié par la SQ Le client public par le fait ne pas perdre tout le travail fait en conception.

- les professionnels ont peur pour la responsabilité d'une approbation d'une solution sur une maquette. Ils ont peur de valider des solutions qui ont sans qu'ils s'en aperçoivent

- changer la conception. Ils ont peur que la maquette soit changée sans qu'ils ne le voient (par exemple déplacement de mur d'une dizaine de centimètres). De plus, sans l'avouer ils semblent avoir peur de la charge de travail supplémentaire que cela apporte;
- le client public rétorque que dans leur vision la conception et donc la maquette de conception restaient de la responsabilité des professionnels. Et la mise en œuvre donc, la maquette de construction est celle des entrepreneurs.

Les 2 maquettes de construction et de conception seront mise à jour au cours de travaux selon leur niveau de détail. La maquette construction contenant plus de détail que celle de conception. Les deux sont à livrer à la fin de la phase. Pour la livraison, le client public veut ainsi des maquettes fiables pour de futurs projets sur le bâtiment. Le client public n'est pas encore pour l'implantation du BIM afin de gérer la maintenance des édifices qui sera mise en place plus tard.

- les professionnels pensent que la comparaison des deux maquettes sera difficile. Les maquettes ne seront pas construites de la même manière (pas la même conception des objets). Les professionnels ne mettent pas à jour leur maquette pour des déplacements de conduites contrairement aux entrepreneurs par exemple.

Dans leurs projets le client public ne veut pas (plus) imposer de logiciels aux professionnels. Pour cela, le client public demande que toutes les maquettes soient rendues au format ouvert IFC afin d'avoir une entière interopérabilité.

- les professionnels et notamment les ingénieurs réagissent à ce point en félicitant la démarche « louable » du client public, mais ne pensent pas que cela soit encore possible, car le format IFC peut poser des problèmes. Les maquettes d'électro-mécanismes ne peuvent pas sortir complètes au format IFC, des erreurs existent. Les documents IFC sont aussi très volumineux. Les professionnels ont peur des erreurs que le passage IFC peut induire et ne peuvent pas et n'ont pas vérifié s'il existe des erreurs dans leurs maquettes IFC. Qui serait alors redevable de ces erreurs? Le développeur de logiciel Autodesk rejette par exemple la faute sur la grosseur des maquettes des professionnels (d'après le représentant un ingénieur).

En fin de rencontre, les entrepreneurs généraux ont montré leur mécontentement que la maquette soit donnée juste pour informations les obligeant par exemple à faire les métrés comme il y a 20ans sur des plans papier. Les professionnels argumentent que toute la modélisation n'est pas faite au stade de l'appel d'offres. Et donc sans maquette contractuelle l'estimation grâce à la maquette est au risque de l'entrepreneur. Les professionnels imaginent que l'entrepreneur se servira de la maquette juste pour vérifier son estimation des plans 2D.

Réunion 4

Contexte et présentation

Cette réunion était une table ronde d'une durée d'environ 1h30 avec des clients publics, entrepreneurs généraux et S-T. Le but de cette table ronde était de réunir différents intervenants pour échanger des idées au sujet de l'octroi de contrat de conception-construction (CC). La discussion a été compartimentée en 3 points (30 minutes par sujet) :

- l'efficacité énergétique des bâtiments;
- êtes-vous préparé aux contrats de conception-construction?
- êtes-vous préparé à l'utilisation du BIM?

Retranscription

L'efficacité énergétique des bâtiments : Gaz Métro a présenté son action sur le marché de la construction : ils incitent le marché à réaliser des constructions avec de bonnes performances énergétiques. Pour cela, GazMétro offre par exemple 5000\$ aux clients pour les aider à réaliser une conception énergétique plus poussée, notamment avec l'aide du BIM. Gaz Métro envoie aussi des experts pour appuyer la conception énergétique et réviser les plans de différents projets. Leur but est d'assister le client et de lui amener de l'expérience. Beaucoup d'outils sont disponibles aujourd'hui, la compagnie se doit donc d'adapter leurs pratiques afin d'accompagner l'implantation de ces nouveaux outils. GazMétro essaie de venir autour de la table du maximum de projets pour proposer ce qu'il se fait ailleurs et pour s'intégrer au processus et apporter leur expertise. Cependant, il est difficile pour eux d'obtenir les informations nécessaires afin d'avoir connaissance de tous les projets et donc d'aller autour

de leur table. Pour contrer ce manque d'informations, ils essaient et veulent développer de bonnes relations avec les entrepreneurs généraux pour pouvoir s'intégrer plus systématiquement dans les processus de projet en détachant un de leur expert sur place.

Il a été soulevé qu'ailleurs les tendances sont au développement d'énergies renouvelables et de bâtiments à basse consommation grâce à des incitations ou réglementations. En France, la loi impose une consommation énergétique basse pour les bâtiments. Au Québec l'absence d'incitatif et le bas coût de l'énergie ne permettent en rien un développement de ces tendances observées ailleurs. Pour réaliser des économies d'énergie pendant la construction GazMétro, recommande d'effectuer un échancier de construction précis (de fermeture des espaces) pour qu'il soit possible de bien concevoir et optimiser le chauffage. Il faut donc faciliter les communications entre l'entrepreneur et les thermiciens. Ainsi, il est par exemple possible de devancer l'installation du chauffage final pour réaliser des économies en évitant l'installation de matériel temporaire. Il a été relevé que cette installation du chauffage final ne serait jamais acceptée en processus traditionnel. Le mode CC apportait cette possibilité grâce à l'implication précoce de l'entrepreneur. Lorsque le client accepte ces installations, il réclame des garanties identiques à une installation traditionnelle sur la livraison finale. C'est alors avec les fournisseurs qu'il faut beaucoup de discussion, car l'industrie n'est pas forcément prête à fournir les mêmes garanties alors que les matériels ont été utilisés pendant la construction. Au niveau des technologies, les radiants ont une très bonne efficacité. Les condensateurs sont plus chers, mais permettent eux de sauver de 5 à 7% des coûts. Il est aussi à noter que des subventions existent pour financer ces appareils.

GazMétro ne réalise pas d'étude énergétique, mais vient les challenger. Leur conseil pour éviter des simulations inexactes (il est souvent observé qu'en réalisant la même étude par des équipes différentes, des résultats différents soient obtenus) est de regarder l'expérience du modalisateur, car en plus de la technique nécessaire, la modélisation requiert du feeling. Ces personnes doivent être à plein temps sur ces modélisations. Avec l'utilisation du BIM, cette modélisation énergétique se fait de façon plus intégrée et donc plus efficace. Pour la conception, GazMétro met en avant l'importance de l'enveloppe. Il faut aussi connaître les

propriétés des murs, fenêtres et facteurs d'airs. Cependant, ces données ne sont pas disponibles au début du projet. Il faudrait alors avoir des règles du pouce et/ou des moyennes pour prendre de meilleures données et avoir une meilleure modélisation. Grâce à leurs données sur INFORMATECH sur le site de GazMétro (2 à 3 parutions par année) et leurs outils de calcul sur leur site partenaire, Gazmetro fournit des éléments pour améliorer les modélisations. De plus, l'entreprise Soprema peut intervenir pour donner des tables de données réalisées grâce à leur centre de recherche. Un intervenant est alors intervenu pour dire que nous parlons beaucoup d'enveloppes alors qu'il est souvent installé des unités de toit mal isolées alors que tout l'air du bâtiment passe par cette unité. Il suffirait de prendre des unités plus isolées qui existent déjà sur le marché pour réaliser des constructions consommant moins d'énergie.

Êtes-vous préparé à la CC?

La CC n'est pas un mode nouveau, c'est son utilisation dans les marchés publics qui l'es. D'avis général les entrepreneurs veulent plus faire de projet en conception construction. D'après l'architecte présent, la CC a beaucoup de succès dans le monde, c'est le mode du futur. Cependant, une distinction a été faite entre des CC avec et sans financement. Les CC avec financement sont plus risqués et moins appréciés des entrepreneurs et peuvent être un frein aux soumissions, mais ils permettent au le client d'avoir un entrepreneur financièrement solide.

Pour EBC, les projets en CC sont des projets intéressants, car ils apportent de la plus-value à celui-ci. Ces projets sont plus simples que les PPP. Mais il est important de faire évoluer le processus en donnant par exemple une rémunération aux soumissionnaires perdant pour éviter qu'ils ne refusent d'engager des frais afin de soumissionner. Au projet de Saint-Jérôme par exemple il n'y a pas de compensation pour les soumissionnaires. La SQI indique que cela est dû à la loi qui demande une indication au Conseil du trésor qui rend difficile une telle action. La SQI veut faire évoluer cette loi afin de généraliser la compensation aux soumissionnaires en CC. En plus de ce changement, la SQI veut mettre en place une formule

permettant de choisir un entrepreneur davantage en amont. Mais il faudra alors faire attention alors aux conflits d'intérêts de l'entrepreneur durant la conception.

Il y a une baisse de qualité des plans et devis. Alors, la CC permettrait à l'entrepreneur d'être responsable des plans et devis, ainsi l'entrepreneur général pourrait demander des plans de meilleure qualité. De plus, les technologies de conception disponibles permettent à l'entrepreneur de faire par lui-même la conception autrefois réservée aux professionnels. Ainsi il peut avoir plus de responsabilités et offrir plus de plus-value dans les contrats de CC. En CC l'entrepreneur a besoin d'un économiste de la construction plus qu'un estimateur, car il faut plus d'expertise pour réaliser l'estimation du projet. Il existe des formations afin de devenir économiste de la construction. Cette courbe d'apprentissage que doivent gravir les estimateurs pour les projets en CC est aussi présente pour les gérants de projet (souvent, les gérants de projet ne font que des contrats traditionnels ou que des CC). La CC nécessite une bonne gestion humaine. Les personnes clés sont inchangeables. La SQI accepte que ces personnes puissent changer sous certaines conditions involontaires, mais il faut faire attention aux abus. Certains entrepreneurs proposent le service de leurs personnes clés sur plusieurs appels d'offres en même temps. Dans leur appel d'offres, la SQI demande d'identifier moins de personnes clés (gestionnaire de projet, cadre dirigeant...) par rapport à leurs précédents projets (les contremaîtres de l'architecte ne doivent par exemple plus être identifiés dans les soumissions). Il y existe une appréhension sur le fait que la compréhension des programmes pourrait amener à des conflits lors de la réalisation du projet ou pourrait faire perdre le projet au soumissionnaire. De plus, les entrepreneurs se demandent comment rendre une offre claire pour correspondre aux attentes du client. La SQI rétorque que c'est pour cela qu'il y existe des échanges bilatéraux et qu'il y a une compensation pour les soumissionnaires (qui paie la moitié des frais des soumissionnaires).

Quelqu'un a demandé pourquoi les CC ne s'appliquent pas sur les petits projets où les entrepreneurs peuvent offrir leurs services aux écoles et dans le logement. Cette question a fait réagir sur le fait que les gens ont des goûts différents. Il est difficile de supprimer la subjectivité. Les contrats sont parfois, comme le fait la SQI, attribués sur une note de qualité

prix. Au final, les projets sont attribués sur le prix et l'influence de la qualité est marginale. Ainsi les CC représentent pour les entrepreneurs une trop grande incertitude pour l'obtention des contrats. Un point important est aussi que les appels d'offres ont souvent un PFT très précis et un prix maximum trop bas qui obligent les entrepreneurs à jeter leur travail quand ils s'aperçoivent que le prix demandé est impossible à respecter. Ainsi, les entrepreneurs ont peur de ces octrois de contrat en CC où ils peuvent gâcher du temps de travail dans des soumissions impossibles et perdre des appels d'offres où la subjectivité reste maîtresse.

Êtes-vous préparé au BIM?

La conception 3D permet de faciliter les travaux sur chantier. De plus, lorsqu'il y a énormément de composants dans une pièce, la modélisation 3D est la seule solution pour bien visualiser les systèmes. Il faut que le client soit prêt à payer le « premium » que constitue l'utilisation du BIM. La SQI est consciente de cela et pense qu'ils pourront économiser avec de moindres demandes de changements. Les S-T utilisent les modèles 3D faits par les concepteurs et l'entrepreneur. Cependant il faut noter qu'ils ne le feraient pas par eux même. Il n'y a pas de gains pour les S-T dans l'utilisation du BIM.

Le logiciel Revit est une vraie révolution pour les entrepreneurs. Il permet d'avoir d'autres utilisations (faire des quantifications, estimations) que les plans 2D sans données. Mais cette conception sur ce logiciel prend de 2 à 3 fois plus de temps que la conception traditionnelle. Cependant, cette conception poussée facilite le travail de l'entrepreneur et donc peut faire gagner du temps par la suite. Pour se servir de cet outil (même à 25% de ses possibilités) il faut beaucoup de temps en conception. Les gens ne savent pas encore comment utiliser pleinement cette technologie. Il est possible de modéliser le bâtiment dès le départ dans une maquette (pas de plan 2D), mais le marché de l'emploi n'est pas encore prêt. Les concepteurs d'aujourd'hui vont plus vite à faire des plans 2D pour le retranscrire en 3D que l'inverse. Un point important est qu'aujourd'hui cette technologie n'est pas assez maîtrisée pour être utilisée en Fast-Track ou le modèle de conception est toujours en retard par rapport à la réalisation. Alors cette technologie ne peut plus être utilisée pour la construction et perd donc un de ses grands avantages. La SQI est consciente de la latence des compétences sur le

marché du travail, mais ils participent à faire bouger ce marché en imposant le BIM dans leur projet. Ils poussent à fédérer les intérêts des acteurs de la construction. Dans leur plan de développement, la SQI prévoit de publier tous leurs appels d'offres en 3D d'ici 5ans et d'avoir une utilisation complète du BIM (7D) d'ici 10ans.

Pour faciliter le travail de l'entrepreneur ou du concepteur, les fournisseurs créent des maquettes de leurs composants disponibles à tous. Cependant, il a été soulevé que lors de la création de la maquette le concepteur n'a souvent pas la connaissance des différents modèles de composants qui seront utilisés et ne peut donc pas utiliser les maquettes des fournisseurs, Il est important aussi de changer la mentalité des professionnels, car Revit amène une nouvelle méthode ou c'est directeur les concepteurs qui travaillent sur REVIT (il n'y a plus de dessinateur exécutant les ordres des concepteurs).

Enfin, pour que l'implantation du BIM fonctionne il faut une collaboration et un gestionnaire. Ainsi la CC est une bonne chose pour le succès du BIM. C'est le client qui doit imposer et prendre en charge le BIM. C'est une valeur ajoutée pour le client qui pourra utiliser cette maquette pour la gestion de son ouvrage. L'entrepreneur général à lui les expertises pour piloter cette gestion du BIM.

Derniers points importants abordés : la baisse de qualité des documents contractuels vient de la perte de la collaboration dans les projets alors que celle-ci est inscrite dans les contrats. Les professionnels ne devraient pas demander d'honoraire supplémentaire pour la collaboration nécessaire au BIM, car ils doivent normalement déjà la faire.

Réunion 5

Contexte

La réunion avait pour but de recueillir l'avis des entrepreneurs généraux du Québec sur la proposition de processus de construction pour l'intégration du BIM. Cette réunion visait plus particulièrement à émettre un avis des entrepreneurs généraux afin de répondre à la vision

que le client public du comité BIM a développée. Cette réponse sera retransmise à au client public lors de la rencontre du comité BIM dans lequel siège les entrepreneurs généraux. Étaient présents les représentants des principaux entrepreneurs généraux du Québec. Ces représentants sont tous impliqués dans l'implantation du BIM dans leur entreprise et ne représentent pas forcément l'avis des entrepreneurs en général.

Dans un premier temps, une retranscription chronologique est faite puis le résumé organisé de la réunion est fait.

Ordre du jour

- documents de l'institut de la BIM Canada (IBC);
- la proposition de la du client public – mode traditionnel;
- la position de la CEGQ;
- varia.

Résumé de la réunion : Points abordés

Les entrepreneurs généraux ont été appelés à réagir sur la proposition du client public d'un mode traditionnel incluant le BIM. Les entrepreneurs s'accordent sur le fait que pour chaque projet un mode de réalisation adapté doit être choisi. Cependant, la première réaction a été que le mode traditionnel est vu comme le mode de réalisation le moins adapté à l'implantation du BIM et de la collaboration qu'il demande. Les points abordés ont été les suivants :

Collaboration

- ce mode vient fragmenter le processus entre la conception et la réalisation. L'entrepreneur n'est pas consulté pour la conception malgré l'importance reconnue de cette consultation;
- dans les modes où l'entrepreneur engage les professionnels, le dialogue et la négociation entre les acteurs seraient facilités;
- le processus présenté n'introduit pas la collaboration du BIM dans le processus. Le processus intègre juste une coordination 3D. Le processus traditionnel est habillé d'une utilisation du BIM;

- la conception intégrée présentée dans cette offre ne semble pas valide puisque l'entrepreneur ne fait partie de l'équipe de conception;
- ce processus où la réalisation est coupée de la réalisation, où l'entrepreneur ne poursuit pas la maquette de conception, augmente le risque contrairement au but de l'utilisation du BIM et au souhait du client public de « vendre le risque »;
- un déséquilibre existe dans la demande d'un professionnalisme de l'entrepreneur qui doit se faire valider sa maquette par les professionnels alors que ces professionnels ne sont pas tenus de donner une maquette intègre à l'entrepreneur;

Rôle et responsabilités de l'entrepreneur

- un déséquilibre existe dans la demande d'un professionnalisme de l'entrepreneur qui doit se faire valider sa maquette par les professionnels alors que ces professionnels ne sont pas tenus de donner une maquette intègre à l'entrepreneur.
- l'entrepreneur devient entier responsable du BIM dans ce processus où il finit la conception et la coordination, apporte les changements sur la maquette et finalise la maquette pour l'entretien de l'ouvrage. Mais ce rôle n'est pas reconnu comme un ajout de responsabilité.
- les entrepreneurs se demandent :
 - si l'obligation d'approbation de la maquette pour construction doit-elle être faite système par système où sur une maquette complète ?
 - si l'approbation doit être intégrale, cela prendra plus de temps et devrait donc insister sur la nécessité d'introduire l'entrepreneur plus tôt dans le projet;
 - pourquoi ne pas intégrer l'entrepreneur dans la conception ?

Bridage des avantages du BIM

- le mode traditionnel empêche de profiter des avantages du BIM. D'après un intervenant, l'Australie a d'ailleurs imposé l'IPD dans la plupart des projets publics afin d'adopter au mieux le BIM;
- les entrepreneurs les projets et le public ne pourront pas tirer les bénéfices vantés du BIM dans un tel processus;

- les entrepreneurs ne peuvent pas se servir de la maquette pour l'estimation, car les architectes ont peur que les erreurs se trouvent plus facilement en 2D. Les entrepreneurs pensent qu'ils peuvent cacher ces erreurs dans les plans 2D, bien qu'extraits de la maquette. (Cependant, certains pensent qu'une estimation grâce à la maquette induirait les mêmes risques que leurs estimations actuelles sur plan 2D) Ils n'ont pas confiance dans les maquettes des professionnels qui nécessitent aujourd'hui beaucoup d'interprétation pour réaliser une estimation;
- les entrepreneurs se questionnent : Pour quel type de projet veulent-ils mettre en place ce processus traditionnel ?

Tâches non efficaces et doublées entre les professionnels et l'entrepreneur

- la maquette de conception n'est pas constructible. L'entrepreneur modifie et conçoit la maquette pour construction et doit refaire la coordination 3D. Cette coordination en conception manque donc d'efficacité;
- l'entrepreneur général ainsi que les professionnels doivent mettre à jour leur maquette au gré des changements. Ce travail est donc payé deux fois.

Problèmes techniques et juridiques

- le format IFC n'est pas adapté. Ce format est lourd et tous les logiciels ne peuvent pas convertir leurs maquettes en IFC sans pertes de données. Les formats natifs doivent être privilégiés pour pallier à ces problèmes;
- l'obligation d'engager les S-T par le BSDQ implique le risque d'un soumissionnaire « oublie » de modéliser la maquette et soit engagé et apportant ensuite des problèmes;
- comme la maquette de soumission ne peut pas, être fournie complète (même aujourd'hui les plans fournis sont incomplets et nécessitent toujours des addendas), les entrepreneurs veulent l'intégrité assurée d'au moins une partie de celle-ci. Dans ce sens, les entrepreneurs veulent l'implantation de l'information sur le statut d'avancement intégré dans les éléments de la maquette. La maquette bénéficie ainsi d'une valeur ajoutée. (Cependant, une expérience passée a montré que les professionnels sont peut-être aujourd'hui incapables de répondre à cette demande);
- ce LOD fourni à l'entrepreneur et demandé pour sa maquette doit être défini pour chaque spécialité et chaque projet avant soumission. Ainsi tous les soumissionnaires sont mis à

- égalité. Des entrepreneurs s'attendent au niveau minimum de détails et que le maximum soit demandé. Dans ce contexte, les entrepreneurs pensent pouvoir être alors plus payés en déplaçant les honoraires des professionnels vers eux. Les entrepreneurs pensent qu'ils ne prendraient pas plus de risque que ce qui se fait déjà;
- les entrepreneurs sont prêts et veulent que les clients leur demandent les LOD qu'ils attendent pour chaque projet;
 - le document du client public demande une livraison de la maquette des principaux systèmes. Une spécification claire de ces systèmes qui variera pour chaque projet est nécessaire;
 - les entrepreneurs généraux militent pour que le client public récupère la propriété intégrale de la maquette pour faciliter son utilisation à tous les intervenants nécessaires en évitant les querelles.

Pour conclure, l'entrepreneur général souligne le fait que ce mode traditionnel contraire aux principes du BIM ne doit pas être conservé. Les entrepreneurs veulent définir avant soumissions les LOD des différentes maquettes et spécialités. Les attentes des entrepreneurs au sujet des LOD des maquettes seront publiées dans un document. Les éléments des maquettes doivent porter l'information sur leur statut d'avancement. Si le client veut garder le mode traditionnel alors les entrepreneurs veulent recevoir les maquettes avec l'information complète. Cependant, les entrepreneurs tiennent à souligner que ce mode sera alors plus coûteux pour la société. Le lien conception-construction engendre plus de coûts et le cycle de vie de l'ouvrage n'est pas optimisé. Néanmoins, un désaccord existe entre les entrepreneurs au sujet des LOD voulus dans le mode traditionnel. Pour certains, un niveau de détail maximum est nécessaire, afin de s'accorder à la philosophie du mode traditionnel. Dans ce mode, le Conseil du trésor fixe le mode tarifaire et donc les honoraires des professionnels qui ne pourront donc pas changer au profit de l'entrepreneur général. Au contraire, pour certains, cette mentalité doit être bousculée grâce à de faibles niveaux de détails. Ainsi avec plus de liberté pour l'optimisation, l'entrepreneur général pourrait voir son rôle (et donc ses honoraires) s'élargir.

Réunion 6

Contexte

Le but de cette rencontre du comité BIM est de présenter l'avis et les commentaires des différentes associations sur la proposition faite par le client public du comité BIM.

Ordre du jour

- introduction et mise en contexte de la réunion;
- retour sur la présentation du 18 février (Évolution des maquettes mode entreprise général/10-15min par association);
- méthodologie des consultations;
- commentaires recueillis;
- Résumé des commentaires recueillis;
- prochaine rencontre de la table multisectorielle du 27 avril;
- date de la prochaine rencontre du comité de pilotage.

Retranscription de la réunion

La réunion a commencé par la remise en contexte de cette réunion : Le client public a présenté sa vision sur le BIM en mode traditionnel. Le but de la rencontre est de présenter l'avis et les commentaires des différentes associations. Le client public veut continuer par la suite cette discussion sur les autres modes de construction (gérance accélérée, PPP...). Chaque association a été invitée à présenter ses commentaires.

Le représentant de la CCQ bien que n'ayant pas pu prendre connaissance du document de la SQI pense que la CCQ n'est pas concernée à cette étape-ci. Ici, la conception et le BIM ne concernent pas les ouvriers. Le document présenté n'évoque pas de potentiels outils que devront se servir les ouvriers. Grâce à la réunion de ces membres dans un comité BIM, les entrepreneurs généraux pu faire sortir des commentaires. Les entrepreneurs généraux ont souligné l'envie d'implication des entrepreneurs généraux dans le BIM dans lequel ils sont prêts à se lancer complètement. La volonté de se diriger vers d'autres modes de réalisation est mise en avant. Les commentaires des entrepreneurs sur la proposition du BIM sont d'une

part la nécessité d'avoir une définition des LOD par discipline. D'autre part, les possibilités d'utilisation de la maquette sont importantes pour les entrepreneurs. Ceux-ci ne veulent pas d'une maquette avec comme seule possibilité celle de sa visualisation. Les entrepreneurs désirent pouvoir utiliser la maquette de conception pour leurs estimations et s'en servir comme base pour la maquette de construction. Il est aussi soulevé que les entrepreneurs sont pour le format IFC, mais que les formats natifs sont préférés notamment pour une gestion plus simple des familles utilisées par les entrepreneurs.

- le représentant BIM est intervenu : L'IFC ne pose pas de problèmes de visualisation et d'utilisation. De plus, seule la visualisation des maquettes est autorisée. Cela signifie pour lui que l'entrepreneur général peut l'utiliser, mais à ces risques et périls, car le modèle n'est pas garanti.

Les entrepreneurs généraux argumentent que le client public veut mettre en place le BIM pour profiter de ces avantages sur la productivité, l'efficacité et la qualité, mais ici la maquette n'est pas utilisable par l'entrepreneur et les avantages sont alors perdus du BIM. En effet, l'entrepreneur ne peut pas utiliser les bienfaits de la maquette (estimations notamment) et doit même refaire le travail de modélisation fait en conception. Ainsi, les entrepreneurs veulent l'information sur la possibilité de quantification de chaque élément. Pour exemple, les professionnels pourraient informer les entrepreneurs que le béton est une quantité quantifiable avec la maquette, mais pas les finitions murales.

- le client public répond aux peurs des entrepreneurs en répétant que la proposition n'est pas pour une vision à long terme. Leur démarche consiste à consulter les différents intervenants pour recueillir les avis et les pratiques possibles actuellement. Ils voient cette démarche comme une démarche amenée à se poursuivre et veulent une progression dans les documents qu'ils émettront.

Les entrepreneurs généraux ont peur que comme historiquement au Québec, ces pratiques proposées par la SQI se figent dans la réglementation et ne soient pas amenées à évoluer avec les compétences de l'industrie.

- les architectes sont convaincus que ces pratiques ne vont pas se figer telles que décrites dans la proposition du client public. Ils affirment qu'un jour la maquette sera intégralement fournie à l'entrepreneur, mais aujourd'hui cela n'est pas réalisable vu les pratiques possibles des professionnels.

Le représentant BIM n'est pas formé de groupe de réflexions et expose donc ces réflexions personnelles. Selon lui, le passage à l'IFC est une bonne chose malgré les difficultés actuellement rencontrées. La mise à jour de la maquette à chaque addenda lui semble difficile. À chaque émission, les maquettes doivent être purgées des éléments qui n'ont pas leur place dans le document contractuel. Réaliser ce processus à chaque addenda devient alors trop lourd. Avec les architectes, un projet a déjà été réalisé où SEAO émet la maquette. Dans ce projet, une maquette est donc émise pour soumission et est fournie pour construction au gagnant de l'appel d'offres. Pour la soumission, la maquette fut donnée en format IFC puis le format natif est fourni à l'entrepreneur choisi. Les professionnels sont d'accord pour dire qu'un jour il sera peut-être possible d'émettre la maquette pour les addendas, mais aujourd'hui cela ne peut pas être fait dans les délais habituels. Ensuite, les processus de coordination sont discutés. Des milliers de collisions sont présentes dans les projets. Toutes les collisions ne peuvent alors pas être traitées. Il est donc important que cette question soit discutée dans le futur.

- les entrepreneurs généraux veulent pouvoir avoir de la marge et sont donc d'accord de la nécessité d'étudier ces questions.

D'après le représentant BIM, le client public parle de conception intégrée, mais celle-ci n'est pas présente. L'entrepreneur n'est pas présent. Il a été expliqué ensuite que la conception intégrée ne peut pas intégrer l'entrepreneur par définition du mode traditionnel. L'idée d'intégrer un entrepreneur consultant est alors émise. Le client public réfléchit à cette éventualité. Une crainte est émise sur la mise en place par les clients de différentes standardisations de la symbolique dans les modèles. Cette standardisation connue aujourd'hui dans les plans 2D serait impossible à réaliser en BIM.

- le client public rétorque qu'ils se tournent justement vers les professionnels pour connaître leurs attentes sur ce point. Les professionnels veulent standardiser la construction des maquettes (mais pas la symbolique). Un groupe est en train de se former pour réaliser cette standardisation.

Enfin, le représentant de l'IBC conclut qu'une implantation du BIM nécessite un mandat provenant des autorités publiques incitant ou imposant le BIM et des standards internationaux et ouverts.

Les architectes ont réuni un petit groupe d'architectes « intéressés au sujet ». Puis les architectes ont convoqué une réunion conjointe avec l'AFIQ pour s'accorder et proposer des commentaires à la SQI. Les professionnels sont dans l'ensemble très contents de cette proposition qui a été très bien accueillie. « Afin d'être constructifs », ils ont établi une liste de remarques sur la mise en place :

- le document parle de cycle de vie alors qu'il ne prend en compte que la conception et la construction. (Qualifié de détail par les professionnels);
- étape du démarrage :
 - il est important de mieux définir le début de l'utilisation du BIM dans le projet;
 - le client public l'a bien défini dans son processus global;
 - il faut clarifier les activités à réaliser en BIM (en concept et préliminaire) pour ne pas faire de la modélisation pour rien (de la modélisation pour de la modélisation). Les estimés précis ne sont pas nécessaires au début du projet;
 - les entrepreneurs généraux sont d'accord sur les estimations puisque la précision demandée n'est pas adaptée comparée à la plage des coûts donnés en soumissions des entrepreneurs;
 - dans la rénovation, le BIM est vraiment nécessaire et facile à mettre en place par rapport au 2D. Pour ce genre projet, le processus devrait être alors changé avec un BIM utilisé de façon plus précoce dans le projet;
- détail : Ligne de cheminement à couper entre conception définitive et construction;

- il est nécessaire d'avoir un plan de gestion BIM (PGB) normalisé à intégrer dans les appels d'offres;
 - le client public veut effectivement donner un PGB normalisé intégré dans les appels d'offres. L'écriture de ce plan de gestion est déjà bien avancée;
- il est important de définir pour chaque étape le LOD demandé. L'implication des génies doit être plus précoce avec une clarification de la portée de leurs interventions (LOD). Les professionnels affirment ne pas avoir toutes les solutions. Les LOD ne doivent cependant pas être trop élevés sinon cela devient trop dispendieux à concevoir/modéliser. À ce jour, il est aussi de passer au 2D à toutes les étapes. Le passage en 2D prend du temps, le bénéfice du BIM est alors perdu;
- la vérification de la maquette par le client public fait peur aux professionnels. Cette vérification peut donner suite à trop de commentaires qui ne sont pas tous utiles. Ici, le risque de « devenir plus modélisateurs que concepteurs » se fait craindre. Cette remarque prévaut surtout pour les phases de concept et préliminaires où des commentaires peuvent ne pas prendre en compte l'état d'avancement;
- les professionnels pensent que le format IFC est inutile en conception si tous les professionnels travaillent sur Revit. Le format IFC coûte alors cher pour rien;
 - le client public vend l'ouverture que prodigue le format IFC. Les professionnels sont d'accord, mais demandent que si un accord des professionnels est trouvé, le format Revit doit être utilisé;
- détection interférences :
 - le problème des professionnels est de régler des interférences et non de le détecter. Alors, les ateliers de détections sont inutiles (la dénomination « ateliers d'interférences » est abusive). Ces ateliers doivent être remplacés par des réunions de coordinations comme il se fait déjà. Il est aussi important que la plateforme de collaboration ne soit pas dédiée qu'aux interférences;
 - le client public spécifie que là est bien son intention;
- diverses maquettes à l'étape travaux :
 - les professionnels ne peuvent pas avoir la responsabilité de l'utilisation des maquettes lors de l'appel d'offres. Les professionnels réalisent leurs estimations avec les

maquettes, mais celles-ci sont faites en connaissances de cause contrairement aux entrepreneurs. Pour l'instant, les professionnels ne peuvent pas garantir les maquettes. Ils sont par exemple amenés à réaliser des modifications de la maquette dans le but d'un bon rendu 2D;

- il doit être strictement noté que les maquettes de l'entrepreneur et des professionnels sont réalisées en parallèle. Cependant, les professionnels sont d'accord avec les entrepreneurs pour que leur maquette soit réalisée à partir de la maquette des professionnels émise pour construction;
- il est nécessaire de bien encadrer la responsabilité professionnelle découlant de l'usage des maquettes. Qui assume le leadership de la gestion de la maquette fédérée ?
- pour l'instant, les professionnels ne signent pas les maquettes qu'ils émettent. Mais si ceux-ci sont amenés à devoir les signer, les professionnels ne savent pas comment faire. Cela amène une crainte chez eux et demande une réflexion sur le sujet;
- il est important de développer une méthodologie standardisée d'élaboration des maquettes. Les professionnels essaient de la monter présentement. Celle-ci doit être réalisée rapidement pour que les clients n'imposent pas chacun de leur côté leur standardisation;

Les professionnels ont donc beaucoup de questions et sont conscients qu'il est impossible de toutes les régler. Il est donc nécessaire de se lancer.

- le client public partage cette vision et veut ainsi commencer et par consulter l'industrie pour ensuite se lancer et faire évoluer progressivement les pratiques;

En fin de rencontre, il a été rappelé qu'il y a eu une bifurcation du sujet de discussion de départ qui devait être les rôles et responsabilités. La discussion s'est donc orientée vers un exemple plus concret pour discuter plus facilement sur cet exemple concret. Le client public a tenu à rappeler que l'analyse est faite en fonction du statut actuel de l'industrie et sera amenée à évoluer avec les pratiques.

Les entrepreneurs généraux ont mis sur la table la question des bases de données projet qui sont aussi importantes. Le client public a rétorqué qu'il avait été décidé de ne pas en parler, car les autres usages du BIM et notamment ces bases de données seront ajoutés progressivement. Les architectes ont mis en avant que les pratiques privées (plus avancées dans la pratique du BIM) mettent en place tous processus présentés par le client public. Enfin, les entrepreneurs et professionnels s'accordent pour qu'une attention soit prêtée pour ne pas alourdir les processus existant, notamment dans les petits projets. → Le client public ne veut pas alourdir les processus, car elle doit respecter un retour sur investissement pour mettre en place les nouveaux processus.

Réunion 7 Table mutli sectorielle BIM

Réunion regroupant tous les acteurs de la construction pour discuter des travaux à faire pour implanter le BIM.

Résumé de la réunion :

La réunion n'a pas apporté de nouveaux points. La présentation des travaux du comité BIM fut présentée à toute l'industrie présente. La majeure conclusion de cette réunion est l'accord de toute l'industrie pour continuer les efforts entrepris.

Réunion 8 et 9 entre entrepreneurs généraux et CP (Client public)

Contexte

Un représentant d'entrepreneurs généraux a rencontré tour à tour deux CP.

Ordre du jour

La rencontre avec le premier CP avait pour but de promouvoir l'utilisation du BIM et de la conception-construction à l'organisme afin de mettre en place dans un premier temps un ou

des projets pilotes. La rencontre avec le deuxième CP avait pour but de mettre en avant l'avis des entrepreneurs généraux en dehors du comité BIM (sans les autres acteurs) et de pouvoir dialoguer plus librement avec les représentants de l'organisme.

Résumé de la réunion avec le premier CP:

L'entrepreneur général est venu présenter l'idée de mise en place de projet pilote BIM en conception-construction dans le logement social. Le logement social, des constructions assez peu complexes permettrait une mise en place du BIM simple pour lancer les entrepreneurs dans l'adoption du BIM. Les réactions du représentant du CP furent :

- les projets dont s'occupe ce CP se doivent de passer par l'octroi des contrats publics. Cela induit des difficultés à venir pour un tel projet;
- les logements sont financés à 50 % par ce CP et celle-ci se charge de son contrôle. En conception-construction, c'est l'entrepreneur général qui gère tout et le CP ne gérerait plus rien. En Conception-construction d'après l'accès logis, l'entrepreneur général doit obligatoirement posséder le terrain et sollicite les promoteurs;
- cependant, ceci est peut-être amené à changer puisque l'accès logis est en révision. Cette révision induit une conjoncture avec peu de place pour des projets expérimentaux;
- les logements réalisés appartiennent à des propriétaires devant passer par une coop. Une coop qui accepte de participer à un tel projet doit être trouvée. De plus, ces projets présentent des risques supplémentaires. L'entrepreneur doit alors assumer ces risques puisque les coops ne voudront pas les assumer.

L'idéal est de fournir des données au CP et aux coops montrant les avantages financiers qu'amènerait un tel projet (Les entrepreneurs généraux travaillent déjà sur les impacts et critères de la conception-construction). Ces données accompagnées de projets de référence pourront et doivent remonter au ministère afin que les pratiques puissent changer. De plus, il est important de dialoguer avec le Conseil du trésor afin que les lois sur les modes entrepreneurs généraux contractuels changent pour rendre possibles les conceptions-construction (Les sont déjà en dialogue avec le conseil qui est ouvert à de tels changements).

Au fil des discussions, l'avis du représentant du CP glisse vers « je suis pour ». Cependant, selon lui une « assise blindée » est nécessaire pour mettre en place un tel projet dans le logement social. Il demande aux entrepreneurs généraux une proposition de projet qui peut être analysée par le CP afin qu'ils puissent ensuite lancer un projet avec un appel de qualification. En outre, après une question de l'entrepreneur général, le représentant du CP explique les coûts élevés des logements sociaux (par rapport aux autres constructions). Ceux-ci peuvent être en partie dus par les dédoublements qui existent dans l'organisme et la qualité médiocre de la gestion des coops souvent avec peu ou pas d'expériences.

Tableau 5.1 Résumé de la réunion avec le deuxième CP

Point apporté par la CEGQ	Réaction de la SQI
Le mode traditionnel n'est pas adapté. Toutes les remarques des professionnels sont reliées au mode traditionnel. Les professionnels voient la conception-construction comme une menace.	LE CP rappelle qu'ils regardent tous les modes. Et que même s'ils ne peuvent pas en dire plus, beaucoup de futurs projets ne seront pas en mode traditionnel.
Le comité formé par la CEGQ s'élargit en comptant désormais des sous-traitants.	Pour le CP ceci est une très bonne initiative.
Le décret sur les honoraires des professionnels change le comportement en mode traditionnel.	Accord.
Les ingénieurs fournissent des plans de moins en moins complets. Les clients paient les honoraires des gicleurs sans qu'ils dessinent les plans. Un réel problème se présente ici.	Le CP est en accord avec cela, mais se demande si la maquette numérique ne va pas justement aider à résoudre ce problème. Le CP explique qu'ils se lancent, mais n'ont pas une vision claire de ce qu'il va advenir. C'est pourquoi ils commencent avec les plans 2D comme valeur contractuelle et pourront alors voir pour quels systèmes la modélisation apporte de la valeur ajoutée.

<p>Les entrepreneurs veulent récupérer des maquettes précises dont ils peuvent se servir. Le but de la modélisation n'est pas que la coordination 3D, mais a aussi pour buts d'intégrer les coûts, l'échéancier et surtout d'arriver vers une industrie plus préfabriquée.</p> <p>Pour les entrepreneurs, les professionnels ne veulent pas céder la maquette du fait qu'ils ne veulent pas prendre leurs responsabilités</p>	<p>Le CP veut que les entrepreneurs comprennent que les professionnels ne sont pas encore assez compétents pour réaliser des maquettes exemptes d'erreurs et très précises.</p> <p>Le CP n'a pas la même vision. Ils pensent que les professionnels ne veulent pas céder les maquettes du fait d'une résistance au changement et de leurs inquiétudes face à ces nouveaux livrables qu'ils ne maîtrisent pas encore complètement. Pour la SQI, ceci est juste passer et les professionnels seront amenés à partager et céder intégralement la maquette et ces utilisations.</p> <p>En structure, les ingénieurs n'ont pas ces problèmes. Des niveaux suivant les spécialités seraient alors réalisables (Accord des entrepreneurs généraux).</p>
<p>Les manufacturiers produisent des maquettes. Les professionnels viennent alors puiser dans ces catalogues pour modéliser liant alors l'élément au fournisseur.</p>	<p>Le CP est conscient de l'utilisation d'éléments de fournisseurs pour la modélisation. Cependant, cela est déjà le cas. Les professionnels sont obligés de prendre une référence d'un fournisseur pour dessiner un composant mécanique par exemple. Ici, le modèle 3D sera au contraire un atout pour résoudre plus vite ces problèmes de changement d'éléments. C'est pour cela qu'il est important de ne pas tout régler dans la maquette. Dans un marché public, les professionnels ne peuvent de toute façon pas</p>

	imposer de fournisseur.
La mise à jour d'une maquette de conception et de construction en parallèle amènera des erreurs et délais.	<p>Pour le CP, la double maquette n'apporte pas plus de problèmes à la fin que ce que les pratiques actuelles engendrent.</p> <p>Les professionnels doivent faire leurs changements pour garantir leurs plans de conceptions. Les entrepreneurs doivent apporter tous les changements nécessaires pour avoir des plans tels que construits.</p> <p>Le CP est d'accord que les entrepreneurs doivent recevoir et utiliser les maquettes modélisées par les professionnels. De plus, le CP désire impliquer un expert de la construction durant la conception. Le travail réalisé lors de la conception devra alors être bien transmis à l'entrepreneur.</p>
Des projets adaptés sont cruciaux pour mettre en place le BIM et former tout le monde (pas de projets trop complexes comme les hôpitaux ou trop simples comme des entrepôts).	Le CP s'accorde avec les entrepreneurs généraux sur ce point.

Le CP s'est inquiétée de savoir si une quantité raisonnable d'entrepreneurs répondrait à un projet de 25 M\$ demandé en BIM. Les entrepreneurs généraux assurent que oui. Enfin, le CP désire recevoir de la part des entrepreneurs généraux une liste des problèmes plus précis soulevés par les entrepreneurs.

Réunion 10

Contexte

Réunion réunissant le comité pour l'implantation du BIM avec les représentants des différents acteurs de la construction.

Exercices en cours, IFC, BIM éducation canada

Au niveau de l'éducation du BIM, une université a engagé des processus afin d'amener l'éducation à enseigner le BIM dans les CÉGEPs et les universités. L'ordre des architectes n'est pas encore ouvert à intégrer des cours de BIM qu'ils considèrent être pour les technologues. Afin de faire comprendre l'importance de l'enseignement du BIM, une conférence avec des chercheurs et conférenciers internationaux est organisée prochainement. À l'ÉTS, il est difficile comme dans toute université d'intégrer le BIM dans les cours de baccalauréat. Par ailleurs, un programme cours de Maîtrise sur le BIM sera disponible à la rentrée 2017.

Building smart a réalisé un sondage pour connaître l'utilisation du BIM et de l'IFC. Concernant les catégories, les familles et les LOD des maquettes numériques, les architectes et ingénieurs veulent créer un système de standardisation. Un consensus international met le niveau 300 comme une pratique généralisée pour les plans et devis, complétés à 100%, produits dans la cadre d'appels d'offres en mode traditionnel à prix forfaitaire. Les entrepreneurs généraux s'interrogent sur l'équivalence d'informations obtenues entre le niveau 300 et les détails contenus dans les plans 2D actuels dans le mode traditionnel, c'est-à-dire, dans le cadre d'appels d'offres sur plans et devis, complétés à 100%, à prix forfaitaire. Le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) propose de vérifier auprès du Bureau de la normalisation du Québec (BNQ) pour connaître les travaux existants pour aider à l'établissement de ces normes.

Retour sur la table multisectorielle

Les remarques de la table multisectorielle sont à prendre en compte. Un retour sur ces commentaires devra être fait lors de la prochaine table. Tout d'abord, le résumé des différentes remarques de la table multisectorielle doit être révisé avant d'être envoyé officiellement. Ensuite, chaque association devra réaliser des commentaires afin d'identifier les points réglés, les points intéressants et les points non pertinents. Les pistes pour les items auxquels il faudrait rattacher des actions à entreprendre avant la prochaine rencontre de la table sont à dégager. Concernant la présence d'un avocat lors des discussions le représentant BIM, par expérience personnelle pense que cela ne sert à rien. Le client public travaille avec des avocats et affirme que cela fonctionne et est utile. Les professionnels pensent que l'avis d'un avocat sera nécessaire et pertinent qu'en fin de processus lorsque les décisions seront prises.

Comités de travail des ordres et associations

Concernant les futurs travaux, le client public veut être sûr de ne pas trop en demander aux différents acteurs. La SQI prévoit de passer à travers les autres modes de réalisation comme cela a été fait avec le processus traditionnel. Le client public prévoit d'implanter son processus en mode traditionnel, mais celui-ci sera amené à évoluer.

Les entrepreneurs généraux appuient la nécessité de regarder les autres modes. Le problème futur pour les entrepreneurs généraux serait la propriété de la maquette (Précision, dans le mode conception-construction et/ou PPP, une pratique courante est que la propriété intellectuelle des documents produits par tous les soumissionnaires, admissibles et conformes, reste la propriété de l'autorité publique). Les ingénieurs soutiennent une vision plus modérée : l'analyse sera plus simple et rapide du fait de la similitude qu'auront les autres modes avec le traditionnel. Les architectes ne pensent pas que la propriété de la maquette sera un problème si elle demeure la propriété des auteurs et du client. La problématique de la propriété sera la même qu'avec les DWG. Les entrepreneurs généraux sont en accord dans le cadre d'appel d'offres en mode conception-construction et/ou PPP dans la mesure où la conception développée par les soumissionnaires non retenus et leurs

équipes de professionnels ne peut être transférée au soumissionnaire retenu sans un accord préalable. Un consensus est néanmoins trouvé pour affirmer la nécessité de parcourir les différents modes.

Les architectes indiquent que les avantages de coordination du BIM sont exploités à leur maximum en mode traditionnel (forfaitaire ou gérance); c'est le mode qui permet de compléter la maquette de conception avant la construction donc de coordonner la structure, la mécanique, l'électricité et l'architecture en maquette avant que, par exemple, la structure soit construite. Il faut bien entendu que le processus BIM se poursuive lors de la production des dessins de fabrication par les entrepreneurs. Les architectes notent aussi que le BIM est un outil qui peut être utilisé dans tous les modes contractuels de façon avantageuse.

Actions à entreprendre pour le virage numérique

LE ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MESI) a présenté le Plan d'action en économie numérique (PAEN) qui mentionne que «l'utilisation de la modélisation des données du bâtiment dans la filière construction [...] est incontournable pour assurer la compétitivité des entreprises». Le PAEN comporte quatre mesures qui pourraient conduire à l'élaboration de projets visant à promouvoir et faciliter l'utilisation du BIM : Afin de recueillir des fonds du gouvernement dans le cadre du budget du virage numérique quatre possibilités sont envisagées :

MESURE 5 : Lancement d'une campagne de sensibilisation au numérique;

MESURE 6 : Accompagnement par des équipes spécialisées;

MESURE 7 : Parrainage de fournisseurs par des donneurs d'ordres (Initiative numérique);

MESURE 9 : Soutien pour l'acquisition d'équipements et logiciels.

Un des fondements du PAEN est le partenariat collaboratif public-privé, dans le cadre duquel le gouvernement du Québec privilégiera l'appel de projets mettant à contribution tous les acteurs intéressés dans l'élaboration et la mise en œuvre d'interventions concrètes. Ainsi, pour les mesures 6 et 7, des «organismes partenaires» pourraient soumettre des projets.

Les entrepreneurs généraux appuient le fait que cela est important et intéressant pour les entrepreneurs spécialisés qui ne sont pas du tout engagés dans le BIM. Elle ajoute qu'il est important de coordonner les efforts de manière à assurer, dans le marché des appels d'offres publics, un déploiement coordonné, rapide et efficace auprès des parties prenantes (entrepreneurs généraux, sous-traitants spécialisés, fournisseurs, etc).

Début de commentaires sur le compte rendu de la table multisectorielle

- la présence d'avocat devra être « en temps et lieu »;
- un suivi doit être fait sur le doctorat fait à l'université Laval;
- l'appartenance de la maquette et la propriété intellectuelle est un sujet à développer;
- il est nécessaire de voir avec les manufacturiers pour discuter de leurs modèles;
- les annexes BIM sont à discuter en même temps que l'ensemble des contrats.

Réunion 11

Contexte

Cette réunion a pour but de répondre à la rencontre du comité BIM organisé avec un client public. Ce groupe de discussion réunit les différents représentants d'associations, un client public, et un membre du ministère de l'Économie, de la science et de l'innovation. Ce groupe est présidé par un professeur d'université. Le but de ce groupe est de discuter des questions autour de l'implantation du BIM et de réaliser des actions pour mettre en place cette implantation notamment dans les futurs projets du client public. Ce groupe a déjà travaillé et émis un processus de construction en mode traditionnel incluant le BIM pour le client public. Le sujet de cette dernière rencontre du 9 juin était le retour de la table multisectorielle sur le BIM rassemblant un groupe plus large d'acteur de la construction.

Niveau de détail

Il a été soulevé que le niveau de détail 300 entendu comme consensus international ne semble pas avoir de base. Un modèle n'a pas de niveau de détail 300 chaque élément à son propre niveau de détail. Il faut que le niveau de détail soit fourni dans une grille dans le devis

de soumissions. La question est alors de savoir quel niveau de détail est nécessaire aux entrepreneurs. Le but est d'assurer au client des soumissions comparables. Les professionnels sont en train d'étudier cette question. De plus, ils travaillent pour revoir leurs honoraires afin de réviser leur tarif pour pouvoir facturer la gestion du BIM. Il est important que les entrepreneurs agissent vite pour influencer ces changements et la normalisation à venir.

Question à l'étranger

Il a été demandé s'il était possible de se baser sur ce qui se fait à l'étranger. Aux États-Unis, les LOD se basent sur le document distribué (Level of development specification). Au Royaume-Uni, ils possèdent un système où LOD et LOI (Level Of Information) sont séparés. Cependant, l'industrie aux États-Unis et en Europe est beaucoup moins réglementée qu'au Québec où l'industrie est divisée en silo par la réglementation. Ce marché plus ouvert induit une industrie beaucoup plus collaborative où les modes constructifs sont différents. Les solutions de l'étranger ne sont pas applicables à l'industrie de la construction québécoise. Ceci en d'autant plus vrai qu'ici la question du niveau de détail est posée dans le mode traditionnel loi des processus collaboratifs de l'étranger.

Niveau de détail attendu

Il est important de se demander si les entrepreneurs veulent que les plans s'améliorent alors que la qualité de ceux-ci n'ont fait que baisser selon les entrepreneurs spécialisés. Les entrepreneurs ne veulent pas des plans avec très peu de détail où le risque est alors rejeté sur eux. Pour un participant c'est ici qu'est le nerf de la guerre, la responsabilité qui est liée au niveau de détail. Mais aussi les entrepreneurs spécialisés ont besoin de liberté pour la mise en œuvre qui est le cœur de leur métier. Il ne faut pas aller trop loin dans les détails (les maquettes de conceptions n'ont pas à comprendre le boulonnage des aciers de structures par exemple). Les plans pour soumissions (en projet public) ne peuvent de toute façon pas donner trop de détail pour ne pas imposer une pièce particulière.

Il a été demandé s'il était bon que les professionnels fournissent un niveau de détail trop élevé comme le 400. Les professionnels ne connaissent pas la construction qui est l'expertise

de l'entrepreneur. Un niveau 400 est donc impossible à atteindre de la part d'un concepteur. Enfin, il est remarqué qu'il faut faire attention à ne pas accepter ou demander trop de détails, dans lequel cas les professionnels seraient heureux de pouvoir demander plus d'honoraires.

Mise en forme du niveau de détail demandé

Chacun est d'accord pour affirmer que ce niveau de détail dépend du contexte et doit être analysé au cas par cas. En effet, pour un équipement donné si celui-ci fait l'objet d'un devis de performance ou s'il s'agit d'une pièce spécifique achetée par le client le niveau de détail oscillerait de 200 à 400. Il a été alors question de déterminer un niveau minimum demandé. Ce minimum devrait alors être adapté à chaque projet, mais le client n'a pas (encore) les capacités de savoir adapter ces niveaux aux exigences des entrepreneurs. Il est souligné qu'il ne faut pas parler de LOD (niveau de détail géométrique), mais aussi du LOI (niveau de détail d'information) contenu dans les éléments. Les exigences doivent comprendre ce volet de l'information qui est très important. La problématique pour l'estimation est identique ou chaque système possède ses spécificités. L'estimation concerne surtout la mise en place. Il faut donc un bon estimé des quantités grâce à une maquette suffisamment détaillée, mais laissant de la liberté pour la mise en place qui doit être choisie par l'entrepreneur. Un accord a été trouvé sur le fait que le niveau de détail doit être donné par spécialité voir par spécialité et par type de projet. Le cadre sur lequel se basera la réponse des entrepreneurs n'a pas fait l'unanimité. Celui-ci sera établi en partie à partir du document sur les LOD distribué (Level of development specification) et complété par les travaux effectués par deux entrepreneurs généraux.

Problèmes liés

Concernant l'estimation, le problème est qu'actuellement les professionnels ne veulent pas donner l'autorisation d'estimer avec la maquette. Tant que la maquette 3D ne sera pas contractuelle il serait inutile d'avoir ces débats sur le niveau détail, car ceux-ci sont utilisables qu'au risque et péril de l'entrepreneur. Un participant a tout de même nuancé que les professionnels ne sont pas encore prêts puisqu'ils ne sont pas sûrs de pouvoir délivrer une maquette suffisamment sûre pour cette utilisation. Cette situation ne serait qu'une transition

en attendant que leurs compétences se développent et qu'il puisse transmettre une maquette à valeur contractuelle. Certains s'inquiètent de l'incapacité des petits bureaux de professionnel à passer au BIM. Ceux-ci par manque de moyen et souci de rentabilité seraient alors amenés à réaliser des plans de moins en moins détaillés et laisser ce travail et cette responsabilité aux entrepreneurs spécialisés. Un autre point de vue consiste à reconnaître que certains bureaux devront faire faillite, mais qu'à terme le dessin 3D prendra moins de temps que le 2D bien que ceux-ci affirment le contraire. La question sur la propriété de la maquette ne semble pas un réel problème puisque les entrepreneurs semblent penser que les familles et modèles finiront par être ouverts et disponibles à tous comme cela est arrivé avec AutoCAD. Beaucoup de questions émergent afin de sortir les exigences en matière de niveau de détail. Cependant, il est important de vite donner à la SQI les exigences attendues par les entrepreneurs. Dans ce but, la CEGQ organisera des rencontres individuelles avec les différentes spécialités afin de connaître leurs exigences de niveaux de détails. Bien que beaucoup de questions restent à développer. Tout le monde s'accorde sur la nécessité d'étudier au cas par cas les niveaux de détails, mais un niveau de détail minimum pour chaque spécialité est nécessaire pour assurer de bonnes estimations et compréhension de la part des entrepreneurs.

Kit d'implantation du BIM

Enfin, il est rappelé qu'il est important de vite mettre en place un projet de kit d'implantation au BIM pour les entrepreneurs spécialisés. Celui-ci pourrait être subventionné par le gouvernement dans le cadre de son plan d'action pour le virage numérique. Il est aussi proposé un projet de potentielle prime pour les entrepreneurs généraux afin de former au BIM et accompagner leurs S-T sur un projet. Une remarque souligne aussi que les formations actuelles forment aux logiciels du BIM sans enseigner la mentalité BIM. Alors ces salariés formés peuvent reprendre une mauvaise vision du BIM dans leur entreprise en travaillant sur leur maquette 3D en silo et non en mode collaboratif requis pour le BIM. Il est nécessaire d'enseigner « Le BIM » dans sa globalité ».

Réunions 12

Réunion du comité pour l'implantation du BIM avec comme invité, un deuxième client public.

Proposition préparation énoncé de vision : exemple du dossier « Vision 2030 » d'un client public

Un client public avec le CPQ a réalisé un programme stratégique pour l'industrie du résidentiel préfabriqué en bois. Ce plan d'action touche 4 axes : la mise en place de condition favorable pour le développement de l'industrie, l'exportation, l'innovation, et l'adoption des nouvelles technologies. Intitulé « Vision 2030 », ce dossier a été réalisé en coordonnant un groupe de professionnels (Associations, manufacturiers et fournisseurs) du secteur ainsi que des entités gouvernementales (. Ceci a abouti à un plan d'action sur 44 mesures dans le but de multiplier par 10 l'exportation de ces constructions préfabriquées en bois d'ici 2030.

Bien que dans le cadre du BIM beaucoup plus de parties prenantes entrent en compte, il est proposé de s'inspirer de cet exemple pour réaliser un dossier avec une vision commune à toute l'industrie de la construction. Un tel plan d'action commun peut donner du poids dans le cadre du virage numérique. Il est important de cibler les volontés de l'industrie à présenter. L'exemple du dossier du CPQ montre que la vision pour l'innovation et le BIM a été noyée dans des arguments contre les décrets, réglementations et retards de paiements. Il est proposé ici, en capitalisant sur les petites avancées du comité, de formaliser ce qui a été convenu pour donner à l'industrie les outils nécessaires afin de se lancer dans le BIM. Les entrepreneurs généraux indiquent qu'elle agrandit son comité aux S-T. Ce comité élargi s'est lancé dans une réflexion sur le niveau de détails attendu par spécialité dont la copie sera rendue avant les fêtes. Cette consultation à amener une réflexion plus large sur les plans des professionnels semblant comporter de moins en moins de détail. Cette réflexion sur un transfert d'une partie plus grande la conception des professionnels vers les entrepreneurs généraux est à approfondir selon eux.

Exercice en cours, IFC et BIM éducation et recherche

Building Smart sont en train de réaliser 4 documents portant le format IFC : un guide IFC pour l'industrie, un guide client sur le BIM ouvert, un langage contractuel et des questions-réponses sur l'IFC. Ces documents sont destinés à rassurer l'industrie. L'IFC ne comporte pas de problèmes techniques, les problèmes sont procéduraux. Au niveau de l'éducation Building Smart a créé 5 groupes de travail au niveau national (certification individuelle, collégial, universitaire et formation continue). Il y'a un réel souci de formation. L'enquête faite dans le cadre de la table multisectorielle avait révélé que la formation/éducation faisait partie des deux freins principaux aux BIM. Il est important de réaliser un plan de match pour développer l'offre de formation. Le chercheur universitaire aimerait utiliser les outils qu'a développés la SQI pour aligner la formation sur ce qui se fait dans l'industrie.

Actions à entreprendre pour le virage numérique

Rien à signaler de la part du ministère où le dossier du virage numérique a peu avancé durant la période estivale. Il est encore possible d'influencer afin d'intégrer le BIM dans le virage numérique. Il est important pour l'industrie de développer le BIM et suivre l'industrie mondiale pour encourager l'exportation de la construction québécoise et de ses ouvriers qui doivent rester compétitifs au Canada.

Préparation de la prochaine table (Date lieu et agenda)

La réunion se tiendra fin novembre. Le client public présentera ses outils pour les BIM de façon globale. Building Smart réalisera une présentation du BIM en Alberta. Une présentation du virage numérique et d'un dossier type « vision 2030 » sera proposée devant la table. Enfin, un entrepreneur général réalisera une présentation de ces outils et réalisations pour montrer la possibilité pour un acteur de la construction québécoise d'être leaders nord-américains de la technologie numérique.

ANNEXE V

SOUS-TRAITANTS DES CHANTIERS OBSERVÉS

Pour les prochains tableaux, les S-T observés déjà présents sur le chantier avant le début des observations sont marqués d'un astérisque pour signifier que les données concernant ces S-T n'ont pas pu être observées depuis le début de leur mobilisation. Les tableaux classent les S-T selon Masterformat à 16 divisions.

Tableau-A V-1 Tableau des sous-traitants présents, non observés (Cas 1)

Division Masterformat	Métiers réglementés employés	Désignation du S-T	Description des tâches associées (si non évidente)
2 Chantier de construction	Opérateur(rice) d'équipement lourd	Excavation	
		Géothermie	
		Trottoir Et paysagiste	
		Jeux	
		Asphalte	
		Démolition	Toutes tâches de démolition de l'existant mis à part le forage et sciage de béton
3 Béton	Cimentier(e)- applicateur(rice)	Béton	
		Pompe à béton	
	Ferrailleur(se)	Acier structure	
	Soudeur(se)	Structure	
		Divers équipement	Pose d'équipements de finitions pas à la charge de l'entrepreneur général

Tableau-A V-2 Tableau des S-T observés (Cas 1)

Division Masterformat	Métiers réglementés employés	Désignation du S-T	Description des tâches associées (si non évidente)
1 Exigences générales		Nettoyeur	Nettoie le sol et l'ameublement
2 Béton		Escalier	Pose des escaliers préfabriqués
4 Maçonnerie	Briqueur(se)- maçon	Macon	Pose de briques
5 Métaux	Ferblantier(e)	Parement extérieur	Pose le revêtement extérieur en aluminium et son support.
		Métaux ouverts	
7 Protections thermiques et contre l'humidité	Calorifugeur(se)	Calori- fugeage	Calorifugeage sur conduits de ventilation et de plomberie
	Cimentier(e)- applicateur(ric)	Membrane	Pose de la membrane d'étanchéité extérieure ;
		Uréthane	Projection de l'Uréthane et de l'ignifuge
	Couvreur(se)	Couvreur	
Monteur(se)- mécanicien(ne)	Vitrier		
9 Finis	Carreleur(se)	Céramique	
	Peintre	Peintre	
	Poseur/Poseuse de revêtement souple	Sol souple	Pose les revêtements de sol souples
		Sol gym	Pose le sol du gym
	Poseur(euse) de systèmes intérieurs	Système intérieur*	Pose les montants métalliques, le gypse et l'isolation, tire les joints et pose le faux plafond
Plâtrier/Plâtrière			
10 Spécialités		Casier	Pose les casiers métalliques
	Mécanicien(ne) en protection-incendie	Gicleur*	
12 Ameu- blement	Charpentier(e)- menuisier(e)	Ébéniste	Pose et monte l'ameublement en bois
15 Mécanique	Ferblantier(e)	Climati- sation	
	Frigoriste		
	Tuyauteur(se)	Plombier*	
16 Électrique	Élec. spécialisé(e) syst. de sécurité	Contrôle	
	Électricien(ne)	Électricien*	

Tableau-A V-3 Sous-traitants observés (Cas 2)

Division Masterformat	Métier réglementé concerné	Désignation du ST	Description des tâches associées (si non évidente)	
2	Chantier de construction	Opérateur(ice) d'équipement lourd	Excavation	
			Démolition	Démolition de l'existant mis à part le forage et sciage de béton
3	Béton	Ferrailleur(euse)	Acier	
			Sciage/ forage	Scie et fore le béton
			Fibre béton	Renfort de poutre en béton armé par de la fibre à coller
			Scarificateur *	Scarification des dalles de béton
4	Maçonnerie	Briqueteur(se)- maçon(ne)	Macon	Pose de briques
5	Métaux	Soudeur(se)	Structure	
7	Protection thermique et contre l'humidité	Calorifugeur(se)	Calori- fugeage	Pose des calorifugeages sur les conduits de ventilation et de plomberie
		Cimentier(e)- applicateur(ice)	Uréthane	Projection de l'ignifuge
		Couvreur(se)	Couvreur	
		Monteur(euse)- mécanicien(ne)	Vitrier	
			Porte garage	
9	Finis	Carreleur(se)	Céramique	
		Peintre	Peintre	
		Poseur(se) de revêtement souple	Sol souple /Tapis	
		Poseur(se) de systèmes intérieurs	Système intérieur*	Montants métalliques, gypse, isolation, joints et faux plafond
		Plâtrier/Plâtrière		
1 5	Mécanique	Ferblantier(e)	Climati- sation*	
		Frigoriste		
		Tuyauteur(se)	Plombier*	
1 6	Électrique	Élec. spécialisé(e) en installation de systèmes de sécurité	Contrôle	
		Électricien(ne)	Électricien*	

Tableau-A V-4 Sous-traitants observés (Cas 3)

Division Masterformat	Métier réglementé concerné	Désignation du ST	Description des tâches associées (si non évidente)
3 Béton	Ferrailleur/Ferrailleuse	Acier structure	
4 Maçonnerie	Briqueteur(se)-maçon	Macon	Pose de briques
5 Métaux	Soudeur/Soudeuse	Structure	
7 Protections thermiques et contre l'humidité	Calorifugeur(se)	Calorifugeage	Pose des différents calorifugeages sur les conduits de ventilation et de plomberie
8 Portes et fenêtres	Monteur(se)- mécanicien(ne) (vitrier(e))	Vitrier	
9 Finis	Carreleur/Carreleuse	Céramique	
	Peintre	Peintre	
	Poseur(se) de revêtement souple	Sol souple /Tapis	
	Poseur(se) de systèmes intérieurs	Système intérieur*	Pose les montants métalliques, le gypse et l'isolation, tire les joints et pose le faux plafond
Plâtrier/Plâtrière			
10 Spécialités	Mécanicien(ne) en protection-incendie	Gicleur*	
12 Ameublement	Charpentier(e)- menuisier(e)	Ébéniste	
15 Mécanique	Ferblantier/Ferblantière	Climatisation*	
	Frigoriste		
	Tuyauteur/Tuyauteuse	Plombier*	
16 Électrique	Électricien(ne) spécialisé(e) en installation de systèmes de sécurité	Contrôle*	
	Électricien(ne)	Électricien*	

ANNEXE VI

FEUILLES DE NOTES DE CHANTIERS

Tableau-A VI-1 Journal de chantier

Chantier:	Journal de Chantier		Date: /								
			Page: /								
Acteur	Observations	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
	Durée de la visite										
Sous-traitants	Heure de la visite										
	Nb de travailleur Présents										
	Nouveaux										
	H de départ/arrivée										
	Demande de mobilisation pour le:										
	Nb de travailleur Présents										
	Nouveaux										
	H de départ/arrivée										
	Demande de mobilisation pour le:										
	Nb de travailleur Présents										
	Nouveaux										
	H de départ/arrivée										
	Demande de mobilisation pour le:										
	Nb de travailleur Présents										
	Nouveaux										
	H de départ/arrivée										
	Demande de mobilisation pour le:										
Notes:											

Figure-A VI-1 Fiche de notes de l'avancement

Chantier : 1 Sous-traitant : Tâche :										Page : Dernière visite :	
Jour	Avancement									Remarques	
	5	10	20	30	40	50	60	70	80		90
L											
Ma											
Me											
J											
V											

Plans non diffusés
pour des questions de confidentialité

Légende :

Tableau-A VI-2 Feuille de notes des communications

	À qui	Moyen	But	Nature	ST concerné	Résolution voulue	Réponse	Notes
1		Courriel <input type="checkbox"/> Téléphone <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/>	Problèmes <input type="checkbox"/> Coordination <input type="checkbox"/> Information <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>				Accepté <input type="checkbox"/> Changement :	
		Courriel <input type="checkbox"/> Téléphone <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/>	Problèmes <input type="checkbox"/> Coordination <input type="checkbox"/> Information <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>				Accepté <input type="checkbox"/> Changement :	

Tableau-A VI-3 Agrégation des données de communications

Date		Numéro de la semaine					
		lun 21-03	mar 22-03	mer 23-03	jeu 24-03	ven 25-03	
Total						0	
Désignation du S-T 1	Courriel	Problèmes	Réussie				
			Non réussie				
		Information	Réussie				
		Non réussie					
		Planification	Réussie				
		Non réussie					
	Appel	Problèmes	Réussie				
			Non réussie				
		Information	Réussie				
	Non réussie						
	Planification	Réussie					
	Non réussie						
Total							

Tableau-A VI-4 Feuille de notes de la gestion de la sécurité

Sécurité					
Accueils Sécurité					
	Sous-traitant	Nombre d'ouvriers	Combien de temps?	Remarques	
1					
Gestion de la sécurité sur chantier					
	Qui	Quoi ?	ASST?	Durée	Remarques
1			Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>		
			Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>		

Tableau-A VI-5 Feuille de notes de la gestion générale

Gestion générale (Tâches de gestion sur chantier)							
	Qui?	Quoi?	Cause :	ASST?	ST concernés	Durée	Remarques
1			Déficiences <input type="checkbox"/> Délais <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Conflit ST <input type="checkbox"/> EG <input type="checkbox"/> Plani./Coordi <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			

Tableau-A VI-6 Tableau pour la gestion sur le chantier

Date			1						
			lun	mar	mer	jeu	ven		
			21-03	22-03	23-03	24-03	25-03		
Sous-Traitant	Gestion de problèmes	Problème de sécurité	ASST						
			Non ASST						
		Déficiency	ASST						
			Non ASST						
		Conflit entre S-T	ASST						
			Non ASST						
		Conflit avec l'entrepreneur	ASST						
			Non ASST						
		Planification/coordination	ASST						
			Non ASST						
		Autre	ASST						
			Non ASST						
		Nombre Total							

Tableau-A VI-7 Feuille de note des délais

Cause		Quoi?	ASST?	ST impactés	Retard induit	Résolution	Remarques
Manques travailleurs <input type="checkbox"/>	Météo <input type="checkbox"/>		Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			Retard rattrapé <input type="checkbox"/> Retard en cours <input type="checkbox"/>	
Manques espaces <input type="checkbox"/>	Conflits ST <input type="checkbox"/>						
Manque matériels <input type="checkbox"/>	Conflits EG <input type="checkbox"/>						
Manque matériaux <input type="checkbox"/>	Gestion insuffisante <input type="checkbox"/>						
Manques travailleurs <input type="checkbox"/>	Météo <input type="checkbox"/>		Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			Retard rattrapé <input type="checkbox"/> Retard en cours <input type="checkbox"/>	
Manques espaces <input type="checkbox"/>	Conflits ST <input type="checkbox"/>						
Manque matériels <input type="checkbox"/>	Conflits EG <input type="checkbox"/>						
Manque matériaux <input type="checkbox"/>	Gestion insuffisante <input type="checkbox"/>						

Tableau-A VI-8 Tableau de dénombrement des retardements

Date		Numéro de la semaine					
		lun 21-03	mar 22-03	mer 23-03	jeu 24-03	ven 25-03	
Désignation du S-T	Météo	Non ASST					
	Ouvrier sur autre chantier	ASST					
	Conflit entre S-T	ASST					
		Non ASST					
	Manque matériel/matériaux	ASST					
		Non ASST					
	Autre	ASST					
Non ASST							
Total							

Tableau-A VI-9 Feuille de notes des déficiences

Qui	Quoi	Quantité de travail	Causes	ST impactés	ST Présent?	Coûts
1					Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	
					Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	

Tableau-A VI-10 Tableau des déficiences

Date			Numéro de semaine				
			lun 21-03	mar 22-03	mer 23-03	jeu 24-03	ven 25-03
Désignation du S-T	Dû à un autre sous-traitant	ASST					
		Non ASST					
	Mauvaise connaissance	ASST					
		Non ASST					
	Négligente	ASST					
		Non ASST					
	Planification/ coordination	ASST					
		Non ASST					
	Autre	ASST					
		Non ASST					
Total							

Tableau-A VII-3 Communications (Cas 1)

	Direct	Indirect	Problèmes	Information	Planification	Total
Électricité*	6	2	4	2	2	9
Plomberie*	6	2	4	2	2	9
Ventilation	9	1	5	2	3	11
Vitrier	4	0	2	0	2	5
Système intérieur*	7	2	4	1	4	10
Gicleur*	6	0	4	1	1	7
Membrane	4	1	1	0	4	6
Couvreur	5	0	2	0	3	6
Maçon	6	2	3	0	5	9
Calorifugeage	1	0	1	0	0	2
Contrôle	4	0	2	0	2	5
Escalier	1	0	1	0	0	2
Uréthane	4	1	3	0	2	6
Peintre	5	2	4	1	2	8
Parement extérieur	1	1	0	0	2	3
Céramique	3	0	2	0	1	4
Sol souple	5	0	4	0	1	6
Métaux ouvrés	0	0	0	0	0	1
Ébéniste	2	0	1	0	1	3
Casier	0	0	0	0	0	1
Nettoyeurs	0	0	0	0	0	1

Tableau-A VII-4 Communication (Cas 2)

	Direct	Indirect	Problèmes	Information	Coordination	Total
Électricien*	0	0	0	0	0	0
Plombier*	1	0	1	0	0	1
Ventilation*	10	4	11	0	3	14
Système intérieur*	4	0	2	1	1	4
Scarificateur*	1	0	1	0	0	1
Sciage/Forage Béton	3	0	0	1	2	3
Excavation	2	1	1	0	2	3
Macon	8	1	1	0	8	9
Renforcement structure	2	0	0	1	1	2
Démolition	2	0	1	0	1	2
Peinture	5	1	1	2	3	6
Uréthane	3	1	0	0	4	4
Sol souple	6	1	0	1	6	7
Vitrier	2	0	0	0	2	2
Céramique	5	0	1	1	3	5
Calorifugeur	0	0	0	0	0	0
Couvreur	3	0	0	2	1	3
Contrôle	2	0	0	1	1	2
Porte de garage	2	1	0	0	3	3
Quincaillerie	0	0	0	0	0	0
Acier	5	1	0	3	3	6

Tableau-A VII-11 Mobilisations des ST (Cas 1)

	Nombre d'ouvriers passés sur le chantier	Nombre maximum d'ouvriers	Jours-personnes	Nombre de jours de présent	Nombre de jours absent	Nombre de jours absent/ Nombre de jours
Électricité*	12	9	337	82	5	6,1%
Plomberie*	6	8	360	91	0	0,0%
Ventilation	5	6	242	77	3	3,9%
Vitrier	1	10	169	50	20	40,0%
Système int.*	27	18	555	78	8	10,3%
Gicleur*	3	5	129	57	18	31,6%
Membrane	6	5	77	37	21	56,8%
Couvreur	12	12	97	10	1	10,0%
Maçon	18	10	295	60	22	36,7%
Calorifugeage	3	3	51	38	14	36,8%
Contrôle	4	5	70	43	27	62,8%
Escalier	5	5	9	2	0	0,0%
Uréthane	7	7	27	5	0	0,0%
Peintre	9	5	90	31	9	29,0%
Parement ext.	5	3	32	14	12	85,7%
Céramique	16	7	146	37	1	2,7%
Sol souple	18	7	117	29	7	24,1%
Métaux ouvrés	3	3	10	5	4	80,0%
Ébéniste	7	4	22	8	18	225,0%
Casier	6	6	10	2	0	0,0%
Nettoyeurs	5	5	5	1	0	0,0%

Tableau-A VII-12 Mobilisations des ST (Cas 2)

	Nombre d'ouvriers passés sur le chantier	Nombre maximum d'ouvriers	Jours-personnes	Nombre de jours de présent	Nombre de jours absent	Nombre de jours absent / Nombre de jours
Électricien*	12	11	821	104	0	0,0%
Plombier*	6	5	159	57	47	82,5%
Ventilation*	8	5	215	82	22	26,8%
Système int.*	19	9	488	104	1	1,0%
Scarificateur*	2	2	14	8	1	12,5%
Sciage/Forage Béton	0	3	19	9	53	588,9%
Excavation	2	2	17	13	79	607,7%
Macon	4	6	26	8	81	1012,5%
Renf. structure	4	4	8	2	0	0,0%
Démolition	4	3	19	9	85	944,4%
Peinture	4	7	64	32	4	12,5%
Uréthane	2	2	6	3	0	0,0%
Sol souple	4	4	48	17	3	17,6%
Vitrier	2	2	22	11	0	0,0%
Céramique	2	2	40	20	23	115,0%
Calorifugeur	7	7	43	13	22	169,2%
Contrôle	3	3	42	23	18	78,3%
Porte de garage	0	2	4	2	0	0,0%
Acier	4	4	12	5	0	0,0%

Tableau-A VII-13 Tableau des interventions auprès des S-T par le surintendant, Cas 1 et 2

Cas 1			Cas 2		
Sous-traitant	Durée totale de gestion (minutes)	Nombre d'interventions de gestion	Sous-traitant	Durée totale de gestion (minutes)	Nombre d'interventions de gestion
Système intérieur	25	8	Système intérieur	98.5	8
Électricien	13.5	5	Électricien	69	3
Bardeau métallique	13	2	Vitrier	54	3
Escalier	12	7	Ventilation	47	2
Vitrier	12	6	Plombier	12.5	4
Ventilation	12	3	Sécurité générale	6	4
Plombier	9	3	Démolition	4	3
Macon	7	3			
Gicleur	7	2			
Membrane	5	3			
Structure	4	1			
Couvreur	2.5	2			
Calorifugeage	2	1			
Excavation	1	1			
Isolation	0.5	1			

ANNEXE VIII

PRODUCTIVITÉ DES SOUS-TRAITANT

Tableau-A VIII-1 Tableau des productivités RS means pour les tâches de système intérieur

Tâches	Nombre d'ouvriers considéré par Rsmeans	Productivité Rsmeans par équipe		Productivité convertie en m ² et par ouvrier m ² /j (par personne)	Facteur multiplicatif pour uniformiser les avancements
		yard ² /j	pi ² /j		
Pose de montants métalliques	1		619	57,51	1
Pose de plaque de gypse	2		1900	88,26	0,65
Pose de laine	1		155	14,40	3,99
Tirage de joints	5	100		16,72	3,44
Pose de faux plafond	1		800	74,32	0,77

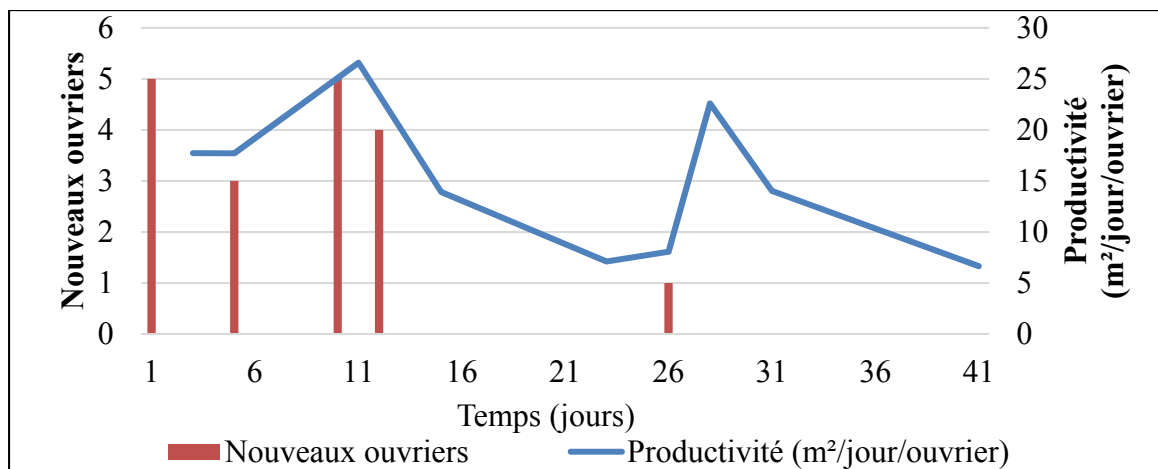


Figure-A VIII-1 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: maçon (Cas 1)

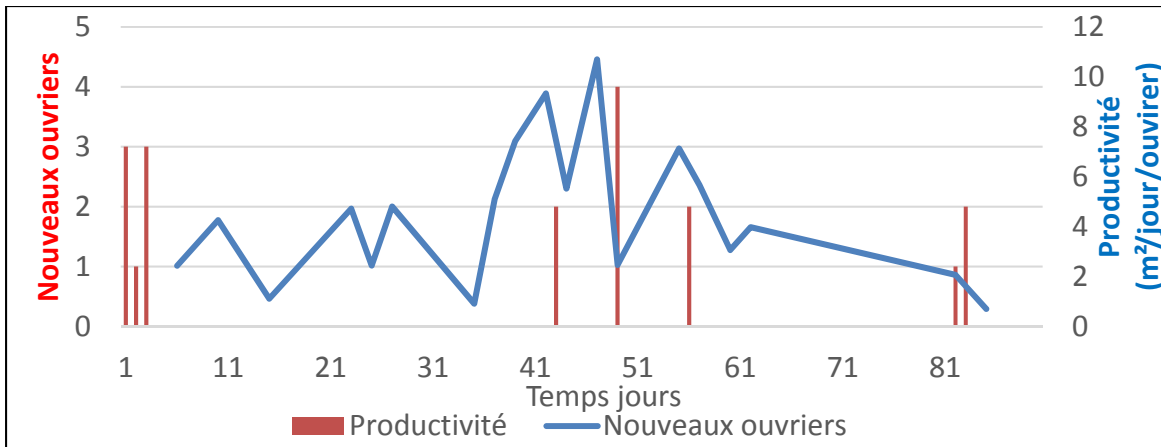


Figure-A VIII-2 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: maçon (Cas 1)

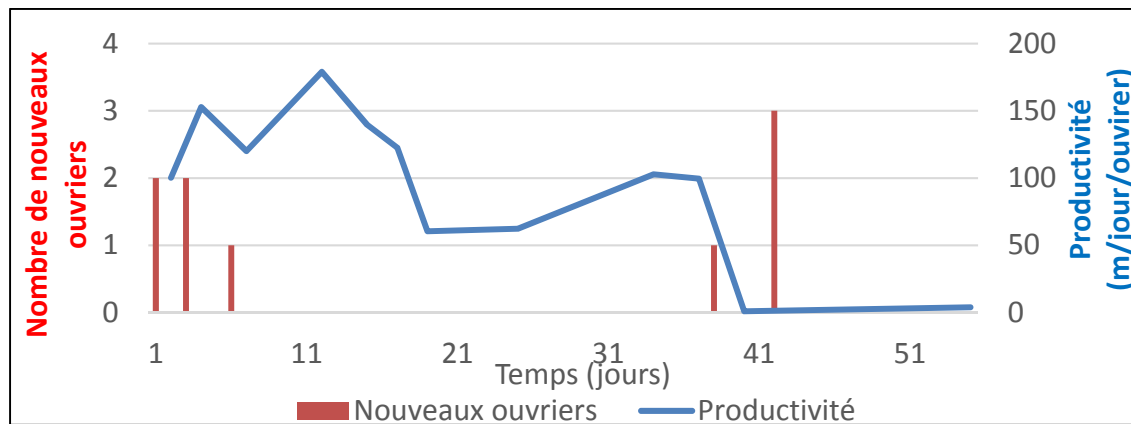


Figure-A VIII-3 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: peintre (Cas 1)

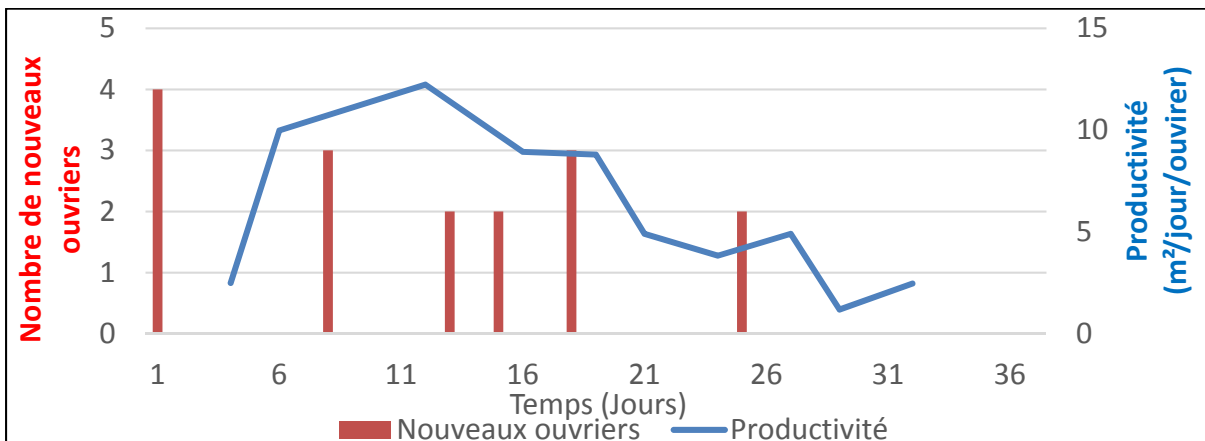


Figure-A VIII-4 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: céramique (Cas 1)

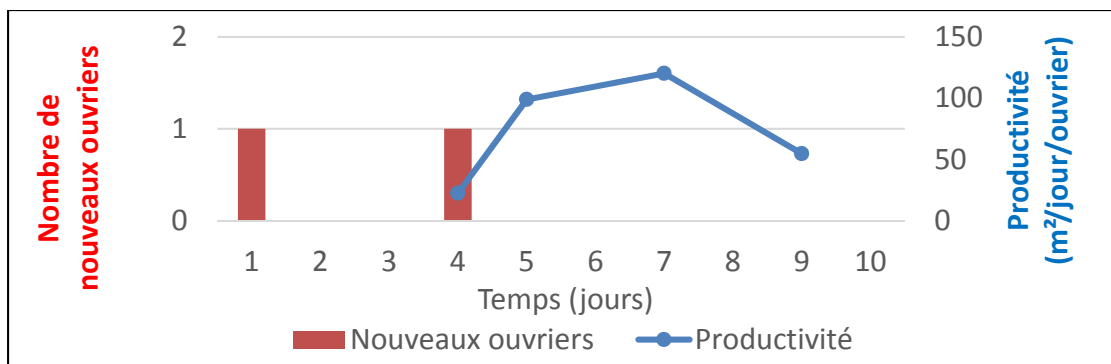


Figure-A VIII-5 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: scarificateur (Cas 2)

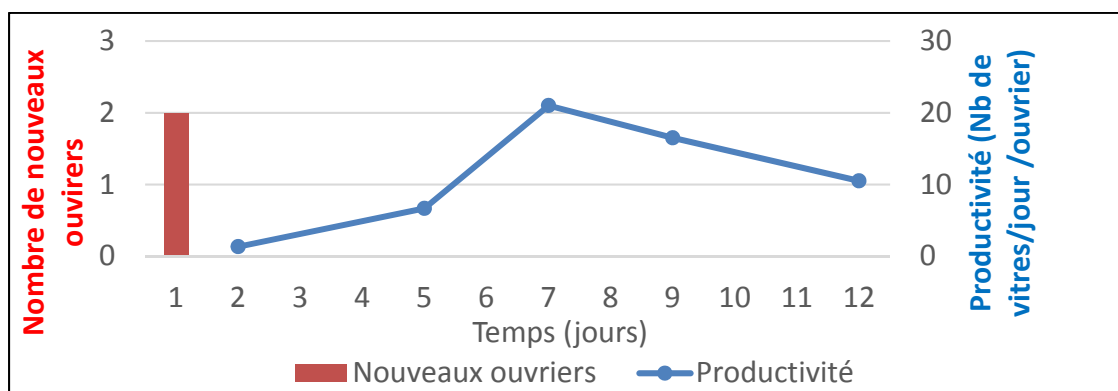


Figure-A VIII-6 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T : vitrier (Cas 2)

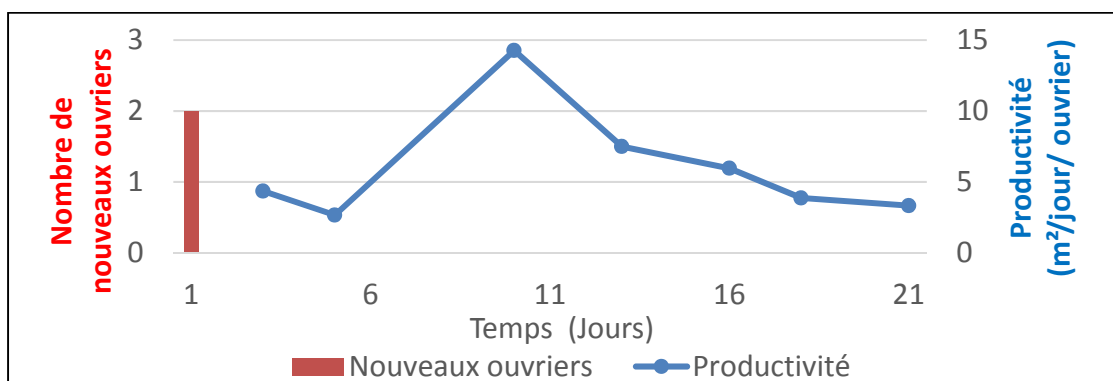


Figure-A VIII-7 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: céramique (Cas 2)

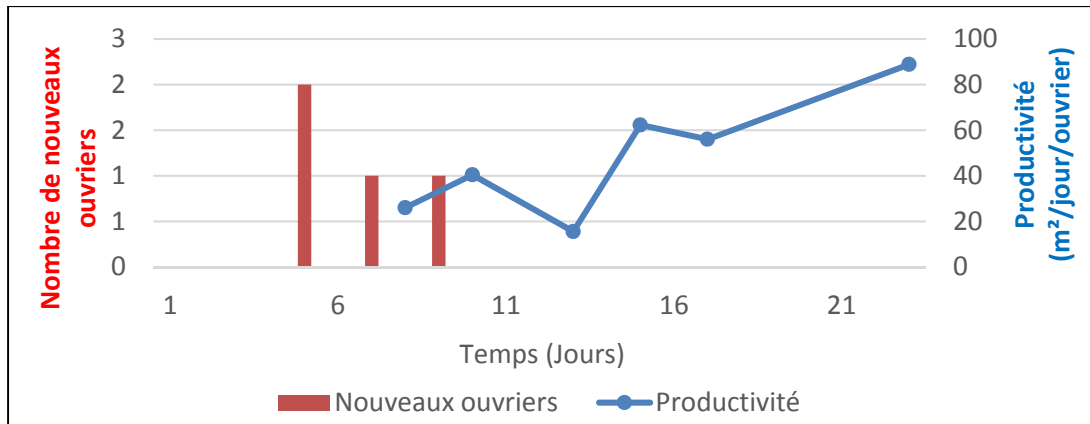


Figure-A VIII-8 Productivité et nouveaux ouvriers du S-T: sol souple (Cas 2)

ANNEXE IX

ÉQUATIONS DU MODÈLE DE DYNAMIQUE DES SYSTÈMES

Facteurs_de_division_du_nombre_d'unité_de_travail = 1

DOCUMENT: Facteur de divisant le nombre de tâches du projet (variation de l'ampleur des travaux: 1 pour un chantier de moyenne envergure et 20 pour un chantier de petite envergure)

Nb_d'heures_des_travaux(t) = Nb_d'heures_des_travaux(t - dt) + (Heures_travaillees) * dt

INIT Nb_d'heures_des_travaux = 0

DOCUMENT: Cacul le nombre totale d'heure de travail

INFLOWS:

Heures_travaillees = IF Unités_de_travail_restantes=0 THEN 0 ELSE 1

Prise_en_compte_d'effet_de_la_gestion = 1

Taux_de_production_d'erreurs[Équipe]=

Productivite*Nb_total_d'ouvriers_par_ST*Fraction_d'erreurs_faites*Prise_en_compte_des_erreurs

Unités_de_travail_effectuees[Équipe](t) = Unités_de_travail_effectuees[Équipe](t-dt) + (Taux_de_production[Équipe]) * dt

INIT Unités_de_travail_effectuees[Équipe] = 0

DOCUMENT: Unités de travail effectuées par chaque S-T

INFLOWS:

Taux_de_production[Équipe] <-- Progrès_et_avancement:

Unités_de_travail_restantes=

Unites_de_travail_restantes_par_ST[1]+Unites_de_travail_restantes_par_ST[2]+Unites_de_travail_restantes_par_ST[3]

DOCUMENT: Unités de travail restant à accomplir pour achever les 3 tâches

Assimilation_et_acceuil_sécurité:

$Nb_d'ouvrires_habitues[Équipe](t) = Nb_d'ouvrires_habitues[Équipe](t-dt) + (Taux_d'assimilation[Équipe] - Taux_de_démobilisation[Équipe]) * dt$

INIT $Nb_d'ouvrires_habitues[Équipe] = 0$

DOCUMENT: Ouvriers habitués, étant à leur maximum de productivité (par rapport à l'assimilation)

INFLOWS:

$Taux_d'assimilation[Équipe] =$

DELAY1($Nb_d'ouvriers_nouveaux, Temps_assimilation, 0$)

DOCUMENT: Taux d'assimilation des ouvriers nouvellement arrivés

OUTFLOWS:

$Taux_de_démobilisation[Équipe] = ((IF Unites_de_travail_restantes_par_ST > 0 THEN 0 ELSE (Nb_total_d'ouvriers_par_ST/DT)) + (IF Nombre_d'ouvriers_souhaite < 0 THEN (- Nombre_d'ouvriers_souhaite/DT) ELSE 0)) * Perte_de_temps$

DOCUMENT: Démobilisation des ouvriers lorsque les tâches sont terminées ou que le nombre d'ouvrier sur le chantier est trop important

$Nb_d'ouvrier_max = 10$

DOCUMENT: Nombre d'ouvrier maximal qui peuvent travailler en même temps sur le chantier (10 pour un chantier d'envergure moyenne et 3 pour une envergure petite)

$Nb_d'ouvriers_nouveaux[1](t) = Nb_d'ouvriers_nouveaux[1](t-dt) + (Sortie_de_l'acueil_sécurité[1] - Taux_d'assimilation[1] - Taux_de_démobilisation_N[1]) * dt$

INIT $Nb_d'ouvriers_nouveaux[1] = 0$

$Nb_d'ouvriers_nouveaux[2](t) = Nb_d'ouvriers_nouveaux[2](t-dt) + (Sortie_de_l'acueil_sécurité[2] - Taux_d'assimilation[2] - Taux_de_démobilisation_N[2]) * dt$

INIT $Nb_d'ouvriers_nouveaux[2] = 0$

$Nb_d'ouvriers_nouveaux[3](t) = Nb_d'ouvriers_nouveaux[3](t - dt) + (Sortie_de_l'acueil_sécurité[3] - Taux_d'assimilation[3] - Taux_de_démobilisation_N[3]) * dt$

INIT $Nb_d'ouvriers_nouveaux[3] = 0$

DOCUMENT: Ouvriers venant de quitter l'acceuil sécurité et n'étant pas encore habitués au chantier (en peridode d'assimilation)

INFLOWS:

Sortie_de_l'acceuil_sécurité[Équipe] = CONVEYOR OUTFLOW

DOCUMENT: Ouvriers quittant l'acceuil sécurité pour commencer à travailler

OUTFLOWS:

Taux_d'assimilation[Équipe] = DELAY1(Nb_d'ouvriers_nouveaux, Temps_assimilation, 0)

DOCUMENT: Taux d'assimilation des ouvriers nouvellement arrivés

Taux_de_démobilisation_N[Équipe] = IF Unites_de_travail_restantes_par_ST=0 AND TIME>2 THEN 100 ELSE 0

DOCUMENT: Démobilisation des ouvriers lorsque les tâches sont terminées

Nb_total_d'ouvriers_par_ST[Équipe] = Nb_d'ouvriers_habitués+Nb_d'ouvriers_nouveaux+Ouvriers_en_acceuil
 Nombre_d'ouvriers_total = Nb_total_d'ouvriers_par_ST[1]
 +Nb_total_d'ouvriers_par_ST[2]+Nb_total_d'ouvriers_par_ST[3]

DOCUMENT: Nombre total d'ouvriers présents sur le chantier

Ouvriers_en_acceuil[Équipe](t) = Ouvriers_en_acceuil[Équipe](t - dt) + (Taux_de_mobilisation[Équipe] - Sortie_de_l'acceuil_sécurité[Équipe]) * dt

INIT Ouvriers_en_acceuil[Équipe] = 0

TRANSIT TIME = 0.5

CAPACITY = INF

INFLOW LIMIT = INF

DOCUMENT: Ouvriers à l'acceuil sécurité (30min) avant d'effectuer des travaux.

INFLOWS:

Taux_de_mobilisation[Équipe] = Nombre_d'ouvriers_souhaite*Perte_de_temps/DT*(IF (Nombre_d'ouvriers_souhaite+Nombre_d'ouvriers_total>(Nb_d'ouvrier_max+0.1)) THEN 0 ELSE 1)+(IF (Nombre_d'ouvriers_souhaite+Nombre_d'ouvriers_total > (Nb_d'ouvrier_max+0.1)) THEN (Nb_d'ouvrier_max-Nombre_d'ouvriers_total) ELSE 0)*Perte_de_temps/DT

DOCUMENT: Mobilisation des ouvriers (Nouveaux ouvriers rentrant sur le chantier)

OUTFLOWS:

Sortie_de_l'acueil_sécurité[Équipe] = CONVEYOR OUTFLOW

DOCUMENT: Ouvriers quittant l'acueil sécurité pour commencer à travailler

Pourcentage_d'ouvriers_habitués[Équipe] = IF Nb_d'ouvriers_nouveaux +
 Nb_d'ouvriers_habitués=0 THEN 0 ELSE Nb_d'ouvriers_habitués/
 (Nb_d'ouvriers_habitués+Nb_d'ouvriers_nouveaux)

Temps_assimilation[Équipe] = 2

DOCUMENT: Temps moyen pour qu'un ouvrier soit assimilé. (Temps perdu dans l'avancement des travaux)

Dynamique_de_mobilisation_des_ouvriers:

Courbe_des_ouvriers[Équipe] = GRAPH(Avancement)

(0,000, 1,0000), (0,100, 1,0000), (0,200, 1,0000), (0,300, 1,0000), (0,400, 1,0000), (0,500,
 1,0000), (0,600, 1,0000), (0,700, 1,0000), (0,800, 1,0000), (0,900, 1,0000), (1,000, 0,3000)

DOCUMENT: Courbe des ouvriers souhaités par S-T en fonction de l'avancement

Début_de_journée = IF (ROUND(TIME/8)-TIME/8=0) THEN 1 ELSE 0

DOCUMENT: Prise en compte de la mobilisation en début de journée (1 en début de journée, 0 sinon)

Nombre_d'ouvrier_par_ST = 10

DOCUMENT: Nombre d'ouvrier que peuvent mobiliser les S-T (10 pour la simulation d'un chantier de moyenne envergure et 3 pour une petite envergure)

Nombre_d'ouvriers_par_ST[Équipe] = Nombre_d'ouvrier_par_ST*(IF
 Prise_en_compte_des_dynamiques_de_mobilisation=1 THEN Courbe_des_ouvriers ELSE
 1)

DOCUMENT: Nombre d'ouvriers que les S-T veulent envoyer

Nombre_d'ouvriers_souhaite[1] = IF Avancement[1]<1 THEN
 (Nombre_d'ouvriers_par_ST[1]-Nb_total_d'ouvriers_par_ST[1]) ELSE 0

Nombre_d'ouvriers_souhaite[2] = IF Avancement[2]<1 THEN
 ((Nombre_d'ouvriers_par_ST[2]-Nb_total_d'ouvriers_par_ST[2])*(IF (Avancement[1]>0.6
 AND Avancement[1]>Avancement[2]) THEN 1 ELSE 0)) ELSE 0

Nombre_d'ouvriers_souhaite[3] = IF Avancement[3]<1 THEN
 ((Nombre_d'ouvriers_par_ST[3]-Nb_total_d'ouvriers_par_ST[3])*(IF (Avancement[2]>0.6
 AND Avancement[2]>Avancement[3] AND Avancement[1]> Avancement[3]) THEN 1
 ELSE 0)) ELSE 0

DOCUMENT: Nombre d'ouvriers à envoyer les S-T pour avoir le nombre souhaité

Pas_le_vendredi = IF (TIME/40>0 AND TIME/40<0.201) THEN 0 ELSE 1

DOCUMENT: Prise ne compte de la non mobilisation le vendredi (0 le vendredi 1 sinon)

Perte_de_temps = IF Prise_en_compte_de_la_perte_de_temps=1 THEN
 (Début_de_journée*Pas_le_vendredi) ELSE 1

DOCUMENT: Prise en compte de la mobilisation. 1 en début de journée et pas le vendredi
 ,0 sinon

Prise_en_compte_de_la_perte_de_temps = 1

DOCUMENT: Prise en compte ou non des mobilisations contrôlées (1 si prise en compte 0
 sinon)

Prise_en_compte_des_dynamiques_de_mobilisation = 1

DOCUMENT: 1 pour prendre en compte un nombre d'ouvriers non constant, 0 sinon

Erreurs:

Effet_de_l'avancement_sur_les_erreurs =

GRAPH((Avancement[1]+Avancement[2]+Avancement[3])/3)

(0,000, 1,000), (1,000, 0,000)

Erreurs_realisees[Équipe](t) = Erreurs_realisees[Équipe](t - dt) +
 (Taux_de_production_d'erreurs[Équipe]) * dt

INIT Erreurs_realisees[Équipe] = 0

DOCUMENT: Erreurs réalisées à cause du manque de gestion (prise en compte des
 reprises la productivité influencée par la gestion)

INFLOWS:

Taux_de_production_d'erreurs[Équipe] <-- :

Fraction_d'erreurs_faites[Équipe] = Effet_de_l'avancement_sur_les_erreurs*(IF
Prise_en_compte_d'effet_de_la_gestion=1 THEN (Effet_de_la_gestion_sur_les_erreurs/
Reduction_de_l'effet_de_la_mauvaise_gestion) ELSE 0)

Nb_total_d'erreurs = Erreurs_realisees[1]+Erreurs_realisees[2]+Erreurs_realisees[3]

Prise_en_compte_des_erreurs = 1

DOCUMENT: Prise en comte (1) ou non (0) des erreurs.

Reduction_de_l'effet_de_la_mauvaise_gestion = 2

DOCUMENT: Facteur de réduction des effets de la gestion (2 initialement)

Gestion:

Effet_de_la_gestion_sur_la_productivité = IF Prise_en_compte_d'effet_de_la_gestion=1
THEN (IF Temps_de_gestion=0 THEN 1 ELSE
(((Gestion_optimale/Temps_de_gestion)*(1/(2*Reduction_de_l'effet_de_la_mauvaise_gestio
n)))+(1-1/(2*Reduction_de_l'effet_de_la_mauvaise_gestion)))) ELSE 1

Effet_de_la_gestion_sur_les_erreurs = GRAPH((IF Temps_de_gestion=0 THEN 1 ELSE
(Temps_de_gestion-Gestion_optimale)))

(0,000, 0,28), (1,000, 0,04)

Gestion_initiale = ((Nombre_d'unités_initial[1]/8)^0.529
+(Nombre_d'unités_initial[2]/8)^0.529+(Nombre_d'unités_initial[3]/8)^0.529)*0.191

DOCUMENT: Gestion définie par la relation entre l'ampleur des travaux et le temps de
gestion

Gestion_optimale = 0.1911*(Nombre_d'unites_de_travail_total/8)^0.529

DOCUMENT: Temps de gestion réalisé dans un cas idéal avec 1 S-T pour les travaux.

Nombre_d'unites_de_travail_total =

(Nombre_d'unités_initial[1]+Nombre_d'unités_initial[2]+Nombre_d'unités_initial[3])

Temps_de_gestion(t) = Temps_de_gestion(t - dt) + (Taux_de_gestion) * dt

INIT Temps_de_gestion = 0

DOCUMENT: Temps de gestion des S-T passé par le surintendants

INFLOWS:

Taux_de_gestion =
 PULSE(Gestion_initiale,0,20000)+(Taux_de_production_d'erreurs[1]+Taux_de_production_d'erreurs[2]+Taux_de_production_d'erreurs[3])*30/60

Progrès_et_avancement:

Avancement[Équipe] = IF Nombre_d'unités_initial=0 THEN 1 ELSE (IF Unités_de_travail_effectuees=0 THEN 0 ELSE Unités_de_travail_effectuees/Nombre_d'unités_initial)

DOCUMENT: Pourcentage d'avancement par S-T

Avancement_total = IF Nombre_de_ST=3 THEN (Avancement[1]+Avancement[2]+Avancement[3])/3 ELSE (IF Nombre_de_ST=2 THEN (Avancement[1]+Avancement[2])/2 ELSE Avancement[1])

DOCUMENT: Pourcentage d'avancement de la totalité des tâches

Fraction_de_l'effet_l'assimilation_sur_la_productivité = 0

DOCUMENT: Productivité des ouvriers à leur arrivé sur le chantier (au début de la période d'assimilation)

Nombre_d'unités_initial[1] = IF Nombre_de_ST=1 THEN Unite_de_travail_par_tache[1]+Unite_de_travail_par_tache[2]+Unite_de_travail_par_tache[3] ELSE (IF Nombre_de_ST=2 THEN Unite_de_travail_par_tache[1]+Unite_de_travail_par_tache[2] ELSE Unite_de_travail_par_tache[3])

Nombre_d'unités_initial[2] = IF Nombre_de_ST=3 THEN Unite_de_travail_par_tache[2] ELSE (IF Nombre_de_ST=2 THEN Unite_de_travail_par_tache[3] ELSE 0)

Nombre_d'unités_initial[3] = IF Nombre_de_ST=3 THEN Unite_de_travail_par_tache[3] ELSE 0

DOCUMENT: Nombre d'unités de travail initial pour chaque S-T

Nombre_de_ST = 3

DOCUMENT: Nombre de S-T pour effectuer les 3 tâches.

Prise_en_compte_de_l'assimilation = 1

DOCUMENT: 1 si l'effet de l'assimilation est pris en compte dans la productivité, 0 sinon

$$\text{Productivite}[\text{Équipe}] = (\text{Productivité_des_ouvriers_habitues} * \text{Pourcentage_d'ouvriers_habitues} + (1 - \text{Pourcentage_d'ouvriers_habitues}) * (\text{IF } \text{Prise_en_compte_de_l'assimilation} = 1 \text{ THEN } \text{Fraction_de_l'effet_l'assimilation_sur_la_productivité} \text{ ELSE } 1)) * \text{Effet_de_la_gestion_sur_la_productivité}$$

DOCUMENT: Productivité moyenne des ouvriers des S-T

Productivité_des_ouvriers_habitues = 1

DOCUMENT: Productivité normales des ouvriers habitué au chantier (assimilés)

Unite_de_travail_par_tache[1] = 1110/Facteurs_de_division_du_nombre_d'unité_de_travail

Unite_de_travail_par_tache[2] = 720/Facteurs_de_division_du_nombre_d'unité_de_travail

Unite_de_travail_par_tache[3] = 936/Facteurs_de_division_du_nombre_d'unité_de_travail

DOCUMENT: Unités de travail par tâches avec la prise en compte du facteur sur l'ampleur du projet

$$\text{Unites_de_travail_restantes_par_ST}[\text{Équipe}](t) = \text{Unites_de_travail_restantes_par_ST}[\text{Équipe}](t - dt) + (\text{Initiations_des_taches}[\text{Équipe}] - \text{Taux_de_production}[\text{Équipe}]) * dt$$

INIT Unites_de_travail_restantes_par_ST[Équipe] = 0

DOCUMENT: Unités de travail restant à accomplir pour achever chaque tâche

INFLOWS:

Initiations_des_taches[Équipe] = PULSE(Nombre_d'unités_initial, 0, 10000)

DOCUMENT: Initialisation des tâches des S-T

OUTFLOWS:

$$\text{Taux_de_production}[\text{Équipe}] = \text{Productivite} * \text{Nb_total_d'ouvriers_par_ST} * (1 - \text{Fraction_d'erreurs_faites} * \text{Prise_en_compte_des_erreurs})$$

{ The model has 54 (104) variables (array expansion in parens).

In 1 Modules with 5 Sectors.

Stocks: 8 (20) Flows: 10 (26) Converters: 36 (58)

Constants: 14 (18) Equations: 32 (66) Graphicals: 3 (5) }

ANNEXE X

RÉSULTATS GRAPHIQUES DES SIMULATIONS

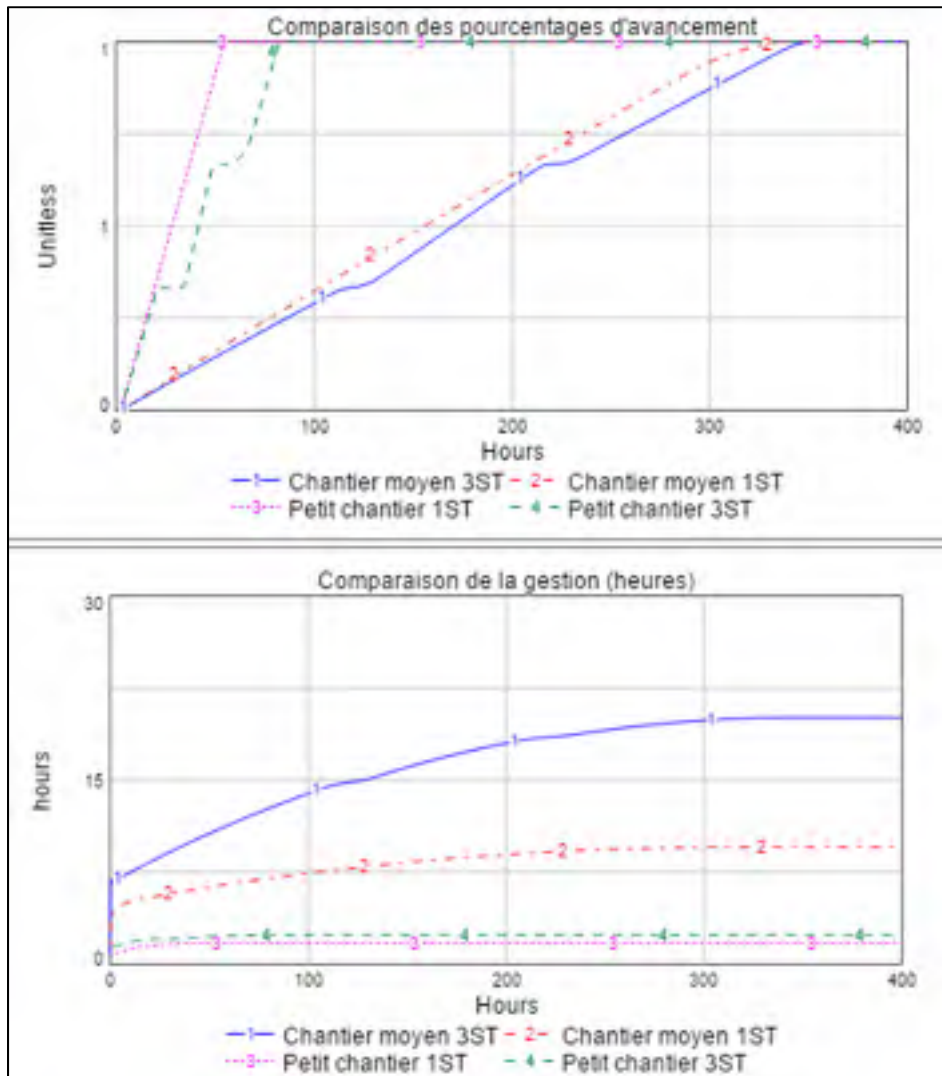


Figure-A X-1 Comparaison des différentes simulations réalisé sur le modèle crée (Avancement et gestion)

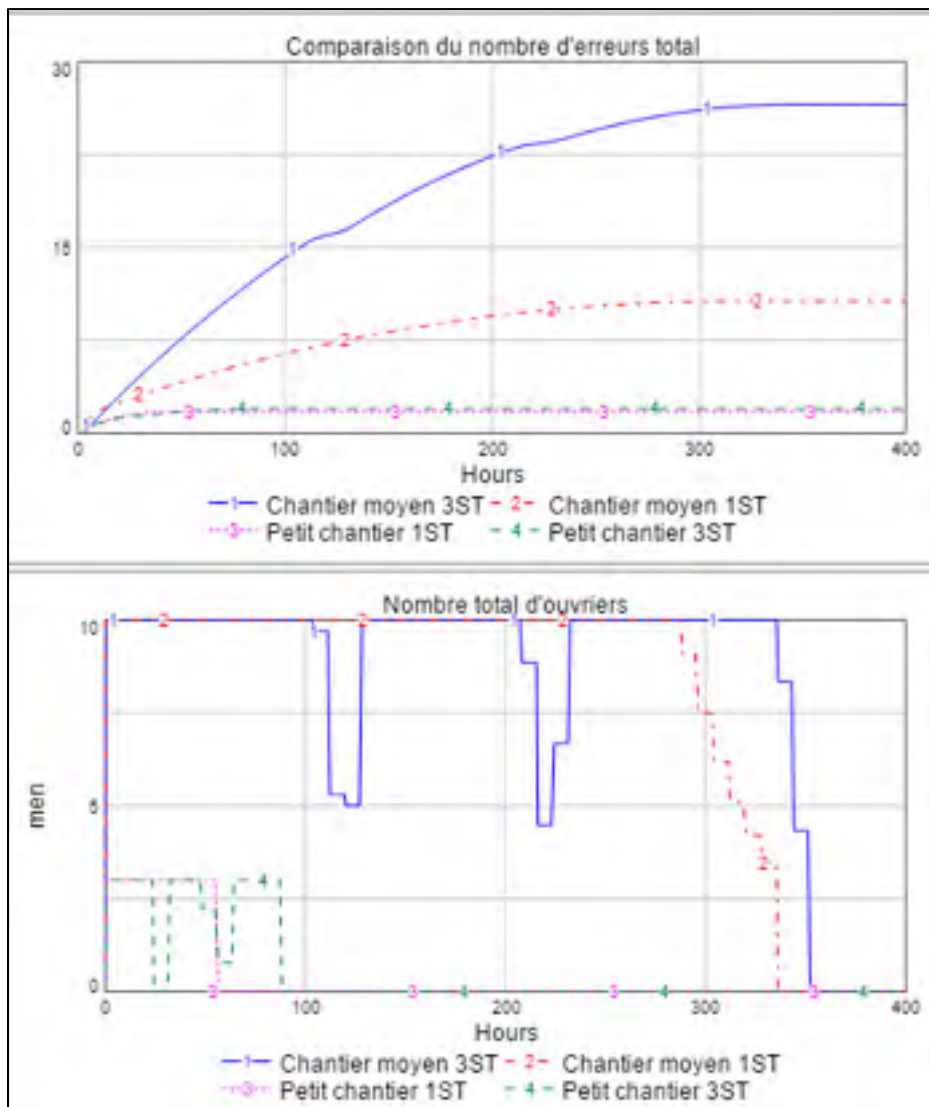


Figure-A X-2 Comparaison des différentes simulations réalisé sur le modèle crée (erreurs et nombre d'ouvriers)

ANNEXE XI

MODÈLE ITHINK (CD)

Le modèle de dynamique des systèmes est disponible dans le disque fournis à la fin de ce mémoire.

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdel-Hamid, Tarek K. 1989. « The dynamics of software project staffing: a system dynamics based simulation approach ». *Software Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 15, n° 2, p. 109-119.
- Abduh, M. et M.J. Skibniewski. 2003. « Electronic Networking Technologies in Construction ». *Journal of Construction Research*, vol. 5, n° 1, p. 17-42.
- Aia. 2007. « Integrated Project Delivery: A Guide ». *American Institute of Architects*, p. 1-62. <<http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab083423.pdf>>.
- Alba, Richard D. 1982. « Taking stock of network analysis: A decade's results ». *Research in the Sociology of Organizations*, vol. 1, p. 39-74.
- Allen, Richard K, Burcin Becerik, Spiro N Pollalis et Benedict R Schwegler. 2005. « Promise and Barriers to Technology Enabled and Open Project Team Collaboration ». *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 131, n° 4, p. 301-311.
- Almahmoud, Essam et Hemanta Kumar Doloi. 2015. « Assessment of social sustainability in construction projects using social network analysis ». *Facilities*, vol. 33, n° 3/4, p. 152-176.
- Aranda-Mena, Guillermo, John Crawford, Agustin Chevez et Thomas Froese. 2009. « Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM ». *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 2, n° 3, p. 419-434.
- Arashpour, Mehrdad et Ron Wakefield. 2013. « Analysis of disruptions caused by construction field rework on productivity in residential projects ». *Journal of Construction Engineering and Management*, p. 1-12.
- Bankvall, Lars, Lena E. Bygballe, Anna Dubois et Marianne Jahre. 2010. « Interdependence in supply chains and projects in construction ». *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 15, n° 5, p. 385-393.
- Barber, Patrick, Andrew Graves, Mark Hall, Darryl Sheath et Cyril Tomkins. 2000. « Quality failure costs in civil engineering projects ». *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 17, n° 4/5, p. 479-492.
- Becerik, Burcin. 2004. « Critical Enhancements for Improving the Adoption of Online

- Project Management Technology ». In *Global Congress proceedings*. (2004), p. 1-11.
- Benford, Charles Jr. et David Shields. 2008. « Exploratory study of construction safety culture through systems thinking ». Thèse de maîtrise, Las Vegas, University of Nevada, Las Vegas. <<http://search.proquest.com/docview/304390920?accountid=27231>>.
- Boateng, Prince, Zhen Chen, Stephen Ogunlana et Dubem Ikediashi. 2013. « A system dynamics approach to risks description in megaprojects development ». *Organization, Technology & Management in Construction*, vol. 5, p. 593-603.
- Boutin, Gérald. 2006. *L'entretien de recherche qualitatif*. Presses de l'Université du Québec.
- Bowden, S., A. Dorr, A. Thorpe, C. J. Anumba et P. Gooding. 2005a. « Making the Case for Mobile IT in Construction ». In *International Conference on Computing in Civil Engineering*. (2005), p. 1-12. American Society of Civil Engineers.
- Bowden, S., A. Dorr, A. Thorpe, C. J. Anumba et P. Gooding. 2005b. « Making the Case for Mobile IT in Construction ». In *Computing in Civil Engineering*, p. 1-12. American Society of Civil Engineers.
- Brandon, Peter. 2000. « Construction IT: forward to what? Implementing IT to obtain a competitive advantage in the 21st century ». In *International Conference on Construction Information Technology*. (2000).
- BSDQ. 2013. *Code de Soumission*. <http://www.bsdq.org/docs/documents/soumission/FR_Code_de_soumission_BSDQ_mis_jour_09-05-2014.pdf>. Consulté le 10 août 2016.
- BSDQ. 2016. « Qui sommes nous? - BSDQ ». <<http://www.bsdq.org/fr/bsdq/qui-sommes-nous/>>. Consulté le 20 mai 2009.
- Busby Perkins et Will Stantec Consulting. 2007. *Roadmap for the integrated design process*. <<http://www.greenspacencr.org/events/IDProadmap.pdf>>.
- CCQ. 2015. « Faits Saillants 2014 ». <https://www.ccq.org/~media/PDF/Recherche/StatistiquesHistoriques/2014/Faits_Saillants_2014.ashx>.
- CCQ. 2016. *Statistiques annuelles 2013*. 158 p. <<http://www.ccq.org/fr-CA/GrandPublic/Publications/Stats/StatistiquesHistoriques/StatistiquesHistoriques2013/StatistiquesHistoriques2013?profil=GrandPublic>>.
- CERACQ. 2015. *Processus de conception intégrée (PCI)*.
- Chan, Albert P. C., Daniel W. M. Chan et John F. Y. Yeung. 2009. « Overview of the

- Application of “Fuzzy Techniques” in Construction Management Research ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 135, n° 11, p. 1241-1252.
- Chapman, Robert J. 1998. « The role of system dynamics in understanding the impact of changes to key project personnel on design production within construction projects ». *International Journal of Project Management*, vol. 16, n° 4, p. 235-247.
- Chinowsky, Paul, James Diekmann et Victor Galotti. 2008. « Social Network Model of Construction ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 134, n° 10, p. 804-812.
- Chinowsky, Paul S, James Diekmann et John O’Brien. 2009. « Project organizations as social networks ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 136, n° 4, p. 452-458.
- Chinowsky, Paul S, Barbara Robinson et Sherman Robinson. 2013. « The Use of Personality Assessment Measures in Social Network Analysis ». In *Engineering Project Organization Conference*. (2013), p. 36.
- Chinowsky, Paul S et Anthony D Songer. 2011. *Organization Management in Construction*. Routledge.
- Commission de la Construction du Québec. 2013. *Rapport sur l’opportunité de révision du règlement sur la formation professionnelle de la main-d’oeuvre de l’industrie de la construction*.
- Davidson, Colin H. 1988. « Building team ». *Encyclopedia of Architecture Design, Engineering & Construction, New York, John Wiley and Sons*, vol. 1, p. 509-515.
- Davidson, Frank P et Jean-Claude Huot. 1989. « Management trends for major projects ». *Project Appraisal*, vol. 4, n° 3, p. 133-142.
- Delagrave, Louis. et J.-L. Pilon. 2009. *Histoire des relations du travail dans la construction au Québec*. Les Presses de l’Université Laval.
- Design-Build Institute of America. 1994. *An Introduction to Design-Build*. Washington, D.C : Design-Build Institute of America.
- Dossick, Carrie Sturts et Gina Neff. 2011. « Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling ». *Engineering Project Organization Journal*, vol. 1, n° 2, p. 83-93.
- Dupagne, Albert. 1991. *Computer Integrated Building*.
- Eastman, Charles, Rafael Sacks et Ghang Lee. 2003. « Development and Implementation of

Advanced It in the North American Precast Concrete Industry ». vol. 8, p. 247-262.

Fayek, Aminah Robinson, Manjula Dissanayake et Oswaldo Campero. 2003. *Measuring and Classifying Construction Field Rework: A Pilot Study*. Department of Civil and Environmental Engineering University of Alberta.

Fayek, Aminah Robinson et Ayodele Oduba. 2005. « Predicting Industrial Construction Labor Productivity Using Fuzzy Expert Systems ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, n° 8, p. 938-941.

Fenneteau, Hervé. 2002. *Enquête : entretien et questionnaire*. Dunod.

Fischer, Martin, John Haymaker et Kathleen Liston. 2003. « Benefits of 3D and 4D models for facility managers and AEC service providers ». *4D CAD and Visualization in Construction-Developments and Applications*, p. 1-32.

Ford, DN, JM Lyneis et T Taylor. 2007. « Project controls to minimize cost and schedule overruns: A model, research agenda, and initial results ». In *Proceedings of the 25th International Conference and 50th Anniversary Celebration of Systems Dynamics*,. (2007), p. 27.

Forgues, Daniel, François Chiochio, Audrey Lavallée et Vincent Laberge. 1989. « Performance de la conception intégrée et intégration des technologies de l'information dans un contexte de travail multidisciplinaire ». *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, p. 160.

Forgues, Daniel, Sébastien Frenette et Souha Tahrani. 2014. *Construction 2.0 l'efficacité par le numérique*. Bibliothèque et Archives Canada. <http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/Construction_20_final.pdf>.

Forgues, Daniel, Lauri Koskela et Albert Lejeune. 2009. « Information technology as boundary object for transformational learning ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 14, p. 48-58.

Forgues, Daniel, Sheryl Staub-French, Souha Tahrani et Hasan Burak Cavka. 2011. « Améliorer l'efficacité et la productivité du secteur de la construction grâce aux technologies de l'information ». p. 94. <http://www.cefrio.qc.ca/media/uploader/2_corr_-_Amliorer_l_efficacit_et_la_productivit_du_secteur_de_la_construction_version_finale.pdf>.

Forgues, Daniel, Sheryl Staub-French, Souha Tahrani et Erik A Poirier. 2014. *L'inévitable passage à la modélisation des données du bâtiment (BIM) dans l'industrie de la construction au canada : synthèse de trois expérimentations Résumé de recherche et faits saillants*.

- Forgues, Daniel, Souha Tahrani et Erik A. Poirier. 2015. *Sondage 2015 – Adoption du BIM et des approches intégrées au Québec*. Montréal, Québec, Canada. <<http://gridd.etsmtl.ca/fr/archives/1356>>.
- Forrester, J.W. 1961. *Industrial Dynamics*. Waltham, MA : Palgrave Macmillan. <<http://www.ingentaconnect.com/content/pal/01605682/1997/00000048/00000010/2600946>>. Consulté le 21 octobre 2015.
- Forrester, Jay W. 1994. « System dynamics, systems thinking, and soft OR ». *System Dynamics Review*, vol. 10, n° 2-3, p. 245-256.
- Fruchter, Renate. 1999. « A/E/C Teamwork: A Collaborative Design and Learning Space ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 13, n° 4, p. 261-269.
- Galotti Boetti, Victor Leandro et Paul Chinowsky. 2008. « Use of Social Network Analysis as a tool to evaluate success on construction projects and team interactions ». Thesis, Ann Arbor, University of Colorado.
- Gautier, Nolwenn, Constantine J. Katsanis et Luc Martin. 2015. « Enquête sur les impacts de la juridiction des métiers et ses impacts sur la planification des travaux et la gestion des contrats de construction au Québec ». Québec, École de technologie supérieur.
- Gouvernement du Canada. 2015. « Gouvernement du Canada ». <<https://www.ic.gc.ca/app/scr/sbms/sbb/cis/producti>>.
- Grilo, António et Ricardo Jardim-Goncalves. 2010. « Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments ». *Automation in Construction*, vol. 19, n° 5, p. 522-530.
- Hanneman, Robert A et Mark Riddle. 2005. *Introduction to social network methods*. University of California Riverside.
- Hassan Ibrahim, Nurain. 2013. « Reviewing the evidence: USE of digital collaboration technologies in major building and infrastructure projects ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 18, n° February, p. 40-63.
- Heedae, Park, H Han Seung, Eddy M Rojas, Son JeongWook et Jung Wooyong. 2011. « Social Network Analysis of Collaborative Ventures for Overseas Construction Projects ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 137, n° 5, p. 344-355.
- Hewage, Kasun N., Janaka Y. Ruwanpura et George F. Jergeas. 2008. « IT usage in Alberta's building construction projects: Current status and challenges ». *Automation in*

Construction, vol. 17, n° 8, p. 940-947.

Hua, Goh Bee. 2013. « Implementing IT Business Strategy in the Construction Industry ». In *Implementing IT Business Strategy in the Construction Industry*, Global, IG, p. 216-246.

Institut royal d'architecture du Canada. 2009. « Modes de réalisation des projets de construction ». In *Manuel canadien de pratique de l'architecture*. <http://www.oaa.on.ca/images/docs/1304358101_2.3.2.pdf>.

Izam Ibrahim, Khairil, Seosamh B. Costello et Suzanne Wilkinson. 2013. « Key practice indicators of team integration in construction projects: a review ». *Team Performance Management: An International Journal*, vol. 19, n° 3/4, p. 132-152.

Johnny, Wong, Wang Xianyin, Li Heng, Chan Greg et Li Haijiang. 2014. « a Review of Cloud-Based Bim Technology in the Construction Sector ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, n° August, p. 281-291.

Josephson, P. E. et Y. Hammarlund. 1999. « Causes and costs of defects in construction a study of seven building projects ». *Automation in construction*, vol. 8, n° 6, p. 681-687.

Kamgang Happi, Chamberlin et Stéphane Morin Pépin. 2013. *L'ingénierie de la construction: outils Informatiques Disponilbe aux Professionnels de la Construciton*. Montréal.

Katsanis, Constantine et Paul Chinowsky. 2011. « Network Analysis of a Simulated Network Organization ». In *Engineering Project Organizations Conference*. (2011).

Katsanis, Constantine J. 2003. « System Dynamics Modeling For A Decision Support System For Assessing Construction Productivity ». *5th Construction Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*, p. 1-10.

Kent, David C et Burcin Becerik-Gerber. 2010. « Understanding Construction Industry Experience and Attitudes toward Integrated Project Delivery ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, n° 8, p. 815-825.

Khosrowshahi, Farzad et Yusuf Arayici. 2012. « Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry ». *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 19, n° 6, p. 610-635.

Korde, Tanaya, Mingen Li et Alan D Russell. 2005. « State-of-the-Art Review of Construction Performance Models and Factors ». In *Construction Research Congress*. (2005), p. 1-14.

- Korkmaz, Sinem et Ji Messner. 2010. « High-performance green building design process modeling and integrated use of visualization tools ». *Journal of Architectural Engineering*, vol. 16, p. 37-46.
- Li, Heng, Weisheng Lu et Ting Huang. 2009. « Rethinking project management and exploring virtual design and construction as a potential solution ». *Construction Management and Economics*, vol. 27, n° 4, p. 363-371.
- Lincoln, YS et EG Guba. 1985. *Naturalistic inquiry*.
- Liston, Kathleen, Martin Fischer et Terry Winograd. 2001. « Focused Sharing of Information for Multi-Disciplinary Decision Making by Project Teams ». *ITcon*, vol. 6, p. 69.
- Löfgren, Alexander. 2007. « Mobility In-Site: Implementing Mobile Computing in a Construction Enterprise ». *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 20, p. 594-604.
- Lopez, Robert, Peter E. D. Love, David J. Edwards et Peter R. Davis. 2010. « Design Error Classification, Causation, and Prevention in Construction Engineering ». *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 24, n° 4, p. 399-408.
- Love, P. E. D., P. Mandal et H. Li. 1999. « Determining the causal structure of rework influences in construction ». *Construction Management and Economics*, vol. 17, n° 4, p. 505-517.
- Love, Peter E. D. et Heng Li. 2000. « Quantifying the causes and costs of rework in construction ». *Construction Management and Economics*, vol. 18, n° 4, p. 479-490.
- Love, Peter E.D et Amrik S. Sohal. 2003. « Capturing rework costs in projects ». *Managerial Auditing Journal*, vol. 18, n° 4, p. 329-339.
- Love, Peter E D. 2002. « Influence of Project Type and Procurement Method on Rework Costs in Building Construction Projects ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 128, n° 1, p. 18-29.
- Love, Peter E D, Purnendu Mandal, Jim Smith et Heng Li. 2000. « Modelling the dynamics of design error induced rework in construction ». *Construction Management and Economics*, vol. 18, n° 5, p. 567-574.
- Lyneis, James M, Kenneth G Cooper et Sharon A Els. 2001. « Strategic management of complex projects: a case study using system dynamics ». *System Dynamics Review*, vol. 17, n° 3, p. 237-260.
- Lyneis, James M et David N Ford. 2007. « System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research ». *System Dynamics Review*,

vol. 23, n° 2-3, p. 157-189.

Matthews, Owen et Gregory a. Howell. 2005. « Integrated Project Delivery: An Example of Relational Contracting ». *Lean Construction Journal*, vol. 2, n° April, p. 46-61.

Moreno, Jacob Levy. 1960. « The sociometry reader ».

Morlhon, Romain, Robert Pellerin et Mario Bourgault. 2014a. « Building Information Modeling Implementation through Maturity Evaluation and Critical Success Factors Management ». *Procedia Technology*, vol. 16, n° 0, p. 1126-1134.

Morlhon, Romain, Robert Pellerin et Mario Bourgault. 2014b. « Building Information Modeling Implementation through Maturity Evaluation and Critical Success Factors Management ». *Procedia Technology*, vol. 16, n° 0, p. 1126-1134.

Nasirzadeh, Farnad, Mostafa Khanzadi et Mahdi Rezaie. 2014. « Dynamic modeling of the quantitative risk allocation in construction projects ». *International Journal of Project Management*, vol. 32, n° 3, p. 442-451.

Nasirzadeh, Farnad et Pouya Nojedehi. 2013. « Dynamic modeling of labor productivity in construction projects ». *International Journal of Project Management*, vol. 31, n° 6, p. 903-911.

Nourbakhsh, Mehdi. 2012. « Mobile application prototype for on-site information management in construction industry ». *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 19, n° 5, p. 474-494.

Ocak, Zeynep. 2012. « Systems Dynamics Application in Project Management ». In *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. (2012), p. 1225-1232.

Ogunlana, Stephen O., Heng Li et Fayyaz A. Sukhera. 2003. « System Dynamics Approach to Exploring Performance Enhancement in a Construction Organization ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 129, n° 5, p. 528-536.

Oyewobi, L O, A A Oke, B O Ganiyu, A A Shittu, R B Isa et L Nwokobia. 2011. « The effect of project types on the occurrence of rework in expanding economy ». *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, vol. 2, n° 6, p. 119-124.

Parvan, Kiavash et Ali Haghani. 2012. « Estimating the impact of Building Information Modeling (BIM) utilization on building project performance ». Thesis, Ann Arbor, University of Maryland, College Park.

Pena-Mora, Feniosky et Moonseo Park. 2001. « Dynamic Planning for Fast-Tracking

- Building Construction Projects ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 127, n° 6, p. 445-456.
- Pourtois, Jean-Pierre et Huguette Desmet. 2007. *Épistémologie et instrumentation en sciences humaines*. Mardaga.
- Powney, Janet. et Mike. Watts. 1987. *Interviewing in educational research*. Routledge & Kegan Paul, 205 p.
- Québec (Province). 2015a. *Loi sur les relations du travail, la formation professionnelle et la gestion de la main-d'oeuvre dans l'industrie de la construction (c. R-20). A jour au 1er octobre 2015*.
- Québec (Province). 2015b. *Règlement sur la formation professionnelle de la main-d'oeuvre de l'industrie de la construction: chapitre R-20, r. 8. A jour au 1er octobre 2015..*
- Québec (Province). 2015c. *Règlement sur la qualification professionnelle des entrepreneurs et des constructeurs-propriétaires: C. B-1.1, r. 9.*
- Québec (Province). 2015d. *Code de déontologie des architectes A-21, r. 5.1.*
- Redmond, Alan, Alan Hore, Mustafa Alshawi et Roger West. 2012. « Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM ». *Automation in Construction*, vol. 24, p. 175-183.
- Reed, Bill. 2009. *The integrative design guide to green building: Redefining the practice of sustainability*. John Wiley & Sons.
- Rezgui, Yacine. 2007. « Exploring virtual team-working effectiveness in the construction sector ». *Interacting with Computers*, vol. 19, n° 1, p. 96-112.
- Richardson, George P et Peter Otto. 2008. « Applications of system dynamics in marketing: Editorial ». *Journal of Business Research*, vol. 61, n° 11, p. 1099-1101.
- Richardson, George P et Alexander I Pugh III. 1981. *Introduction to system dynamics modeling with DYNAMO*. Productivity Press Inc.
- Rivard, Hugues. 2000. « A survey on the impact of information technology on the canadian architecture, engineering and construction industry ». *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, vol. 5, n° February, p. 37-56.
- Roberts, Nancy, David F Andersen, Ralph M Deal, Michael S Gareth et William A Shaffer. 1983. *Introduction to computer simulation: the system dynamics approach*. Addison-Wesley Publishing Company.

- Robins, G et P Pattison. 2006. *Multiple networks in organisations*. Melbourne School of Psychological Sciences : The University of Melbourne.
- Rodrigues, Alexandre et John Bowers. 1996. « The role of system dynamics in project management ». *International Journal of Project Management*, vol. 14, n° 4, p. 213-220.
- De Rosnay, Joel. 1997. *Le microscope*. 751 p.
- RS Means Company. 2015. *Building construction cost data*. RS Means Company.
- Ruiz-Dominguez, German Alonso. 2005. *Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance: étude des effets de synchronisation cognitive*.
- Rush, Richard D. et American Institute of Architects. 1986. *The Building systems integration handbook*. Butterworth-Heinemann, 445 p.
- Sawhney, A, K D Walsh, H H Bashford et S Palaniappan. 2009. « Impact of inspected buffers on production parameters of construction processes ». *Journal of construction engineering and management*, vol. 135, n° 4, p. 319-329.
- Secrétariat du Conseil du trésor du Québec. 2016. « seao.ca ». In *CGI*. <<https://www.seao.ca/>>.
- Seidman, Irving. 2013. *Interviewing as qualitative research a guide for researchers in education and the social sciences*. Teachers College Press.
- Senge, Peter M, Alain Gauthier et Hervé Plagnol. 1991. *La cinquième discipline*. First.
- Seresht, Nima Gerami et Aminah Robinson Fayek. 2015. « Application of fuzzy logic integrated with system dynamics in construction modeling ». In *5th International/11th Construction Specialty Conference*. (2015).
- Shen, Weiming, Qi Hao, Helium Mak, Joseph Neelamkavil, Helen Xie, John Dickinson, Russ Thomas, Ajit Pardasani et Henry Xue. 2010. « Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review ». *Advanced Engineering Informatics*, vol. 24, n° 2, p. 196-207.
- Soetanto, Robby, Paul Poh, Stephen Austin, Jane Hao et Constantine Katsanis. 2012. « Communication modes and performance of virtual design teams in an undergraduate building project ». In *Annual Conference of Association of researchers in Construction Management (ARCOM)*. (2012), p. 77-187. ARCOM.
- Sommerville, James. 2007. « Defects and rework in new build: an analysis of the phenomenon and drivers ». *Structural Survey*, vol. 25, n° 5, p. 391-407.

- Sonawane, Rohan. 2004. « Applying system dynamics and critical chain methods to develop a modern construction project management system ». Thesis of master of science, Texas A&M University - Kingsville.
- Song, Lingguang et Simaan M Abourizk. 2008. « Measuring and Modeling Labor Productivity Using Historical Data ». *J. Constr. Eng. Manage*, vol. 134, n° May 2010, p. 786-794.
- Staub-French, Sheryl et Atul Khanzode. 2007. « 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned ». *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, vol. 12, p. 381-407.
- Sterman, J D. 2000. *Buisiness Dynamics*. Jeffrey J. Shelsfud Senior.
- Swan, W, P McDermott, M Khalfan, R Cooper, C Rees et G Wood. 2005. « The development of trust inventory ». *Journal of Construction Procurement*, vol. 11, n° 1, p. 40-54.
- Swan, William, Peter McDermott et Malik Khalfan. 2007. « The application of social network analysis to identify trust-based networks in construction ». *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, vol. 4, n° 4, p. 369-382.
- Sylvestre, Yves. 1988. « Analysis of construction projects using a system dynamics methodology ». Thesis, Montréal, Québec, Canada, Concordia University.
- Tahrani, Souha, Erik a Poirier, Gulnaz Aksenova et Daniel Forgues. 2015. « Structuring the adoption and implementation of BIM and integrated approaches to project delivery across the Canadian AEC industry: challenges and opportunities ». *5th International/11th Construction Specialty Conference (ICSC'15)*, p. 10.
- Terouhid, Seyyed Amin et Robert Ries. 2013. « A dynamic decision support system for organizational sustainability excellence of construction firms ». Thesis, Ann Arbor, University of Florida.
- Thomas, H. Randolph et Iacovos Yiakoumis. 1988. « Factor Model Of Construction Productivity ». *J. Constr. Eng. Manage*, vol. 113, n° 4, p. 623-639.
- Todd, D. Jick. 1979. « Mixing Qualitative and Quantitative Methods: Triangulation in Action ». *Administrative Science Quarterly*, vol. 24, n° 4, p. 602-611.
- Wan, Jiangping et Yaqiong Liu. 2014. « A System Dynamics Model for Risk Analysis during Project Construction Process ». *Open Journal of Social Sciences*, vol. 2, n° 6, p. 451-454.
- Williams, Terry, Colin Eden, Fran Ackermann et Andrew Tait. 1995. « Vicious circles of

parallelism ». *International Journal of Project Management*, vol. 13, n° 3, p. 151-155.

Woo, Sungho, Eunjoo Lee et Tsuyoshi Sasada. 2001. « The multiuser workspace as the medium for communication in collaborative design ». *Automation in Construction*, vol. 10, p. 303-308.

Ximing, Ruan, Ochieng Edward, Price Andrew et Egbu Charles. 2013. « Time for a Real Shift to Relations: Appraisal of Social Network Analysis Applications in the UK Construction Industry ». *Construction Economics and Building*, vol. 13, n° 1, p. 92-105.

Ximing, Ruan, Edward G Ochieng, Andrew D F Price et Charles O Egbu. 2012. « Knowledge integration process in construction projects: a social network analysis approach to compare competitive and collaborative working ». *Construction Management and Economics*, vol. 30, n° 1, p. 5-19.

Yi, Wen et Albert P C Chan. 2014. « Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Journals ». *Journal of Management in Engineering*, vol. 30, p. 214-225.

Yoo, Youngjin, Richard J Boland et Kalle Lyytinen. 2006. « From Organization Design to Organization Designing ». *Organization Science*, vol. 17, n° 2, p. 215-229.

Yuan, Hongping. 2011. « A dynamic model for assessing the effectiveness of construction and demolition waste management ». Degree of Doctor of Philosophy, The Hong Kong Polytechnic University.

Yuan, Hongping et Jiayuan Wang. 2014. « A system dynamics model for determining the waste disposal charging fee in construction ». *European Journal of Operational Research*, vol. 237, n° 3, p. 988-996.

Yum, K.K. 2005. « Why interactive multi-disciplinary collaboration in building design is better than document based design ». <http://www.irbnet.de/daten/iconda/06079010887.pdf>. Consulté le 1 juillet 2015.

Zadeh, L.a. 1965. « Fuzzy sets ». *Information and Control*, vol. 8, n° 3, p. 338-353.

