

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Ing.

PAR
Yoann EUGÉNIE

ÉVALUATION D'UN ESPACE DE TRAVAIL COLLABORATIF ASSISTÉ PAR
ORDINATEUR POUR LA CONCEPTION INTÉGRÉE DES BÂTIMENTS

MONTREAL, LE 11 SEPTEMBRE 2009

© Yoann Eugénie, 2009

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE

M. Daniel Forgues, 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. François Chiocchio, membre du jury
Département de psychologie à l'Université de Montréal

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

LE 19 AOÛT 2009

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon ancien directeur de recherche Hugues Rivard Ing. Ph. D., pour m'avoir proposé le sujet de ce mémoire, pour ses conseils et son soutien aussi bien moral que financier.

Je tiens également à remercier mon directeur de recherche Daniel Forgues Architecte. Ph. D. pour sa patience, son support moral et ses conseils avisés.

Je tiens aussi à remercier Ivanka Iordanova, chargée de cours à l'École d'Architecture de l'Université de Montréal, ainsi que tous les participants à l'étude pour leur volontariat, leur temps précieux et leurs commentaires.

Je tiens ensuite à remercier mes parents, ma sœur et ma grand-mère pour leur appui financier mais surtout pour leur aide morale dans les bons comme les mauvais moments.

Je tiens également à remercier la famille Reeves-Gueto qui m'a chaleureusement accueilli et qui a guidé mes premiers pas à Montréal.

Enfin, je tiens à remercier mes amis de Montréal (Phil, Anthony, Spam, Sébastien, Antonin, Yann, Roman, Antoine, Mélissa, Mathilde, Philippe, Adrien, Charles, Florian, Élodie et Dorothée) et de Paris (Ghassan, Sarah, Julien, Florent, Mitch, Vincent, Julien Bernard, Emma, Maxime, Antoine, Julien) pour tous les bons moments passés pendant mes années montréalaises.

ÉVALUATION D'UN ESPACE DE TRAVAIL COLLABORATIF ASSISTÉ PAR ORDINATEUR POUR LA CONCEPTION INTÉGRÉE DES BÂTIMENTS

Yoann EUGÉNIE

RÉSUMÉ

La conception des bâtiments est un processus social de prise de décisions, d'analyse d'alternatives et d'explorations de solutions dans lequel les professionnels de l'industrie de la construction doivent collaborer afin de délivrer un produit répondant aux exigences définies par le client. Mais l'industrie se trouve confrontée à des problèmes de fragmentation et de séquentialisation du processus de conception. Ces deux phénomènes génèrent des îlots opérationnels qui dégradent la communication et la collaboration des équipes de projet, aboutissant ainsi à des solutions sous-optimales et des bâtiments aux performances inadéquates. Pourtant, les bâtiments doivent aujourd'hui satisfaire des exigences de plus en plus élevées sur le plan des coûts, de la qualité, et des performances générales. Les professionnels de l'industrie se retrouvent donc confrontés au besoin d'adopter de nouvelles pratiques favorisant la conception intégrée et l'intégration des technologies de l'information.

Ce projet de recherche aborde cette problématique en présentant un espace de travail collaboratif assisté par ordinateur (le LCAOCo) unique au Québec et au Canada, combinant des équipements et des technologies visant à offrir l'environnement collaboratif digital idéal en conception. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des outils de collaboration mis en place dans le LCAOCo sur les réunions de conception multidisciplinaires synchrones au même endroit. La méthode d'évaluation employée dans ce projet est inspirée de la méthode Test Charrette, et la stratégie de mesure de performance utilisée est basée sur le découpage d'une réunion de projet en tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives. Cette méthode et cette stratégie ont permis de comparer la collaboration traditionnelle d'une équipe utilisant le papier comme support des artefacts de conception à la collaboration digitale dans le LCAOCo.

Les résultats de la recherche montrent que les outils de collaboration du LCAOCo ont un impact globalement favorable. Ils permettent à une équipe de conception de consacrer plus de temps sur des tâches prédictives qui sont des tâches d'explorations d'alternatives, donc sources d'innovation. Enfin, les outils numériques tendent à faciliter les interactions entre les concepteurs d'un bâtiment et les versions digitales des artefacts de conception.

Mots-clés : conception intégrée, collaboration multidisciplinaire, espace de travail collaboratif assisté par ordinateur, artefacts

ÉVALUATION D'UN ESPACE DE TRAVAIL COLLABORATIF ASSISTÉ PAR ORDINATEUR POUR LA CONCEPTION INTÉGRÉE DES BÂTIMENTS

Yoann EUGÉNIE

ABSTRACT

Building design is a social process where professionals of the AEC industry analyse alternatives and explore design solutions. More importantly, these professionals have to collaborate in order to deliver a product that satisfies the requirements defined by the clients. But the AEC industry is fragmented and the design process is linear. These two phenomena create operating islands that degrade communication and collaboration within a project team, often leading to non optimal solutions and building with insufficient performances. Yet, costs, quality and general building performances requirements are getting higher and higher. AEC professionals have thus to adopt new practices promoting integrated design and information technology integration.

This research project focuses on this problematic presenting a unique computer supported collaborative workspace in Quebec and in Canada called LCAOCo. This workspace integrates equipments and technologies aimed to offer the ideal digital collaborative environment in construction. The goal of the study is to assess the impacts of the LCAOCo's collaborative tools on co-located building design meetings. The evaluation method is inspired by the Charrette Test method, and the performance strategy is based on the division of project meetings in descriptive, explicative, evaluative and predictive tasks. The method and the strategy allowed comparing traditional paper-based collaboration to digital-based collaboration in the LCAOCo.

The research results revealed that the LCAOCo's collaborative tools had positive impact. They enabled a project team to spend more time on predictive tasks that are tasks associated to alternatives exploration and innovation. Finally, numeric tools eased interactions between designers and digital versions of the design artefacts.

Keywords: integrated design, multidisciplinary collaboration, computer supported collaborative workspace, artefacts

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 La phase de conception.....	5
1.2.1 Les étapes du processus de conception.....	5
1.2.2 Importance du processus de conception	5
1.2.3 Importance du design conceptuel.....	7
1.3 Conception et collaboration multidisciplinaire.....	7
1.3.1 Besoin de collaboration multidisciplinaire	8
1.3.2 Les freins à la collaboration multidisciplinaire.....	8
1.3.3 Impacts de la fragmentation et de la séquentialisation du processus de conception sur la collaboration des équipes de projet	10
1.4 L'approche intégrée en conception.....	12
1.4.1 Définition du processus de conception intégrée	12
1.4.2 Principes de base du processus de conception intégrée.....	13
1.4.3 Rôles de la charrette de conception	14
1.4.4 Avantages du processus de conception intégrée.....	16
1.5 La collaboration multidisciplinaire et les technologies de l'information	17
1.5.1 La collaboration multidisciplinaire synchrone et au même endroit.....	18
1.5.2 Les artefacts de conception comme support de la collaboration multidisciplinaire	19
1.5.3 Le papier comme support traditionnel des artefacts lors des réunions de conception	19
1.5.4 Les limites des réunions ayant le papier comme support de l'information	21
1.5.5 La collaboration et l'interopérabilité	25
1.5.6 Le besoin de nouveaux environnements de travail collaboratif.....	27
1.5.7 Les espaces de travail collaboratif assistés par ordinateur.....	28
1.6 Les barrières à l'adoption des T.I. en Construction.....	36
1.6.1 Les barrières légales et culturelles	37
1.6.2 Les barrières financières et techniques	38
1.7 Résumé.....	38
CHAPITRE 2 MÉTHODE DE RECHERCHE.....	42
2.1 Exigences de la méthode.....	42
2.2 Variable principale, variables dépendantes, objectif et hypothèses à examiner	42
2.3 Choix d'une méthode.....	44
2.4 La méthode de Test Charrette.....	45
2.4.1 Échantillon	46
2.4.2 Scénario d'étude.....	47

2.5	Collecte des résultats.....	47
2.6	Discussion sur la méthode de recherche employée.....	48
2.6.1	Limitations dans l'utilisation de la méthode de recherche employée.....	48
2.6.2	Forces de la méthode de recherche employée.....	49
2.7	Structure du chapitre « Résultats de la recherche »	50
CHAPITRE 3 LE LABORATOIRE DE COLLABORATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR EN CONCEPTION.....		51
3.1	Présentation du LCAOCo	51
3.2	Le mobilier du LCAOCo	51
3.3	Les technologies du LCAOCo	53
3.4	Les Écrans Géants.....	54
3.5	TeamSpot™	55
3.5.1	Structure de TeamSpot™.....	55
3.5.2	Fonctions de TeamSpot™.....	57
3.6	Le Logiciel ActivStudio® et les logiciels classiques de conception	62
CHAPITRE 4 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE		64
4.1	Résultats tirés des analyses vidéos.....	64
4.1.1	Temps par types de tâches	64
4.1.2	Différences d'utilisation des artefacts en fonction du type de collaboration	66
4.2	Résultats tirés des questionnaires.....	70
4.2.1	Auto-évaluations des participants	71
4.2.2	Commentaires des participants de l'équipe de conception ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle.....	74
4.2.3	Commentaires des participants de l'équipe de conception ayant travaillé dans le LCAOCo.....	76
4.3	Vérification des hypothèses de départ	81
CHAPITRE 5 INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS.....		83
CONCLUSION.....		86
RECOMMANDATIONS		90
ANNEXE I	PROTOCOLE D'OBSERVATION.....	92
ANNEXE II	SCÉNARIO D'ÉTUDE : PROGRAMME ARCHITECTURAL D'UNE SALLE DE SPECTACLE.....	94
ANNEXE III	QUESTIONNAIRE UTILISÉ POUR LA COLLECTE DES RÉSULTATS.....	97
LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		99

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Nombre de tâches accomplies par les équipes de conception en fonction de la méthode de collaboration18
Tableau 1.2	Composition des équipes de conception observées46
Tableau 4.1	Nombre de tâches accomplies par les équipes de conception en fonction de la méthode de collaboration65
Tableau 4.2	Temps passé par les équipes de conception par type de tâches en fonction de la méthode de collaboration65

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Impact des décisions prises sur le coût et les économies potentielles en fonction de la phase du cycle de vie d'un bâtiment	6
Figure 1.2	Représentation de la fragmentation verticale et horizontale de l'industrie de la construction.....	9
Figure 1.3	Disciplines souhaitables à intégrer lors d'une charrette de conception	15
Figure 1.4	Impacts (effort/effet) des décisions prises en fonction de la phase du cycle de vie d'un bâtiment	17
Figure 1.5	Réunion de conception typique avec le papier comme support de l'information de projet	20
Figure 1.6	Réunion de conception typique où l'information de projet est accrochée aux murs	21
Figure 1.7	Comparaison du temps passé par tâche selon les pratiques de collaboration	22
Figure 1.8	Recherche d'information pertinente au mur (a) et dans un feuillet papier (b) lors d'une réunion de conception	23
Figure 1.9	Représentation du VR-EVE de Seppo Äyräväinen	29
Figure 1.10	Trois concepteurs du HUT-600 examinent un détail du hall dans le VR-EVE	30
Figure 1.11	Vue d'ensemble du i-Land et de ses composants interactifs	31
Figure 1.12	Exemple de ConnecTable et CommonChair.....	33
Figure 1.13	Schéma de l'iRoom de l'université de Stanford	35
Figure 1.14	Exemple de réunion de conception dans le iRoom.....	36
Figure 3.1	Vue générale du LCAOCo.....	52
Figure 3.2	Une table du LCAOCo.....	52
Figure 3.3	Configurations géométriques réalisables grâce aux tables du LCAOCo.....	53

Figure 3.4	Les écrans géants interactifs du LCAOCo.....	54
Figure 3.5	Exemple d'environnement de travail collaboratif TeamSpot™ à trois larges écrans publics	56
Figure 3.6	Le mini panneau TeamSpot™	58
Figure 3.7	Exemple d'utilisation de la fonction PointRight.....	59
Figure 3.8	Transfert de fichier entre tous les participants de la réunion	60
Figure 3.9	Exemple d'échange de fichier grâce à la fonction CrossWarp	60
Figure 3.10	Le mini panneau TeamSpot™ et le menu « Archive ».....	61
Figure 3.11	Interface du menu « Archive » de TeamSpot™	61
Figure 3.12	Exemple d'utilisation des tableaux géants interactifs et du logiciel ActivStudio®.	63
Figure 4.1	Collaboration traditionnelle autour de documents papiers (a), et collaboration digitale autour d'un écran interactif du LCAOCo (b).....	67
Figure 4.2	Capture d'écran du bâtiment conçu et annoté numériquement (a) et vue de dessus de l'implantation sur site (b).	69
Figure 4.3	Auto-évaluations du rencontre du standard de performance des membres de chaque équipe.....	71
Figure 4.4	Auto-évaluations de la performance des membres des équipes par rapport au reste du groupe.....	72
Figure 4.5	Auto-évaluations de la contribution des membres à l'efficacité de leur équipe.....	73
Figure 4.6	Évaluation par les participants à l'étude de l'utilité de la formation sur les technologies du LCAOCo.	77
Figure 4.7	Évaluation par les participants à l'étude de l'utilisation individuelle des technologies du LCAOCo.	78
Figure 4.8	Évaluation par les participants à l'étude de l'utilisation faite par l'équipe des technologies du LCAOCo.	79
Figure-A III.1	Première partie du questionnaire d'évaluation	97
Figure-A III.2	Seconde partie du questionnaire d'évaluation	98

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
4D	Quatre dimensions
AEC	Architecture Engineering Construction
BEACH	Basic Environment for Active Collaboration with Hypermedia
BIM	Building Information Modeling
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CST	Conseil de la science et de la technologie
Dr	Docteur
ÉTS	École de technologie supérieure
IAI	International Alliance for Interoperability
IFC	Industry Foundation Classes
LCAOCO	Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception
PCI	Processus de conception intégrée
TI	Technologies de l'information
VR-EVE	Virtual Reality–Experimental Virtual Environment

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

cm centimètre

h heure

kPa kilopascal

m mètre

min minute

s seconde

INTRODUCTION

Le but de l'industrie de la construction est de créer un environnement adapté à la vie moderne dans lequel les gens peuvent vivre, jouer et travailler. Le bâtiment, aussi bien résidentiel que non résidentiel, est un besoin fondamental de l'espèce humaine. Mais comme toutes les activités humaines, la construction de bâtiments contribue à long terme à la dégradation environnementale, aux changements climatiques, et aux problèmes de santé publique. Tout au long de leur cycle de vie, les bâtiments ont des répercussions sur la qualité de vie, la santé et la productivité de l'homme, mais aussi sur son environnement. C'est pendant la phase de conception que les membres d'une équipe de projet peuvent le mieux exercer une influence favorable, et réduire les impacts négatifs des bâtiments. Car c'est pendant cette étape du cycle de vie du bâtiment que les décisions capitales (forme, orientation, enveloppe, structure, systèmes mécaniques et électriques) sont prises.

Le processus de conception d'un bâtiment est un processus itératif de prise de décision durant lequel les professionnels de l'industrie de la construction aux champs d'expertise variés collaborent afin d'élaborer un concept répondant au mieux aux exigences du client. Cependant, l'industrie de la construction est confrontée à des problèmes de fragmentation verticale (c'est-à-dire entre les phases d'un projet) et horizontale (c.-à-d. entre les différentes disciplines d'une équipe de projet) qui nuisent à ce processus. Les conséquences principales de la fragmentation de l'industrie de la construction sont une détérioration de la coordination, de la communication, et de la collaboration des membres d'une équipe de projet. Combinée à l'approche traditionnelle séquentielle dans laquelle les professionnels adaptent leurs concepts aux décisions prises en amont, la fragmentation peut, selon certains chercheurs, conduire à un manque d'innovation, à des solutions sous optimales et à des bâtiments aux performances inadéquates. L'approche traditionnelle en conception montre ainsi ses limites. La volonté d'optimiser les performances des bâtiments, combinée à la prise de conscience que l'ensemble des disciplines (architecture, structure, mécanique, électricité, plomberie) sont interdépendantes, pousse les professionnels de l'industrie la construction à une modification des pratiques courantes et notamment à l'intégration.

Le processus de conception intégrée (ou PCI) est une approche holistique de la conception qui consiste à faire travailler ensemble les intervenants (propriétaires, occupants, architectes, ingénieurs, consultants) impliqués dans un projet de construction, et ce du début à la fin de la phase de conception d'un bâtiment. Dans un PCI, les décisions capitales sont prises en commun et non plus de façon séquentielle. Mener à bien un PCI requiert la définition d'objectifs clairs et partagés par l'équipe dès le début du projet, l'implication totale de ses membres, l'établissement d'un esprit de confiance et de partage des bénéfices et des risques liés à la conception, l'établissement de consensus autour des décisions à prendre, ainsi que l'utilisation des bons outils au bon moment. L'attention du Dr Hugues Rivard, professeur à l'École de technologie supérieure, s'est portée sur ce dernier point. Et plus particulièrement sur la problématique du besoin en nouveaux outils permettant de faciliter la collaboration entre les membres d'une équipe de projet de construction lors de leurs réunions de conception. Ce projet de recherche se place dans ce contexte, et aborde cette problématique en présentant un nouveau type de salle de réunion interactive : le Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception (ou LCAOCo), dont la mission est d'offrir aux professionnels de la construction un environnement de travail collaboratif assisté par ordinateur permettant d'optimiser leur travail d'équipe, de favoriser l'innovation, et d'encourager une modification des pratiques actuelles de collaboration en conception. L'objectif principal de la recherche est d'évaluer l'impact du LCAOCo sur les performances des équipes de projet de construction. Le premier sous objectif de la recherche est de comparer les méthodes traditionnelles de conception (réunion avec support papier) aux méthodes assistées par ordinateur. Le deuxième sous objectif de la recherche est d'identifier les impacts des technologies de l'information sur le contenu des réunions de conception intégrée des bâtiments.

La question de recherche est la suivante : Les outils de collaboration du LCAOCo permettent-ils d'augmenter l'efficacité des équipes multidisciplinaires de projet lors des réunions de conception ?

Afin de répondre à cette question et d'atteindre l'objectif principal de la recherche, il s'agira dans un premier temps, dans le premier chapitre qui correspond à la revue de la documentation scientifique, d'étudier les limites des réunions utilisant les documents papiers comme support de communication ainsi que les avancées en matière d'espaces interactifs assistés par ordinateur en collaboration dans le domaine de la construction. Le deuxième chapitre décrira la méthode d'évaluation utilisée pour ce projet de recherche. La méthode employée est inspirée de la méthode de test charrette dans laquelle des équipes de projets multidisciplinaires composées d'étudiants francophones travaillent sur un scénario commun dans un temps donné en se servant des deux méthodes de collaboration différentes (une équipe travaille dans le LCAOCo, une autre travaille dans une salle de réunion traditionnelle). Le troisième chapitre présentera l'environnement utilisé ainsi que les outils de collaboration mis en place dans le LCAOCo. Le quatrième chapitre présentera les données recueillies à l'aide de questionnaires et d'enregistrements vidéos. Enfin, le cinquième chapitre sera consacré à l'interprétation des données recueillies, permettant ainsi de déterminer l'impact des technologies de l'information sur les réunions de conception des équipes de projet de construction.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Introduction

Le cycle de vie d'un bâtiment peut être découpé en quatre phases majeures qui sont la réalisation, l'opération, la rénovation et enfin la démolition. La phase de réalisation est elle-même divisible en trois étapes qui sont la faisabilité, la conception (ou design) et la construction (Meniru et al. 2005). L'étape de faisabilité regroupe la reconnaissance des besoins, la programmation architecturale, la définition du budget du projet et la définition de l'équipe. La conception est l'étape où toutes les caractéristiques du bâtiment sont définies et retranscrites en plans détaillés pour en permettre la construction (Venables et al. 2000). Elle est donc l'étape clé du cycle de vie d'un bâtiment car c'est pendant cette étape que les professionnels peuvent le mieux exercer une influence favorable, et réduire les impacts négatifs du bâtiment (Zimmerman 2004).

Ce premier chapitre se focalise sur la collaboration multidisciplinaire synchrone au même endroit des équipes de projet lors de l'étape de conception d'un bâtiment. La revue de la documentation scientifique donne d'abord une définition du processus de conception et de la collaboration multidisciplinaire. Puis elle fait état de l'approche traditionnelle en conception ainsi que des freins à la collaboration multidisciplinaire. La revue présente ensuite l'approche intégrée en conception ainsi que ses avantages. Elle se poursuit par l'étude des outils de collaboration traditionnels utilisés par les professionnels lors des réunions de conception, et l'étude de leurs limites. Enfin, le chapitre se termine par l'état des avancées au niveau de l'intégration d'outils de collaboration digitaux lors des réunions de conception synchrones au même endroit.

1.2 La phase de conception

Tory et al. (2008) définissent la conception comme un processus itératif d'exploration et d'analyse de plusieurs alternatives. Mora et al. (2006) définissent aussi la phase de conception comme un processus itératif, et ils la divisent en trois étapes de raffinement qui sont : le design conceptuel, le design préliminaire et le design détaillé.

1.2.1 Les étapes du processus de conception

Le design conceptuel est la première étape de la phase de conception du bâtiment. C'est l'étape où les caractéristiques principales du bâtiment (forme, dimensions, configuration intérieure des espaces) sont déterminées. C'est aussi pendant cette étape que sont générées les alternatives de conception potentielles. Ces alternatives sont aussi évaluées rapidement afin de déterminer quelle solution est la plus prometteuse (Rivard et Bédard, 2004).

Le design préliminaire est l'étape où la conception d'un bâtiment atteint un niveau de résolution plus abouti. Pendant cette étape, la conception d'un bâtiment est plus poussée et les alternatives analysées de manière plus pointue (analyses d'efficacité énergétique possibles, raffinement de l'estimation des coûts) afin d'atteindre des solutions optimales au niveau de l'enveloppe, de la structure, des systèmes mécaniques et électriques, mais aussi sur le plan du design intérieur (Rivard et Bédard, 2004).

Enfin, le design détaillé est l'étape où le bâtiment envisagé dans les précédentes étapes est complètement défini. C'est à cette étape que sont définis les éléments du bâtiment en plans détaillés et en devis qui serviront aux entrepreneurs sélectionnés pour la construction (Venables et al. 2000).

1.2.2 Importance du processus de conception

La phase de conception est la phase clé dans le processus de réalisation d'un bâtiment, car toutes les décisions concernant l'enveloppe, la structure, les systèmes mécaniques, les

systèmes électriques, le design intérieur et l'aménagement des espaces sont prises pendant cette étape (Mora et al. 2006).

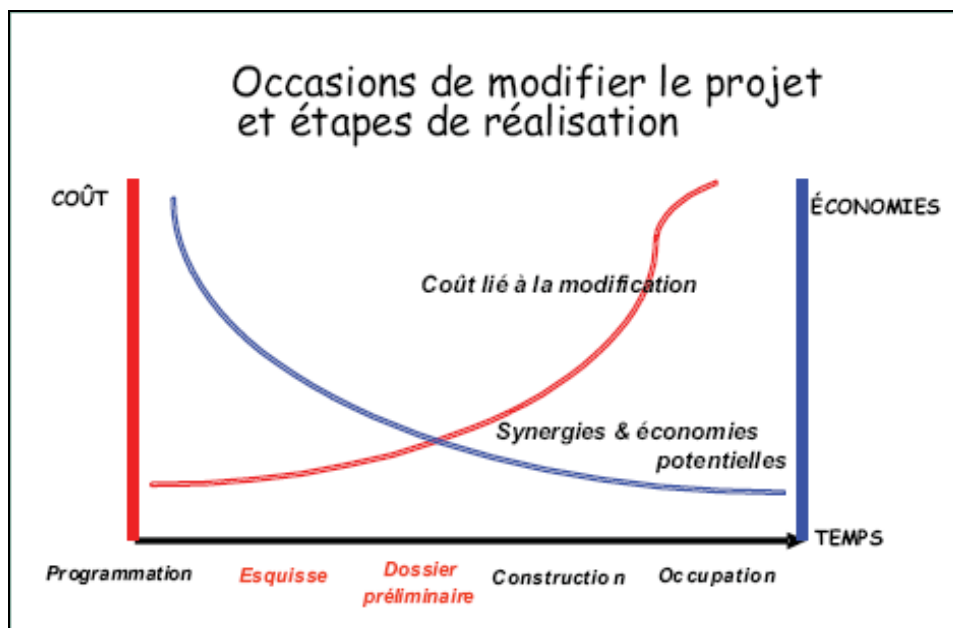


Figure 1.1 Impact des décisions prises sur le coût et les économies potentielles en fonction de la phase du cycle de vie d'un bâtiment.

Tiré de Kibert (2008, p. 87)

La figure 1.1 révèle que l'impact des décisions sur les synergies et les économies potentielles est plus important lors de la phase de conception que dans n'importe quelle autre phase du cycle de vie de ce même bâtiment (courbe descendante). La figure 1.1 montre aussi que les coûts associés à des changements dans la conception sont moins élevés s'ils sont effectués pendant la phase de conception (courbe montante).

Les études de Koskela (1992) et d'Undurraga (1996) confirment ces tendances. Ces études ont respectivement montré que 78% des problèmes de qualité d'un bâtiment sont directement liés à la conception, et qu'environ 20% à 25% de la période de construction d'un bâtiment est perdue en raison de défaillances dans sa conception. C'est donc pendant la phase de conception qu'il est possible d'influer le plus sur la qualité d'un bâtiment et donc de réduire ses impacts négatifs sur la santé de ses occupants et sur l'environnement. Une bonne gestion

de la phase de conception est donc essentielle à la délivrance d'un projet rentable et de qualité (Chua et Tyagi, 2003).

1.2.3 Importance du design conceptuel

Mora et al. (2006) affirment que les décisions les plus importantes (forme, dimension, architecture du bâtiment, configuration des espaces intérieurs) concernant le bâtiment envisagé sont prises pendant la phase de design conceptuel. Les recherches menées par Fenves et al. (2000) confirment ces tendances. En effet, selon, eux, les décisions prises lors de la phase de design conceptuel ont un impact majeur sur la faisabilité, le coût, la qualité et les performances générales du bâtiment à réaliser. De plus, apporter des modifications au concept requiert moins de ressources, d'efforts et de temps pendant la phase de design conceptuel que pendant toutes les autres phases du processus de conception. Enfin, selon Navin (1994), l'étape du design conceptuel représente un moment idéal pour l'innovation, la créativité et le repérage des bonnes et des mauvaises habitudes de travail.

1.3 Conception et collaboration multidisciplinaire

Les équipes de projet de construction sont par nature composées de professionnels aux champs d'expertise variés (client, architectes, ingénieurs en structure, ingénieurs en systèmes mécaniques et électriques, entrepreneurs, consultants divers) (Liston et al. 2001). Kuntz et Rittel (1970) définissent le processus de conception comme un processus social dans lequel ces professionnels de l'industrie de la construction formulent simultanément des déclarations à propos des problèmes rencontrés et des déclarations à propos des solutions possibles à ces problèmes. Gero (1990) et Schön (1991), quant à eux, définissent le processus de conception comme un processus de prise de décision, d'exploration et d'apprentissage dans lequel les professionnels de l'industrie de la construction développent des exigences fonctionnelles, proposent des concepts potentiels, analysent les comportements de ces concepts en respect avec leurs fonctions, et enfin décident quelles options satisfont le plus efficacement aux exigences du client. Pour Woo et al. (2001), le processus de conception inclut l'échange

d'information entre des individus, des organisations, ainsi que des discussions entre les membres d'une équipe de projet.

1.3.1 Besoin de collaboration multidisciplinaire

Des définitions du processus de conception, découle la notion de collaboration entre les membres d'une équipe de projet. Schreyer et al. (2005) confirment que la prise de décision dans le processus de conception est le fait d'une collaboration et de l'application de connaissances multidisciplinaires d'une équipe de projet qui est elle même multidisciplinaire. Ainsi, chaque discipline contribue à l'effort commun en apportant sa part de connaissances spécifiques (Arias et al. 2000; Tory et al. 2008). Le succès de l'étape de conception d'un bâtiment est donc le plus probable quand les différents professionnels collaborent efficacement, spécialement dans les premières phases du projet (Howard et al. 1989; Bédard et al. 1991).

1.3.2 Les freins à la collaboration multidisciplinaire

La collaboration des membres d'une équipe de projet de construction est freinée par la nature même de l'industrie de la construction. C'est en effet une industrie particulière où chaque produit est unique et érigé une seule fois dans un environnement qui lui aussi est unique. Mais les principaux freins à la collaboration des équipes de projet sont la fragmentation de l'industrie de la construction ainsi que la linéarité du processus de conception (Dupagne 1991).

La fragmentation de l'industrie de la construction

Le problème fondamental de l'industrie de la construction est la fragmentation (Liston et al. 2000b; Betts et Yang 2004; Schreyer et al. 2005). La figure 1.2 illustre cette fragmentation qui est à la fois horizontale entre les différentes phases d'un projet (c.-à-d. planification, conception et construction), et verticale entre les différentes spécialités d'une équipe de projet (client, architecte, ingénieurs spécialisés, entrepreneur général, consultants).

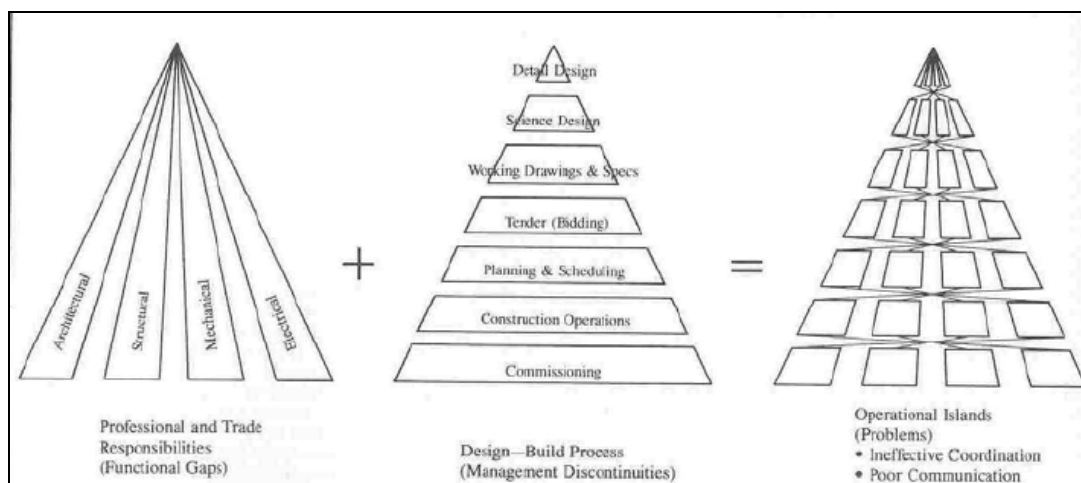


Figure 1.2 Représentation de la fragmentation verticale et horizontale de l'industrie de la construction.

Tiré de Rush (1986, p. 266)

La fragmentation se reflète dans la composition du secteur de la construction qui est constitué d'une multitude de petites compagnies spécialisées et dispersées géographiquement avec des partenariats qui changent à chaque projet et entre les phases d'un même projet. A titre d'exemple, il y a au Canada plus de 260 000 entreprises dans le secteur de la construction. L'industrie compte plus de 65 000 entreprises spécialisées dans la construction résidentielle et près de 150 000 entrepreneurs spécialisés. Mais bien que l'industrie de la construction compte parmi celles qui emploient le plus grand nombre de personnes, la grande majorité des entreprises compte cinq employés ou moins. Ainsi, dans le secteur résidentiel, près de 90% des entreprises comptent cinq employés ou moins, et dans le secteur non résidentiel, ce sont près de 70% des entreprises qui comptent cinq employés ou moins (Conseil sectoriel de la construction, 2009).

La linéarité du processus de conception

L'approche traditionnelle en conception de bâtiments est dite séquentielle, ou linéaire (Rush 1986). Le processus est généralement mené par l'architecte qui retranscrit les exigences définies par le client dans la phase de programmation, afin d'élaborer un concept (forme,

orientation, fenestration, aspect extérieur général) de bâtiment (Chua et Tyagi, 2003). Les ingénieurs spécialisés et autres consultants se servent ensuite du concept établi par l'architecte pour prendre les décisions concernant la structure, les matériaux, les systèmes mécaniques et électriques, et le processus de construction. Les estimateurs déterminent ensuite les coûts associés au projet (Larsson 2005).

Dans le processus de conception traditionnel, les décisions dans une discipline sont souvent prises indépendamment des autres disciplines. Les ingénieurs spécialisés et les consultants n'interviennent généralement que dans les étapes plus avancées de la conception, et leur responsabilité se trouve ainsi limitée à faire fonctionner leurs solutions avec le concept prévu par l'architecte (Rush 1986). De plus, les ingénieurs spécialisés travaillent généralement chacun de leur côté et ignorent ce que les autres disciplines préparent. Les différentes disciplines d'une équipe de projet de construction ne collaborent que pour confirmer que leurs solutions de conception sont compatibles entre elles. Il n'y a pas de concertation afin de déterminer des solutions optimales globales (Chua et Tyagi, 2003).

1.3.3 Impacts de la fragmentation et de la séquentialisation du processus de conception sur la collaboration des équipes de projet

Les études de Yum (2005) et de Betts et Yang (2004) ont révélé de nombreux problèmes liés à la fragmentation de l'industrie de la construction tels :

- Le manque d'incitatifs financiers au travail collaboratif des professionnels.
- La difficulté pour une équipe de projet d'identifier des priorités communes.
- Les changements de partenaires, d'un projet à l'autre, et entre les différentes phases d'un projet, qui rendent difficiles la coordination et la confiance entre les partenaires.
- La transmission des responsabilités d'un partenaire à l'autre en fonction de la phase du projet. Les membres d'une équipe de projet ne partagent pas les responsabilités en cas de défaillances. Ils se débarrassent de ces responsabilités une fois leur contribution apportée.
- Le manque de coordination globale, régionale, et interdisciplinaire des activités de conception.

La séquentialisation du processus de conception entraîne une dégradation de la coordination et des communications à l'intérieur des équipes de projet de construction. L'impact majeur est qu'avec l'approche traditionnelle séquentielle, la majorité des décisions prises dans une discipline (architecture, enveloppe, structure, économie, mécanique) se font sans tenir compte des autres disciplines impliquées, alors qu'elles sont toutes en interaction (Fruchter 1999). En réduisant l'interaction entre les disciplines, la séquentialisation du processus de conception diminue la capacité d'innovation des équipes de projet. La capacité d'innovation aussi minimisée par le fait que le processus séquentiel traditionnel de conception force les intervenants d'un projet à adapter leurs solutions aux décisions prises en amont sans qu'aucune consultation ne soit effectuée (CST 2003). De plus, comme le montre la figure 1.2, la double fragmentation de l'industrie de la construction aboutit généralement à des îlots opérationnels qui détériorent la coordination, la communication et la collaboration des membres d'une équipe de projet (Rush 1986).

Les recherches de Chua et Tyagi (2003) montrent que la séquentialisation du processus de conception et le manque d'interaction entre les disciplines conduisent souvent à des conflits de conception qui ne sont détectés que dans les phases tardives du processus, et qui obligent les concepteurs à de nombreuses révisions de leurs solutions. Pour Chua et Tyagi, le processus de conception traditionnel est en proie à de longues boucles de révisions qui ont généralement lieu pendant la phase de design détaillé. Mais, à ce stade de la conception, beaucoup de ressources (temps, efforts, argent) ont déjà été consommées afin de préparer les plans détaillés. Effectuer n'importe quel changement dans ces mêmes plans entraîne une augmentation significative des coûts de conception, avec de nouvelles solutions souvent non optimales. Chua et Tyagi concluent enfin que la collaboration entre les membres d'une équipe de projet est principalement passive et que l'interaction entre les disciplines est essentiellement déclenchée par des conflits. Conflits qui sont soit potentiels (repérés par un spécialiste en conception), ou détectés pendant l'analyse de compatibilités des solutions des différentes disciplines.

Larsson (2005) confirme les conclusions de Chua et Tyagi. Il ajoute aussi que l'implication des ingénieurs spécialisés et autres consultants à une étape avancée de la conception rend souvent l'optimisation du concept difficile voire impossible. Enfin, l'implantation de systèmes hautes performances et de solutions innovantes ne résulte souvent qu'en une faible amélioration de la performance du bâtiment conçu, associé à des coûts de conception élevés à cause des incompatibilités ou de mauvaises décisions initiales de conception.

Enfin, les études de Rush (1986) confirment que la fragmentation et la séquentialisation détériorent la coordination et la communication entre les disciplines et les phases d'un projet. Il ajoute aussi que les solutions de conception sont généralement sous-optimales, ce qui conduit les bâtiments à atteindre des performances inadéquates (performances qui se répercutent sur la santé des occupants et sur l'environnement). Rush conclut enfin que la fragmentation et la séquentialisation du processus de conception entraînent une augmentation des coûts pour parer aux imprévus, et d'innombrables défaillances qui coûtent des millions de dollars en réparations et en litiges chaque année.

1.4 L'approche intégrée en conception

Le processus de conception intégrée est apparu au Canada pour la première fois au début des années 1990 dans le cadre du programme de Ressources naturelles Canada qui soutient la conception de bâtiments commerciaux éco-énergétiques et d'avant-garde : le programme C-2000 (Zimmerman 2004).

1.4.1 Définition du processus de conception intégrée

Le processus de conception intégrée (ou PCI) est une approche holistique (Kibert 2008) de la conception qui consiste à faire travailler ensemble les intervenants (client, architectes, ingénieurs, entrepreneurs, consultants, occupants) impliqués dans un projet de construction de bâtiment, et ce du début à la fin de la phase de conception afin d'en optimiser les performances (Larsson 2005). Contrairement au processus de conception traditionnel, le PCI

ouvre le dialogue entre les disciplines. Il vise ainsi à trouver des solutions créatives et collaboratives au défi que représentent la conception et la construction (Kibert 2008).

Dans le processus de conception intégrée, le client joue un rôle plus important que dans le processus de conception standard. L'architecte devient le meneur de l'équipe de projet plutôt qu'un simple concepteur de forme. Les ingénieurs en structure et en mécanique interviennent beaucoup plus tôt dans le processus de conception, et ils jouent un rôle plus actif. L'équipe de projet peut inclure un spécialiste en analyse énergétique, et parfois un facilitateur de conception. Enfin, différents spécialistes (éclairage, ensoleillement et vent) peuvent se joindre à l'équipe en temps opportun pour les aider à adresser des problématiques spécifiques (Larsson 2005).

1.4.2 Principes de base du processus de conception intégrée

Réunir les intervenants d'un projet autour d'une même table n'est pas suffisant pour mener à bien un processus de conception intégrée. Quelques principes de base sont nécessaires comme :

- Insuffler à l'équipe de projet un esprit de coopération, de confiance et de partage des profits, mais aussi des risques liés à la conception (Yum 2005).
- Définir des cibles et des objectifs communs clairs dès le début du projet. Les membres de l'équipe de projet doivent travailler ensemble pour satisfaire ces objectifs et délivrer un produit de qualité au client (Yum 2005).
- Établir un budget global pour le bâtiment à concevoir. L'établissement des coûts des composants du bâtiment (structure, systèmes mécaniques, systèmes de chauffage et de ventilation) ne doit pas se faire séparément mais conjointement. La vision holistique (importance du tout par rapport aux parties) doit être privilégiée, car des dépenses supplémentaires dans une discipline peuvent mener à une réduction des coûts dans une autre discipline. À titre d'exemple, un système de vitrage haute performance (meilleure isolation thermique) entraînera probablement l'utilisation d'un système de chauffage et

de climatisation moins volumineux et moins consommateur d'énergie. Une augmentation des coûts du système de vitrage entraînera alors une réduction des coûts du système de ventilation (Zimmerman 2004; Larsson 2005).

- Encourager la participation active des membres de l'équipe (Kibert 2008).
- Encourager les discussions sur l'importance relative de certaines performances, et établir des consensus entre le client et les concepteurs, mais aussi entre les concepteurs, afin de prendre les meilleures décisions et de bâtir la solution optimale (Lindsey et al. 2003).
- Faire intervenir des spécialistes (propriétaire, facilitateur en matière de conception, consultants en coûts, expert en modélisation énergétique, expert en éclairage, entrepreneur général ou gestionnaire de contrat) aux moments opportuns pour des consultations avec l'équipe de projet, et ce, afin d'apporter des compétences que l'équipe de base ne possède pas forcément (Zimmerman 2004; Kibert 2008).
- Prévoir des réunions de conception, aussi appelées charrettes de conception, réunissant les membres de l'équipe de projet ainsi que les personnes influençant le projet (Lindsey et al. 2003). C'est pendant la charrette que sont bâtis les consensus entre les membres de l'équipe de projet, que sont identifiées les inconsistances (Fruchter 1999), et que sont développées en commun les solutions aux problèmes rencontrés.
- Utiliser les bons outils aux bons moments. Notamment les technologies de l'information et les outils d'aide à la collaboration qui peuvent optimiser la collaboration des équipes de projets de construction (CST 2003).

1.4.3 Rôles de la charrette de conception

Lindsey et al. (2003) décrivent la charrette de conception comme étant une session de concentration intensive, étalée sur plusieurs jours, qui réunit les personnes influençant un projet de construction, et pendant laquelle ils créent des concepts multidisciplinaires réalistes. La figure 1.3 expose les disciplines qu'il est souhaitable d'intégrer lors d'une charrette de conception.

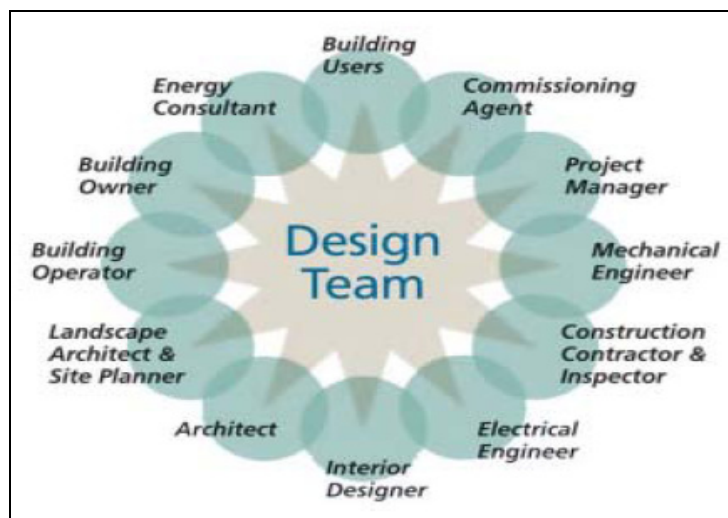


Figure 1.3 Disciplines souhaitables à intégrer lors d'une charrette de conception.

Tiré de Lindsey et al. (2003, p. 11)

Selon Lindsey et al. (2003), une charrette de conception peut se dérouler en trois temps qui sont : une période de libre expression (remue-méninge, période d'expression créative et d'accumulation d'informations), une période d'organisation de l'information (groupage, synthèse et raffinement d'idées afin d'obtenir un nombre raisonnable de solutions à explorer), et une période de prise de décision (période d'examen des solutions retenues précédemment et parfois choix de la solution optimale pour l'équipe).

Les charrettes de conception ont généralement lieu très tôt dans le processus de conception intégrée. Leurs rôles sont selon Lindsey et al. (2003):

- De réunir une équipe de projet multidisciplinaire qui se met d'accord sur des buts communs à atteindre.
- D'établir des consensus très tôt dans le processus de conception à propos des buts définis, des stratégies à employer, et des priorités à donner au projet.
- De lancer le processus de conception
- D'établir la confiance par le dialogue (notamment grâce à un facilitateur de conception) entre les membres de l'équipe de projet.

- D'encourager l'intégration des disciplines et leur interaction afin d'obtenir des performances énergétiques et environnementales optimales.
- D'économiser du temps et de l'argent lors du processus de conception en arrivant à des décisions multidisciplinaires plus rapidement, et en évitant de devoir apporter des rectifications dans le design dans les phases plus avancées de la conception.

Après la charrette, Lindsey al. (2003) conseillent la tenue d'une réunion de débriefage et l'établissement d'un rapport de résultats afin d'évaluer l'efficacité de la charrette, de clarifier les décisions prises et de déterminer les objectifs et les directions à suivre pour la suite du projet.

1.4.4 Avantages du processus de conception intégrée

Larsson (2005) liste les avantages du processus de conception intégrée. Ces avantages sont :

- Une haute efficacité avec une augmentation minimale, voire nulle, des coûts de conception.
- La réduction des coûts d'opération et d'entretien du bâtiment conçu à long terme.
- La possibilité d'intégrer des systèmes hautes performances dès le début du projet et en accord avec le concept de l'architecte.
- L'amélioration de la qualité environnementale du bâtiment conçu.
- Une amélioration dans le programme fonctionnel, dans le choix des systèmes structuraux et mécaniques, ainsi que dans l'expression architecturale grâce aux discussions, aux prises de décision interdisciplinaires et aux approches synergiques.

Comme le montre la figure 1.4, l'avantage du processus de conception intégrée (courbe 4), comparé au processus de conception traditionnel linéaire (courbe 3), est que les équipes de projet concentrent leurs efforts et leurs ressources plus tôt dans le processus de conception, lorsque les décisions prises ont les plus d'impact sur le résultat final, que les efforts pour

effectuer des changements sont les moins contraignant, et enfin que les coûts liés à des changements dans le design sont les plus faibles.

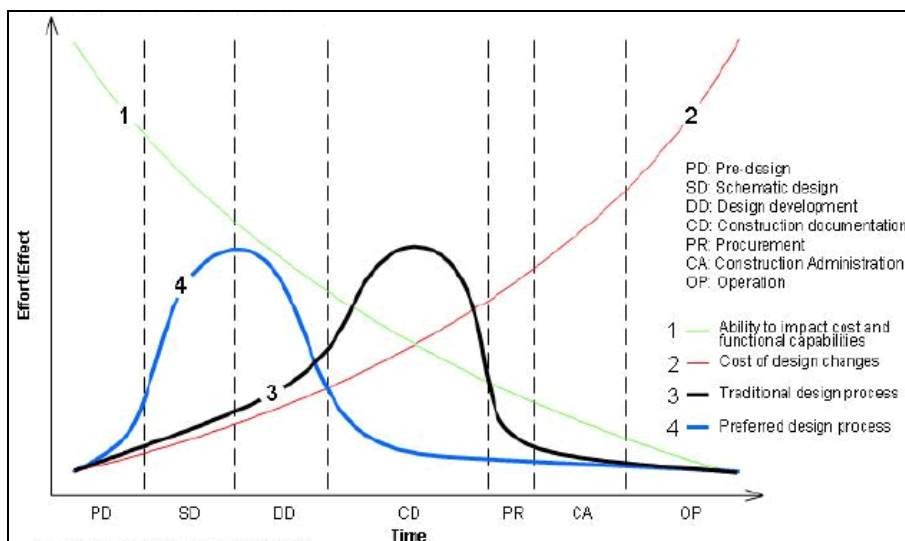


Figure 1.4 Impacts (effort/effet) des décisions prises en fonction de la phase du cycle de vie d'un bâtiment.

Tiré d'American Institute of Architects (2005)

Enfin pour Zimmerman (2004), dans un PCI, le processus de décision est de meilleure qualité. De plus, bien que l'équipe de projet passe plus de temps sur les phases de design conceptuel et de design préliminaire, le PCI permet aux ingénieurs de réduire le temps passé à la révision et à la correction de leurs concepts élaborés sur de mauvaises décisions initiales, comme c'est le cas avec le processus de conception traditionnel linéaire.

1.5 La collaboration multidisciplinaire et les technologies de l'information

Les parties précédentes ont montré que la collaboration multidisciplinaire est un élément déterminant pour mener à bien un projet de construction, et qu'un des principes de base de la conception intégrée est d'utiliser les bons outils aux bons moments.

1.5.1 La collaboration multidisciplinaire synchrone et au même endroit

Courbon et Tajan (1999) représentent le travail d'équipe et les outils de collaboration disponibles sous la forme d'une matrice espace/temps à double entrée. L'entrée temps caractérise le fait que les partenaires d'une équipe de projet travaillent ensemble au même instant (synchrone) ou non (asynchrone). La collaboration des équipes de projet peut donc être synchrone au même endroit, synchrone à distance, asynchrone au même endroit ou asynchrone à distance.

Tableau 1.1 Matrice espace/temps des outils de collaboration utilisés pour le travail en équipe
Tiré de Courbon et Tajan (1999, p. 6)

Les membres du groupe travaillent ...	Au même instant (synchrone)	À des instants différents (asynchrone)
Au même endroit	Face à face Agora Salle de réunion	Feuilles Post-It Tableau blanc Babillard
À distance	Téléphone Vidéoconférence Clavardage	Messagerie vocale Courriel et Portails Web La poste

Le tableau 1.1 montre que les outils mis à la disposition des professionnels varient en fonction du type de travail en équipe. Lors d'une charrette de conception intégrée, la collaboration est du type synchrone au même endroit ou synchrone à distance. La suite du chapitre sera consacrée à la collaboration synchrone au même endroit. Dans ce type de collaboration, le travail d'équipe se fait généralement en face à face, dans une salle de réunion prévue à cet effet, à un moment précis. Ces rencontres en face à face sont généralement l'occasion pour l'équipe d'échanger des opinions, de partager de l'information, de coordonner les activités de conception, de détecter les inconsistances dans le projet et de résoudre les problèmes rencontrés avant que le projet ne puisse progresser (Fruchter 1999).

1.5.2 Les artefacts de conception comme support de la collaboration multidisciplinaire

La partie 1.3.1 a montré que le processus de conception est un processus social de prise de décision dans lequel une équipe de projet multidisciplinaire collabore afin d'élaborer un concept respectant les exigences du client.

Les études de Tellioglu et Wagner (1998), de Suchman (2000) et d'Engeli (2001) ont exposé que pendant le processus de design, les concepteurs d'un projet tirent leur inspiration d'une grande variété de sources et se servent aussi bien de supports physiques (document papiers) que digitaux (documents électroniques) comme support de visualisation et d'incorporation. Ces études ont aussi prouvé que la conception est un dialogue permanent entre la pensée et les expressions de cette pensée qui prennent la forme d'artefacts de conception, c'est-à-dire de dessins, de plans (élévations, sections), et de divers modèles physiques (maquettes). Ces artefacts sont un élément clé du processus de design. Selon Leont'ev (1978) et Nardi (1996), les artefacts de conception servent de médiateurs entre les participants et leurs tâches. Pour Bødker et Buur (2002), les artefacts peuvent être utilisés pour faciliter la collaboration des membres d'une équipe de conception. Selon les études de Rivard et al. (2004) et de Tory et al. (2008), les artefacts de conception sont même critiques à la coordination et à la collaboration d'une équipe de conception, car ils supportent et représentent toutes les informations nécessaires à la construction d'un bâtiment. C'est donc autour de ces artefacts que les concepteurs d'un bâtiment échangent des idées, collaborent et prennent des décisions. Les artefacts de conception servent donc d'objets-frontière entre les membres d'une équipe multidisciplinaire. Ils jouent un rôle d'intégrateurs de savoir multidisciplinaires, de support et de médiateurs dans le processus de collaboration des professionnels (Fischer et al. 2005; Tory et al. 2008).

1.5.3 Le papier comme support traditionnel des artefacts lors des réunions de conception

Dans le passé, les artefacts de conception (dessins, plans, documents) étaient exclusivement des objets physiques. Les supports de ces artefacts étaient eux aussi des objets physiques,

notamment des feuilles de papier, des livres, des mémos, des lettres et des calendriers. Ces artefacts étaient créés, accédés et manipulés dans le monde physique pendant tout le processus de conception (Streitz et al. 2001).

Les ordinateurs, le développement et l'intégration des logiciels spécialisés de conception, de simulation énergétique et de modélisation du bâtiment ont bouleversé les méthodes de travail des professionnels. De nos jours, la majorité des artefacts de conception est réalisée, stockée et communiquée numériquement grâce aux ordinateurs. Les ordinateurs sont d'ailleurs devenus l'interface première vers l'information (Streitz et al. 1999; Rivard 2000; Tory et al. 2008). Mais, bien que les informations et les artefacts de conception soient habituellement générés numériquement par ordinateur, nombreuses études (Fruchter 1999; Streitz et al. 1999; Liston et al. 2001; Johanson et al. 2003; Schreyer et al. 2005; Haymaker et al. 2006; Tory et al. 2008) montrent que, lors des réunions de conception synchrones au même endroit, la coordination et la collaboration des équipes de projet se font encore avec des documents imprimés sur papier. Ces documents imprimés sont généralement accrochés aux murs ou étalés sur les tables pour être analysés, comparés et annotés (Fischer et al. 2002; Schreyer et al. 2005).



Figure 1.5 Réunion de conception typique avec le papier comme support de l'information de projet.
Tiré de Fischer et al. (2002, p. 1)



Figure 1.6 Réunion de conception typique où l'information de projet est accrochée aux murs.
Tiré de Guimbretière et al. (2001, p. 1)

Comme l'illustrent les figures 1.5 et 1.6, les salles de réunion typiques contiennent une table centrale, un tableau à feuillets pour tout type de dessin ou d'annotation, et de larges panneaux muraux permettant d'accrocher, d'organiser, d'annoter et d'analyser tout document pertinent. Certaines salles de réunion incorporent parfois un rétroprojecteur, une imprimante et un scanner.

1.5.4 Les limites des réunions ayant le papier comme support de l'information

Les études réalisées par Liston et al. (2001) sur diverses équipes de projet ont montré que le support papier limitait les possibilités des équipes à travailler ensemble, à résoudre des problèmes et à prendre des décisions.

La description de l'information plutôt que l'exploration d'alternatives

Liston et al. (2001) classifient en quatre catégories les tâches accomplies lors d'une réunion de conception. Ces tâches peuvent être descriptives, explicatives (utilisent les relations entre informations pour expliquer les décisions prises), évaluatives (comparent les informations de projet et les buts fixés par le programme architectural), ou prédictives (explorent des alternatives, résolvent les problèmes rencontrés). La figure 1.7 présente les résultats obtenus par Liston et al. (2001) quant à la répartition du temps passé par type de tâche lors des réunions de conception.

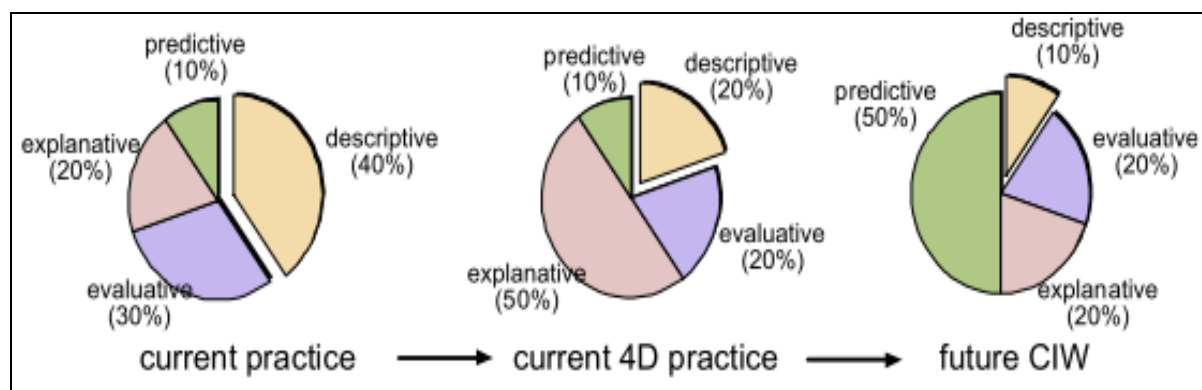


Figure 1.7 Comparaison du temps passé par tâche selon les pratiques de collaboration.
Tiré de Liston et al. (2001, p. 70)

La figure 1.7 montre que lors d'une réunion de conception traditionnelle avec support papier, 40% du temps est passé sur les tâches descriptives, 30% du temps est passé sur les tâches explicatives, 20% du temps est passé sur les tâches évaluatives, et seulement 10% du temps est passé sur les tâches prédictives. Les tâches prédictives sont lésées. Pourtant ce sont des tâches primordiales d'exploration d'alternatives, de résolutions des problèmes rencontrés et d'innovation (Liston et al. 2001).

Johanson et al. (2003) et Schreyer et al. (2005) confirment ces résultats. Selon eux, lors d'une réunion de conception traditionnelle (support papier), les participants passent plus de temps à chercher les informations pertinentes et à les rendre compréhensibles aux autres intervenants,

plutôt qu'à explorer des alternatives de design ou à trouver des solutions aux problèmes rencontrés. Ils expliquent ces résultats par le fait que les professionnels apportent de grandes quantités de documents imprimés qui sont spécifiques à leurs disciplines respectives. Ces documents sont difficilement compréhensibles par l'ensemble du groupe, car chaque discipline utilise des interfaces, des modèles et des systèmes de visualisation qui lui sont propres. Ainsi, même si plusieurs problèmes sont soulevés, il est rare que ceux-ci soient résolus avant la fin de la réunion.

La distraction des participants

Les études de Liston et al. (2001) ont révélé que lors des réunions de conception traditionnelles, les participants sont souvent distraits du propos principal et du travail d'équipe lorsqu'ils doivent naviguer à travers les différents documents papiers ou lorsqu'ils scannent les murs à la recherche d'informations pertinentes. La figure 1.8 montre que, dans ces deux cas, la focalisation des participants n'est plus partagée.



Figure 1.8 Recherche d'information pertinente au mur (a) et dans un feuillet papier (b) lors d'une réunion de conception.

Tiré de Tory et al. (2008, p. 27)

Dans le cas 1.8 (a), un des participants doit se lever et se déplacer jusqu'au mur où sont accrochés les informations de projet afin de trouver celle qui sera pertinente au groupe. Son attention ne se porte plus sur le travail de l'équipe mais sur la recherche qu'il effectue. Dans le cas 1.8 (b), le participant en quête d'informations pertinentes doit naviguer à travers un

volume important de plans, d'échéanciers, ou de diagrammes. Le manque de place l'oblige souvent à déranger d'autres membres et d'autres documents pour effectuer sa recherche. La distraction du participant est amplifiée si les informations sont imprimées sur de grandes feuilles de papier. En effet, ne pouvant étaler totalement les documents, le participant doit maintenir enroulés ceux qui sont inutiles afin de ne pas déranger son voisin. S'il désire tourner une page il doit déplier partiellement les pages supérieures, attraper la page qu'il souhaite tourner pour ensuite replier le tout en rouleaux. Dans ces deux cas, le membre de l'équipe qui effectue la recherche est distrait du travail de groupe car son attention se détourne au profit d'une exploration souvent laborieuse (Liston et al 2001; Tory et al. 2008).

La rigidité du support papier

L'inconvénient principal du papier comme support de l'information est son manque de flexibilité et d'interactivité. L'information sur support papier est statique (Liston et al. 2001). En effet, les informations digitales imprimées sont difficilement modifiables et les mises à jour instantanées quasiment impossibles (Fruchter 1999).

De plus, sur des documents papiers, les annotations sont permanentes. Les études de Tory et al. (2008) montrent que certains participants peuvent hésiter avant d'écrire et de laisser des marques indélébiles sur des documents de conception. Le papier oblige alors les participants d'une réunion de conception à changer les informations dans leur tête et à prédire manuellement l'impact des changements dans le concept (Liston et al. 2001). L'information n'est pas interactive lorsqu'elle se retrouve sur document papier et les modifications dans le design doivent souvent être reportées à la réunion suivante (Guimbretière et al. 2001).

Le volume important de documents et l'archivage difficile

Les parties précédentes ont montré que les professionnels viennent aux réunions avec de nombreux documents de conception imprimés. Il est souvent nécessaire d'apporter un nombre suffisant de document pour que chaque intervenant puisse en avoir une copie. En cas de réunion avec un nombre élevé de participants, le volume de documents papier à traiter,

analyser et comparer devient un handicap car il faut pouvoir gérer et stocker tous ces documents (Tory et al. 2008).

Enfin, les études de Liston et al. (2001) et de Guimbretière et al. (2001) rapportent que les phases de tri, de transcription et d'archivage des informations échangées deviennent problématiques pour les professionnels. En effet, en fin de réunion, les documents annotés à la main sont difficilement archivables (surtout numériquement), et il est rare que tous les participants repartent avec la documentation complète des commentaires, des travaux à faire et des problèmes soulevés pendant la réunion.

Les efforts de conversion entre support digital et papier

Les informations générées par ordinateur doivent être imprimées sur papier pour les réunions de conception. Les annotations et modifications apportées aux informations sont exécutées sur ces documents papiers pour ensuite être retranscrites au format digital. Ce processus de conversion et de retranscription est souvent source d'erreurs (Scott et al. 2003). De plus, transcrire l'information d'un support à l'autre réclame temps, efforts, et engendre des coûts supplémentaires. En effet les professionnels doivent imprimer les documents pour les modifier, puis répercuter les modifications sur la version digitale pour ensuite réimprimer les nouveaux documents. Enfin, utiliser le papier comme support de l'information lors des réunions de conception entraîne de nombreuses redondances de contenu entre les informations présentes sur papier et les informations digitales (Luff et al. 1992).

1.5.5 La collaboration et l'interopérabilité

Si lors des réunions de conception, les professionnels de l'industrie de la construction collaborent autour de documents papiers, c'est principalement à cause de la grande diversité des logiciels et des applications de conception. Les interfaces usagers de ces applications sont spécialisées et complexes. Elles répondent aux besoins spécifiques de chaque discipline (architecture, structure, mécanique, estimation des coûts) et sont difficilement compréhensibles pour tous les intervenants d'un projet (Schreyer et al. 2005). De plus, bien

que ces applications permettent de supporter quasiment toutes les tâches de conception et de gestion d'un projet de construction (Froese 2003), elles fonctionnent généralement de manière autonome et indépendante, utilisent des structures de données uniques (Eastman 1999), et sont souvent incapables de communiquer et d'échanger des informations qui décrivent pourtant le même projet (Froese 2003). La structure spécifique des données force les professionnels à interpréter et à transférer les informations de projet d'un outil à l'autre de façon manuelle et à collaborer, lors des réunions de conception, via des documents papiers (Eastman 1999; Froese 2003). Les tâches d'interprétation et de transfert de données sont pourtant des activités n'ajoutant aucune valeur au projet. De plus, elles introduisent souvent des erreurs, consomment du temps mais surtout inhibent l'utilisation efficace des outils informatiques (Froese 2003).

Pour faire face à ce problème de communication et d'échange automatisé de l'information lors des réunions de conception, nombre des recherches se sont portées sur le développement de l'interopérabilité par la standardisation des échanges de données (Eastman 1999; Froese et al. 1999; Froese 2003; Kam et al. 2003; Weise et al. 2003; Yang 2003; Wan et al. 2004). L'interopérabilité est définie comme la possibilité pour l'information de passer d'une application à une autre tout au long du cycle de vie d'un projet (Froese 2003). L'optimisation de l'interopérabilité repose essentiellement le développement et l'utilisation d'une structure commune de l'information à l'industrie de la construction : la standardisation des échanges de données (Froese 2003). L'objectif visé étant de supporter efficacement le partage automatisé des informations de projet entre les différentes applications de conception afin d'augmenter l'efficacité et la productivité des équipes de projet de construction (Weise et al. 2003).

Le besoin de standardiser l'échange d'information est largement reconnu par les professionnels de l'industrie de la construction (Froese 2003). Afin de répondre à ce besoin, le groupe Autodesk Inc. créa, en 1994, le consortium industriel appelé « Industry Alliance for Interoperability ». Ce consortium à but non lucratif mené par l'industrie devint international en 1996 et fut renommé l'« International Alliance for Interoperability » (ou IAI) en 1997. Le

but de cette coalition internationale est de supporter l'interopérabilité en développant des standards d'échange de données, le plus utilisé étant à ce jour les Industry Foundation Classes (ou IFC) (Eastman 1999). Les IFC sont un modèle de données orienté-objet conçu pour l'industrie de la construction. Ils permettent d'agglomérer les multiples informations concernant les différents composants d'un bâtiment, les coûts de projet et les échéanciers. L'intérêt est de créer une structure commune aux données et de pouvoir transférer automatiquement toutes les informations d'un projet entre deux applications supportant le standard d'échange IFC. Toute information provenant d'une application supportant les IFC peut être sauvegardée au format standard. Les IFC fournissent ainsi un format de donnée neutre qui permet aux différentes applications utilisées dans l'industrie de partager et d'échanger efficacement des informations (Froese 2003).

Les avantages de l'interopérabilité via les standards d'échanges de données (principalement les IFC) sont nombreux. Cette approche permet de faciliter le transfert non ambigu d'informations entre des ordinateurs. Elle offre aussi aux professionnels de l'industrie une structure commune aux données, visant ainsi à optimiser les échanges d'informations entre applications (Weise et al. 2003). Cependant, des problèmes techniques subsistent encore, et certaines applications de conception ne supportent pas le format de fichier IFC. De plus, pour Haymaker et al. (2006), cette approche se révèle encore trop rigide, et elle permet principalement d'optimiser les performances d'une discipline. Toujours selon Haymaker et al. (2006), les professionnels continuent d'éprouver des difficultés pour gérer et organiser le grand nombre de données, et ils utilisent toujours le papier comme support principal de l'information lors des réunions de conception.

1.5.6 Le besoin de nouveaux environnements de travail collaboratif

Pour Streit et al. (1999), lors des réunions de conception, l'information peut et doit être représentée sous des formes plus diverses qu'elle ne l'est maintenant. Ils envisagent un environnement de travail devenant une véritable interface vers les formes physiques et digitales de l'information. La vision de Streit et al. (1999) est d'intégrer les technologies de

l'information (TI) aux espaces de travail collaboratif actuels. Les TI englobent les ordinateurs, les logiciels et les réseaux. Leur but est de faciliter la visualisation, l'échange et la gestion des informations de projet (Rivard et al. 2000). Pour Streit et al. (2001), il est temps de refléter l'évolution des technologies de l'information dans la conception d'environnements de travail collaboratif dynamiques, flexibles et mobiles. Cette vision est partagée par Scott et al. (2003), qui pensent que des moyens technologiques sont nécessaires pour supporter les interactions avec les informations digitales. Enfin, pour Lauche (2005), l'intégration des technologies de l'information peut profiter aussi bien au travail de groupe à distance qu'au travail de groupe synchrone au même endroit. Lauche (2005) affirme en effet que la collaboration lors des réunions synchrones au même endroit peut être enrichie et optimisée par l'intégration d'outils de collaboration adaptés au travail d'équipe.

1.5.7 Les espaces de travail collaboratif assistés par ordinateur.

L'intégration des technologies de l'information en collaboration ne consiste pas seulement à introduire des ordinateurs dans les salles de réunions. Bien que les ordinateurs de bureau représentent une interface privilégiée vers l'information, la taille des écrans limite les interactions pour des utilisateurs multiples et résulte en une gestion complexe des fenêtres. Les ordinateurs de bureau classiques ne supportent pas efficacement le travail d'équipe. Ils sont plus adaptés aux interactions d'un homme et d'une machine (Stewart et al. 1999). De nouveaux moyens et outils de collaboration interactifs sont donc nécessaires pour supporter la collaboration entre plusieurs intervenants. Ces outils sont mis en place dans les nouveaux espaces de collaboration : les espaces de travail collaboratif assistés par ordinateur (Streit et al. 2001; Liston et al. 2001). Les parties suivantes en présentent les principales avancées.

Le Virtual Reality Expérimental Environnement (VR-EVE)

Lors du projet de construction de l'auditorium de l'université d'Helsinki en Finlande (le HUT-600) les intervenants du projet ont utilisé une technique de visualisation de l'information appelée Virtual Reality-Experimental Virtual Environnement (VR – EVE ou EVE) qui plonge l'utilisateur dans un environnement virtuel en quatre dimensions (espace et

temps) (Kam et al. 2003; Savioja et al. 2003). Le EVE est un cube de trois mètres de côté dont trois des faces verticales sont des écrans rétro-projetés. Les graphismes et les images des modèles sont gérés et projetés sur les écrans grâce à quatre projecteurs (trois sur les côtés et un au plafond). L'audio est géré par un second ordinateur, et est diffusé dans le EVE grâce à des enceintes adaptées au volume du cube. Le EVE comprend aussi des périphériques d'entrée qui permettent de contrôler le système ou de régler certains paramètres. Ces périphériques sont des souris, des claviers, un manche à balai de navigation, un bracelet magnétique permettant de suivre les utilisateurs, ainsi qu'une paire de gants munis de fibres optiques permettant de manipuler les objets du monde virtuel (Savioja et al. 2003). Le but du EVE est d'améliorer la présentation de l'information et de faciliter les interactions entre les concepteurs, les preneurs de décision et même les propriétaires et les utilisateurs. Il supporte ainsi des modèles variés grâce à différents logiciels qui permettent d'intégrer des modèles CAO, des solutions d'éclairage, des simulations énergétiques et des simulations acoustiques. Les figures 1.9 et 1.10 montrent respectivement une représentation du EVE utilisé pour la conception du HUT-600 d'Helsinki et trois des concepteurs du projet examinant un détail du hall de l'auditorium.



Figure 1.9 Représentation du VR-EVE de Seppo Äyräväinen.
Tiré de Savioja et al. (2003, p. 89)

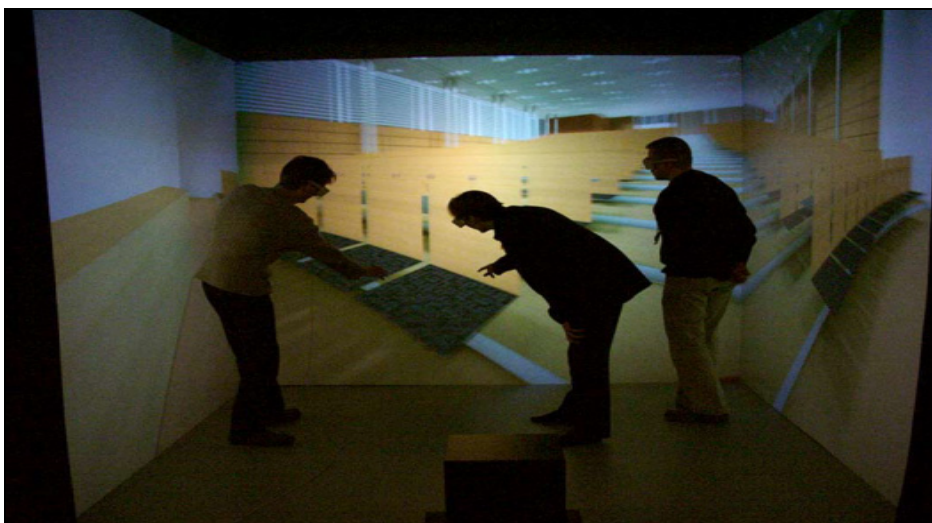


Figure 1.10 Trois concepteurs du HUT-600 examinent un détail du hall dans le VR-EVE.

Tiré de Savioja et al. (2003, p. 97)

Conjointement au EVE, l'équipe de projet a employé l'approche des modèles de produits et des IFC afin de fournir aux architectes et ingénieurs des modèles de conception communs dans le but de faciliter et d'optimiser la gestion et l'échange des données du projet. Les modèles étaient ainsi importés par les professionnels pour être ensuite partagés et visualisés. Les études de Kam et al. (2003) ont montré que le EVE permet une immersion totale et offre aux concepteurs et aux utilisateurs la possibilité d'avoir un aperçu réaliste de ce que sera le bâtiment conçu. Le EVE permet aux participants de se focaliser sur une information commune, et il favorise le travail de groupe (Savioja et al. 2003).

Cependant, bien que le EVE favorise la visualisation des modèles 3D, certaines informations sont perdues lorsque les vues doivent être plus détaillées. De plus, comme le montre la figure 1.10, les participants doivent se munir de lunettes et de gants spéciaux pour manipuler les différents modèles. Le EVE est principalement un outil de visualisation des modèles. Il n'est pas adapté à la modification interactive des informations de projet (Kam et al. 2003, Savioja et al. 2003).

Le i-Land

Le interactive-Land ou i-Land est environnement de travail collaboratif digital développé par l'équipe du Dr Norbert Streitz à l'AMBIENTE-Lab du Centre National Allemand de Recherche sur les Technologies de l'Information (GMD-IPSIS) à Darmstadt en Allemagne. Pour Streitz et al. (2001), le i-Land est une représentation des espaces de travail collaboratif du futur. Le i-Land n'est pas une espace de collaboration spécifique aux équipes de projet de construction. Cependant, son but est de supporter le travail collaboratif d'équipes dynamiques, de développer une nouvelle forme d'interactions multiutilisateurs et multi-écrans, et enfin de favoriser la créativité et l'innovation des équipes de conception. Le i-Land paraît donc être un exemple pertinent d'espace de travail collaboratif assisté par ordinateur.

Le i-Land a été conçu comme un espace de travail collaboratif dynamique, flexible et mobile aussi bien adapté au travail de groupe qu'au travail de sous-groupe. Il regroupe un ensemble de composants électroniques et interactifs fournissant le support technologique aux interactions et à la coopération des équipes de conception (Streitz et al. 1999). Le i-Land se compose d'un mur électronique interactif appelé DynaWall®, d'une table électronique interactive appelée InteracTable®, de chaises mobiles connectées au réseau appelées CommonChair®, de tablettes interactives appelées ConnecTable®, et du logiciel de collaboration BEACH développé par l'équipe du Dr Streitz.



Figure 1.11 Vue d'ensemble du i-Land et de ses composants interactifs.
Tiré de Streitz et al. (2001, p. 569)

La figure 1.11 présente une vue générale du i-Land. À gauche de la figure, deux personnes collaborent autour de deux ConnecTable®. En arrière plan au centre, une personne assise dans une CommonChair® collabore avec une personne se tenant près du DynaWall®. Enfin, à droite de la figure, une personne travaille sur l'InteracTable.

Le DynaWall® est un mur électronique interactif qui permet d'afficher les informations de projet de manière digitale. D'une largeur de 4,5 mètres et d'une hauteur de 1,1 mètre, le il remplace les tableaux à feuillets et les murs où les informations sont traditionnellement accrochées, organisées et annotées (Streitz et al. 2001).

L'InteracTable® est une table mobile interactive créée pour la réalisation, l'affichage, la discussion et l'annotation des artefacts de conception. L'InteracTable® est un écran plasma interactif de 130 cm de diagonale. Les participants interagissent via des stylets et un clavier sans fil permettant d'insérer du texte. Il est à noter que l'InteracTable® est une surface qui n'est pas pré-orientée. L'orientation se fait grâce au logiciel BEACH qui permet aussi de créer une seconde vue dans le cas où des utilisateurs travailleraient face à face (Streitz et al. 2001).

Les CommonChair® sont des chaises électroniques représentant un nouveau type de mobilier mélangeant confort et technologies de l'information. Les CommonChair® existent en deux versions. Une version intègre un écran tactile fonctionnant avec stylet tandis que l'autre version permet à l'utilisateur de connecter son ordinateur personnel. Le logiciel BEACH sert de connecteur entre les CommonChair®, le DynaWall®, l'InteracTable® et les ConnecTable®. Il est ainsi possible d'agir sur de l'information présentée sur le DynaWall via les CommonChair® (Streitz et al. 2001). Les ConnecTable® sont conçues pour le travail individuel et le travail de petit groupe. Les tables sont adaptables au travail debout ou assis. Leur inclinaison est variable et il est possible de rassembler plusieurs tables pour créer un écran plus large (Streitz et al. 2001). La figure 1.12 présente un exemple de ConnecTable® et de CommonChair®.



Figure 1.12 Exemple de ConnecTable® et CommonChair®.
Tiré de Streitz et al. (2001, p. 570)

Le but du i-Land est de supporter le travail d'équipe et de faciliter la créativité et l'innovation des équipes de conception. C'est dans ce but que l'équipe du Dr Streitz a développé le logiciel BEACH qui permet de connecter tous les composants du i-Land. BEACH fournit ainsi l'infrastructure logicielle nécessaire pour le partage d'information entre les différents appareils du i-Land. Le logiciel BEACH permet de faciliter la manipulation des informations de projet. De plus, il permet de structurer la collaboration de groupe et de sous-groupe. BEACH reconnaît si plusieurs groupes travaillent distinctement et découple l'espace de travail qui était homogène.

En conclusion, le i-Land est un espace de travail collaboratif du futur qui intègre des logiciels et des équipements spécialement créés pour faciliter la créativité et l'innovation. Cet espace interactif met l'accent sur la flexibilité et la mobilité en permettant le travail de groupe et de sous-groupe. Bien qu'initialement conçu pour le travail d'équipe synchrone au même endroit, le i-Land peut aussi être adapté au travail d'équipes géographiquement dispersées. Le i-Land peut aussi être adapté pour des équipes de projet du domaine de la construction (Streitz et al. 2001). Cependant, la plate-forme de collaboration BEACH ne supporte pas les applications Unix ou Windows comme composants de l'environnement. Les applications du i-Land sont spécialement développées pour tourner dans le i-Land, ce qui engendre des coûts supplémentaires d'installation et d'entretien maintenance (Johanson et

al. 2000). Enfin les chercheurs du GMD-IPSI doivent encore valider leur i-Land dans un contexte réel de travail (Streitz et al. 2001).

Le iRoom

Les principales études concernant la visualisation et la communication de l'information lors des réunions de construction ont eu lieu à l'université de Stanford en Californie (Schreyer et al. 2005). Afin d'optimiser la collaboration, des professeurs de l'université ont proposé de concevoir un matériel et un logiciel interactif, multi utilisateurs et multi applications appelé « Constructive Interactive Workspace » permettant à une équipe de projet d'intégrer les différentes applications AEC utilisées dans les réunions : le iRoom (Fischer et al. 2002). Cette idée a été proposée par des chercheurs au « Center for Integrated Facility Engineering », et est utilisée au CIFE et au « Department of Computer Science » à Stanford University (Fox et al. 2000). Les motivations d'une interopérabilité concourante dans les réunions de projet sont de réduire les temps de décision de manière significative, d'être sûr que tous les intervenants comprennent le contexte et l'impact des décisions prises, d'optimiser le temps par rapport aux réunions classiques (support papier), et enfin de passer plus de temps sur la recherche de solutions des problèmes plutôt qu'à leur description.

L'iRoom se compose de trois écrans géants, d'un ordinateur (clavier et souris sans fils) en guise de serveur, permettant de faciliter la transmission de l'information. Le concept clé consiste en des applications et des écrans multiples permettant de visualiser sous différents angles et simultanément un même modèle. La figure 1.13 présente une vue schématique du iRoom.

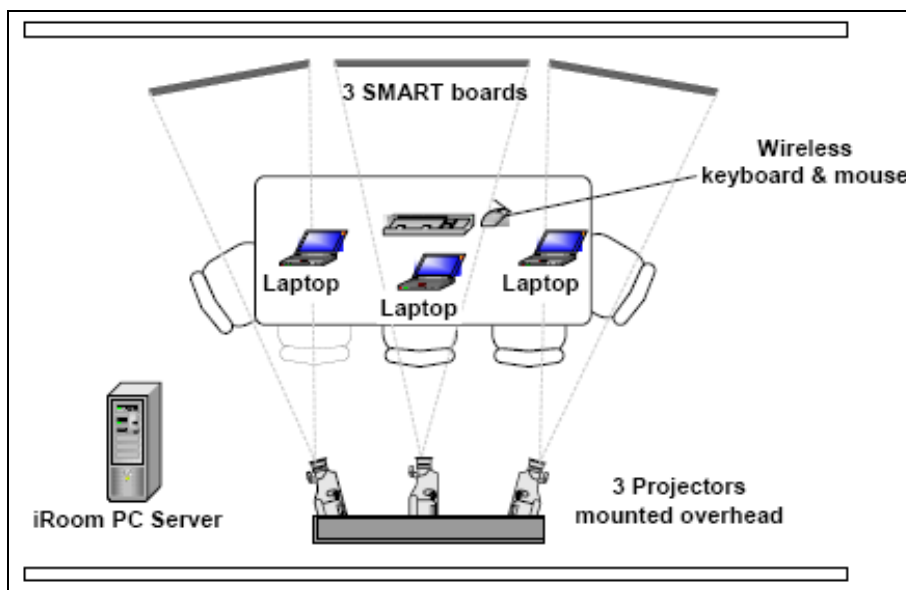


Figure 1.13 Schéma de l'iRoom de l'université de Stanford.

Tiré de Schreyer et al. (2005, p. 158)

L'intérêt des écrans géants multiples est de permettre à l'utilisateur de comparer différents états ou versions d'un même modèle en même temps. Dans le iRoom, le système de transmission de l'information est basé sur l'adresse IP. L'information passe sous forme de message à travers le service central appelé Event Heap.

L'iRoom de Stanford comprend des logiciels personnalisés tels le « Project Data Repository » qui stocke les données par domaine (planification, ressource, prix) et qui permet de visualiser l'information à différents niveaux de détails (en fonction du rôle de chacun : client, ingénieur spécialisé ou entrepreneur) ; ou encore le Midserver qui analyse le contenu des messages, crée des implications et crée de nouveaux messages envoyés aux applications pour ajuster les données en conséquence. Le rôle du Midserver est de trier les données et donc de gagner du temps en évitant les redondances de données et d'informations. La figure 1.14 présente une vue générale du iRoom.

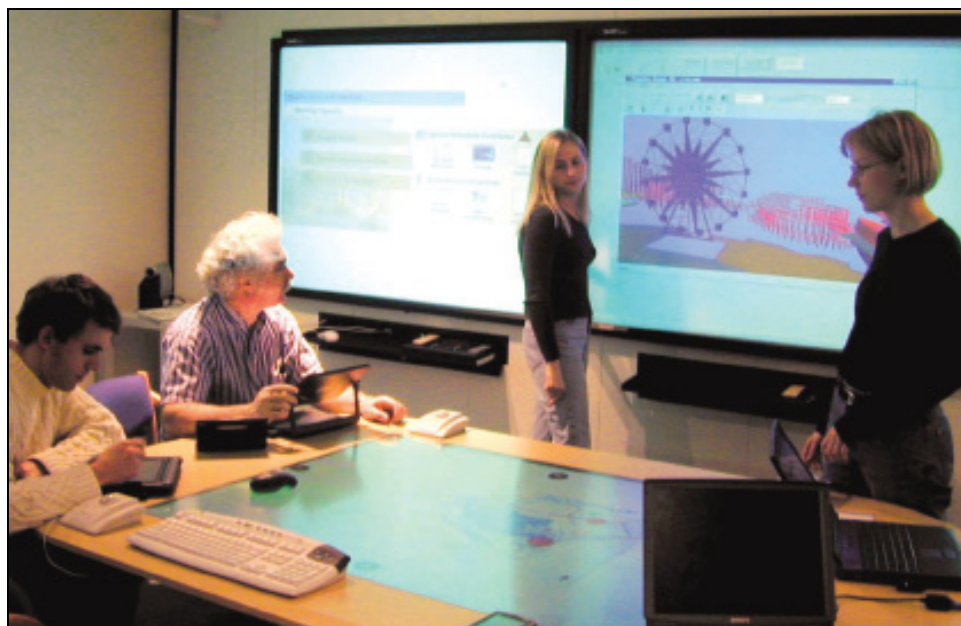


Figure 1.14 Exemple de réunion de conception dans le iRoom.
Tiré de Johanson et al. (2003, p. 100)

En conclusion, les logiciels du iRoom établissent des relations entre les applications, et ils peuvent propager des changements d'un modèle d'une application vers toutes les autres. Le iRoom facilite la visualisation des données, la manipulation des informations digitales, et par suite, améliore la coordination et la collaboration des équipes de projet de construction (Schreyer et al. 2005).

1.6 Les barrières à l'adoption des T.I. en Construction

Les recherches (Yum 2005; Rezgui 2007) montrent que l'amélioration de la collaboration d'une équipe de projet passe par la compréhension des facteurs influençant l'adoption des technologies de l'information. A cause de l'augmentation de la sophistication et de la complexité des processus de conception et de construction dues aux exigences toujours plus strictes en matière de performance et de qualité, l'adoption des technologies de l'information en collaboration devient nécessaire.

Mais malgré les avantages potentiels des technologies de l'information sur le processus de conception et de construction, certaines barrières limitent encore leur intégration et leur utilisation optimale (Becerik 2004a; 2004b). Ces barrières sont à la fois culturelles, légales, financières et techniques (Allen et al. 2005).

1.6.1 Les barrières légales et culturelles

La première barrière à l'adoption des TI en collaboration est légale. Le format juridique légal des documents de conception est encore le format papier. De plus, l'industrie de la construction est une industrie très réglementée dans laquelle les professionnels de la conception (architectes et ingénieurs) sont certifiés. Ainsi, la norme dans l'industrie est de présenter des documents de conception au format papier qui sont visés et signés par les architectes et les ingénieurs qualifiés du projet. Tout document électronique (plan, échéancier, contrat) doit ainsi être imprimé et signé par les professionnels responsables du projet pour pouvoir avoir valeur lorsqu'il sort de la firme qui l'a produit (Allen et al. 2005). L'inconvénient principal lié à l'utilisation des TI en collaboration est qu'elle rend incertaine l'origine du concept (car les décisions sont prises en équipe, et tous les intervenants d'un projet peuvent modifier un document) et ce qu'est le concept, dans le sens où, par exemple, un modèle de bâtiment en 3D ou un plan électronique ne sont pas sujets à la signature comme peuvent l'être des plans sur support papier. Ce sont ici les problèmes des droits d'auteurs et des responsabilités légales qui sont mis en jeu (Allen et al. 2005).

La seconde barrière à l'adoption des TI en collaboration est culturelle. La fragmentation joue ici encore un rôle négatif en créant des communautés de pratiques disciplinaires souvent conservatrices. Ces communautés protègent et encouragent les professionnels à utiliser des pratiques conventionnelles, limitant ainsi l'intégration de nouveaux outils de collaboration (Allen et al. 2005; Forgues et al. 2009). Ensuite, les professionnels sont souvent conditionnés par leur éducation. Ils reproduisent ainsi des méthodes de travail qui leur ont été enseignées à l'école et à l'université (Fruchter, 1999). Et, une fois ces méthodes encrées dans les habitudes de travail, il devient difficile d'en changer (Allen et al. 2005; Yum, 2005). Il s'agit donc

d'entraîner à la fois les étudiants et les professionnels à changer leurs pratiques et à passer du support papier au support digital en collaboration.

1.6.2 Les barrières financières et techniques

En plus des barrières légales et culturelles, il existe des barrières financières et techniques à l'adoption des TI en collaboration. Intégrer les TI en collaboration représente souvent un risque financier pour le client et les concepteurs (Allen et al. 2005). Pour le client, le risque principal est que les coûts additionnels engendrés par l'intégration de nouvelles technologies ne soient pas amortis. De plus, il ne perçoit généralement pas les avantages de la conception en 3D et de la collaboration digitale. Pour les concepteurs (architectes et ingénieurs), la réticence à l'adoption des TI en collaboration vient du fait qu'il faut dépenser plus d'argent pour s'équiper en matériel informatique et en logiciels. De plus, il faut consacrer des efforts, du temps et de l'argent au niveau de la formation à l'utilisation des outils de collaboration. Intégrer de nouveaux outils de collaboration demande de traverser une nouvelle courbe d'apprentissage, ce qui représente, pour les concepteurs, un risque au niveau de la productivité (Allen et al. 2005).

Enfin, selon Rezgui (2007), l'acceptation et l'adoption des TI en collaboration est influencée par deux facteurs techniques majeurs qui sont l'utilité perçue et la facilité d'utilisation des outils de collaboration. Ces deux facteurs sont les éléments techniques limitant l'intégration des TI en collaboration. Même très performants, des outils trop complexes freineront leur adoption. Il s'agit donc de trouver le juste équilibre entre performance et simplicité d'utilisation.

1.7 Résumé

La revue de la documentation scientifique a montré que l'étape clé dans le cycle de vie d'un bâtiment est sa conception, car c'est pendant cette étape que les décisions capitales (forme, dimensions, orientation, structure, systèmes mécaniques et électriques, matériaux) sont prises. C'est aussi pendant cette étape que l'impact des décisions sur la faisabilité, le coût, la

qualité et les performances générales du bâtiment est maximal (Zimmerman 2004; Kibert 2008). La conception est aussi un moment propice à la créativité, à l'innovation et au repérage des bonnes et des mauvaises habitudes de travail (Navin 1994). La conception d'un bâtiment est un processus social itératif de prises de décisions et d'explorations de solutions dans lequel les professionnels de l'industrie de la construction doivent collaborer afin d'établir des consensus et de livrer un produit de qualité satisfaisant les exigences énoncées par le client (Kuntz et Rittel 1970; Gero 1990; Schön 1991). Cependant, l'industrie de la construction se trouve confrontée à des problèmes de fragmentation horizontale et verticale qui tendent à générer des îlots opérationnels. Ces îlots détériorent la coordination, la communication et la collaboration des équipes multidisciplinaires de projet. Ces phénomènes sont amplifiés par l'approche traditionnelle linéaire du processus de conception – dans lequel les professionnels interviennent séquentiellement – qui montre ses limites, et qui peut aboutir à des solutions sous-optimales et à des bâtiments aux performances inadéquates (Rush 1986; Dupagne 1991). L'approche intégrée en conception (approche dans laquelle les intervenants d'un projet de construction travaillent ensemble, et ce dès les phases avancées de la conception) et l'utilisation des technologies de l'information visent à réduire les effets négatifs de la fragmentation de l'industrie et à optimiser le processus de conception des bâtiments (Larsson 2005).

Ce chapitre s'est focalisé sur la collaboration synchrone au même endroit des équipes de projet de construction lors de la phase de conception d'un bâtiment. Il a montré que les artefacts de conception jouent un rôle majeur d'intégrateurs de savoirs multidisciplinaires, de supports, de médiateurs et d'objets-frontière entre les différents disciplines d'une équipe de projet (Rivard et al. 2004; Tory et al. 2008). Mais bien que les professionnels génèrent habituellement ces artefacts numériquement grâce aux ordinateurs, ceux-ci continuent de collaborer autour de documents papier qui se retrouvent accrochés au mur ou étalés sur les tables des salles de réunion pour être analysés, comparés et annotés (Streitz et al. 1999; Fischer et al. 2002). Le papier comme support de l'information des réunions de projet a pourtant montré ses limites : rigidité, annotation et archivage difficiles, efforts conséquents de conversion de l'information entre les supports papier et digital. Il résulte que les

participants d'une réunion de conception passent généralement plus de temps sur des tâches descriptives et explicatives que sur des tâches prédictives qui sont pourtant source d'innovation (Liston et al. 2001; Schreyer et al. 2005).

L'intégration des technologies de l'information en construction, et plus précisément en collaboration, offre de nouvelles alternatives. L'interopérabilité via les modèles de produits (principalement le Building Information Modeling) et les standards d'échange de données (principalement les Industry Foundation Classes) fournissent aux professionnels une structure commune aux données de projet et permettent l'échange automatique d'informations entre ordinateurs et entre applications de conception (Eastman 1999; Froese 2003). Mais malgré ces avancées, les professionnels éprouvent toujours des difficultés pour gérer et organiser le grand nombre de données, et continuent d'utiliser le papier comme support principal de l'information lors des réunions de conception (Haymaker et al. 2006).

Les nouveaux espaces de travail collaboratif assistés par ordinateur offrent, eux, des environnements digitaux de collaboration dans lesquels les professionnels de l'industrie de la construction peuvent visualiser, créer, manipuler et modifier instantanément des artefacts de conception sans avoir à attendre les réunions suivantes. Les espaces remarquables présentés dans la revue de la documentation scientifique sont le VR-EVE (Savioja et al. 2003), le i-Land (Streitz et al. 2001) et le iRoom (Fischer et al. 2002). Le VR-EVE, utilisé lors du projet de construction de l'auditorium de l'université d'Helsinki en Finlande, plonge les utilisateurs dans un environnement en 4D, et leur permet de visualiser et de manipuler des modèles 3D du bâtiment. Mais bien qu'il favorise la focalisation des intervenants sur un modèle commun, le VR-EVE est peu adapté à la modification interactive des informations de projet (Kam et al. 2003; Savioja et al. 2003).

Le i-Land est un espace de travail collaboratif développé par l'équipe du Dr Norbert Streitz à l'AMBIENTE-Lab du Centre National Allemand de Recherche sur les Technologies de l'Information (GMD-IPIS) à Darmstadt en Allemagne. Il intègre des logiciels et des équipements interactifs (mur, table, chaise) qui permettent à une équipe de conception de

collaborer directement autour des versions digitales des informations de projet. L'inconvénient principal du i-Land est qu'il n'a pas été conçu spécialement pour l'industrie de la construction, et, les logiciels employés sont spécifiques, ce qui engendre des coûts d'installation et de maintenance supplémentaires (Streitz et al. 1999; Streitz et al. 2001).

Le iRoom, développé à l'université de Stanford en Californie, est un espace de travail collaboratif interactif spécialement dédié à la construction. Il intègre des logiciels du marché (pour réduire les coûts d'installation), et des équipements (Event Heap, écrans géants interactifs, contrôleur d'éclairage et de projection) qui facilitent la visualisation de l'information, la manipulation des informations digitales et des modèles de conception. Le but visé étant l'amélioration de la communication et de la collaboration afin de favoriser l'innovation (Fischer et al. 2002; Schreyer et al. 2005).

Mais malgré les avantages notables des technologies de l'information, leur adoption reste lente par rapport aux autres industries. Elle se heurte à des barrières qui sont légales (le format juridique légal des documents est encore le papier), culturelles (les méthodes de collaboration sont ancrées des les habitudes de travail), économiques (le coût de certaines technologies peut être élevé) et techniques (peur de la courbe d'apprentissage des nouveaux outils) (Allen et al. 2005; Forgues et al. 2009).

Le laboratoire présenté dans ce projet de recherche fait partie des nouveaux espaces de travail collaboratif assistés par ordinateur. Unique au Québec et au Canada, et spécialement adapté aux besoins des équipes de conception du domaine de la construction, le laboratoire vise à offrir aux professionnels de l'industrie l'environnement idéal en collaboration dans lequel la création, la manipulation, la visualisation et la modification des données digitales de projet se fait conjointement et interactivement. Le laboratoire veut aussi fournir un nouveau contexte permettant la transformation des pratiques via la technologie. Finalement, afin de promouvoir ce nouvel environnement de travail collaboratif et de briser les barrières à l'adoption des TI en collaboration, il paraît nécessaire d'évaluer leur impact sur les réunions de conception auprès des professionnels mais aussi des étudiants qui sont les professionnels de demain.

CHAPITRE 2

MÉTHODE DE RECHERCHE

Le Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception (LCAOCo) a pour but d'optimiser la collaboration des équipes de projets lors de la conception des bâtiments. Le but de la présente recherche est d'évaluer l'impact des outils de collaboration du LCAOCo sur les réunions de conception des équipes de projet de construction multidisciplinaires.

2.1 Exigences de la méthode

Il est nécessaire d'établir une méthode de recherche adaptée à l'évaluation du travail de conception en équipe qui permette de comparer les méthodes de collaboration actuelles (basées sur papier) et la collaboration utilisant les outils mis en place dans le LCAOCo (Clayton et al. 1998). Cette méthode doit à la fois être applicable à plusieurs équipes de projets et permettre de mesurer et de quantifier les bénéfices apportés par les technologies de l'information du laboratoire.

Pour l'évaluation du travail d'équipe, Cannon-Bowers et al. (1997) préconisent une évaluation du travail au niveau de l'individu et du groupe, ainsi qu'une évaluation des processus (comportements et événements qui contribuent à l'obtention des extrants du groupe) et des extrants de l'équipe (qualité et quantité). De plus, le choix du scénario d'étude doit être adapté à ce que l'équipe de recherche désire mesurer. Le scénario ne doit ni être trop compliqué, ni trop simple. Il doit permettre l'utilisation des technologies de l'information du LCAOCo tout en restant réaliste.

2.2 Variable principale, variables dépendantes, objectif et hypothèses à examiner

Les observations de Liston et al. (2000b) sur de nombreuses réunions de conception et de construction ont montré que le travail d'équipe pouvait se diviser en quatre types de tâches

qui sont les tâches descriptives (répondent aux questions qui, quoi, quand, où et comment), les tâches explicatives (répondent généralement à la question pourquoi), les tâches évaluatives (comparaison entre les informations de projet et les exigences fixées par le client), et les tâches prédictives (prédiction des impacts de changements dans le projet en cours, exploration d'alternatives et de solutions). Les études de Liston et al. (2000b) montrent que ces tâches sont critiques dans le processus de prise de décision d'une équipe. La capacité à prendre une décision est directement reliée à la capacité d'une équipe à effectuer des tâches. Plus significativement, la prise de bonnes décisions et l'innovation sont influencées par la capacité d'une équipe à performer sur les tâches prédictives.

L'objectif de la recherche est d'étudier l'impact des outils de collaboration mis en place dans le LCAOCo sur le contenu des réunions de conception intégré et sur l'efficacité des équipes de projet de construction pendant la phase de conception. La stratégie de mesure de performance employée dans ce projet de recherche se base sur la division du travail identifiée par Liston et al. (2000b).

La variable principale de l'étude est l'utilisation du LCAOCo et des technologies de l'information qu'il contient (tableaux interactifs, logiciel TeamSpot™). Les variables dépendantes sont le temps que consacre une équipe de conception sur les tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives.

Les hypothèses à vérifier sont les suivantes :

- Les outils de collaboration du LCAOCo permettent de réduire le temps passé sur les tâches descriptives, évaluatives et explicatives de l'information.
- Les outils de collaboration du LCAOCo permettent d'augmenter le temps passé sur les tâches prédictives lors d'une réunion de conception et favorise l'innovation.
- Les outils de collaboration du LCAOCo favorisent la visualisation, la manipulation, la modification, la communication et l'échange d'artefacts de conception.

L'intérêt d'examiner les hypothèses ci-dessus est de valider ou non l'efficacité du LCAOCo. Si ces hypothèses se révèlent correctes, alors par extension il sera possible de répondre par l'affirmative à la question de recherche. La recherche aura montré que les outils de collaboration du LCAOCo augmentent l'efficacité des équipes de projet de construction lors des réunions de conception.

2.3 Choix d'une méthode

La méthode de recherche utilisée est inspirée de la méthode de Test Charrette employée par Clayton et al. (1998) et Liston et al. (2000a) qui fait réaliser des tâches similaires à des participants dans un temps donné en se servant de deux procédés différents (des participants utilisent le procédé dit traditionnel tandis que d'autres participants utilisent le nouveau procédé). Selon Clayton et al. (1998), la méthode de Test Charrette est à la fois simple à mettre en œuvre et fournit une fiabilité et une validité accrue par rapport à d'autres méthodes de recherche.

Clayton et al. (2008) recommandent la méthode de Test Charrette comparativement à :

- L'exemple travaillé qui est utilisé pour démontrer que les idées promulguées dans la recherche sont applicables. Dans l'exemple travaillé, le chercheur décrit un scénario possible impliquant l'utilisation du processus innovant étudié. Le scénario est soit un exemple fictif, soit un exemple tiré d'un cas réel. Dans l'exemple travaillé, c'est le chercheur qui teste le nouveau processus.
- La démonstration qui fait travailler des experts extérieurs dans un scénario inventé par le chercheur. Les impressions des experts sont ensuite recueillies pour évaluer le nouveau processus de design.
- L'essai qui fait réaliser des tâches prédéfinies à des individus indépendants à la recherche avec le processus innovant (sans comparaison avec le processus traditionnel).

Toujours selon Clayton et al. (1998), les différents avantages de la méthode de test charrette sont :

- Une haute fiabilité grâce notamment à la réalisation d’essais multiples, la mise en place d’un protocole clair qui peut ainsi être répété à différents moments et par différents chercheurs.
- L’emploi de mesures objectives permettant d’éviter les biais.
- La comparaison de deux processus (ici de conception) pour une validité accrue des arguments en faveur de la supériorité de la nouvelle technique par rapport à la technique traditionnelle.

2.4 La méthode de Test Charrette

La méthode de Test Charrette définie par Clayton et al. (1998) consiste à :

- Définir des hypothèses claires qui seront examinées par la méthode d’évaluation Charrette (ici définies à la partie 2.2).
- Identifier deux processus de design à comparer. Ici, il s’agit d’évaluer la conception d’un bâtiment dans le LCAOCo, face à la conception traditionnelle basée sur documents papiers.
- Définir un scénario d’étude réaliste et des mesures quantifiables de performance associées à ce scénario.
- Réunir plusieurs équipes de travail représentatives de la population visée et capables de résoudre les problèmes définis dans le scénario d’étude.
- Conduire les tests. Collecter les résultats. Les analyser pour confirmer ou infirmer les hypothèses de départ.

2.4.1 Échantillon

L'échantillon utilisé pour cette étude est composé d'étudiants volontaires et francophones recrutés dans les départements de génie de la construction et de génie mécanique de l'École de technologie supérieure (ÉTS) à Montréal, ainsi que dans le département d'architecture de l'Université de Montréal. Les élèves en génie de l'École de technologie supérieure sont des étudiants en fin de baccalauréat ou en maîtrise. Les élèves de l'Université de Montréal sont quant à eux étudiants au niveau maîtrise.

Au nombre de dix, ces étudiants ont été répartis en deux équipes multidisciplinaires de cinq membres de compositions similaires. La répartition des participants est indépendante des critères d'âge ou de sexe pour donner plus de force à la démarche de recherche. Seules les spécialités de chacun ont été respectées dans la formation des groupes. Les deux équipes de conception se composent des intervenants clés dans le processus de conception d'un bâtiment. Dans chaque équipe se trouvent deux étudiants de l'École d'architecture de l'Université de Montréal qui ont le rôle d'architectes, et trois étudiants de l'École de technologie supérieure ayant les rôles de client, d'ingénieur en structure du bâtiment et d'ingénieur en systèmes mécaniques et électriques du bâtiment. Le tableau 1.2 présente plus précisément la composition de chaque équipe de conception (spécialité, sexe, âge, niveau d'études des différents participants).

Tableau 1.2 Composition des équipes de conception observées

Équipe travaillant dans le LCAOCo	Équipe travaillant dans la salle traditionnelle
- Architecte 1: Femme, 27 ans, maîtrise	- Architecte 1: Homme, 26 ans, maîtrise
- Architecte 2: Femme, 26 ans, maîtrise	- Architecte 2: Homme, 26 ans, maîtrise
- Ingénieur en structure : Homme, 27 ans, maîtrise	- Ingénieur en structure : Femme, 28 ans, doctorat
- Ingénieur en mécanique du bâtiment : Homme, 29 ans, maîtrise	- Ingénieur en mécanique du bâtiment : Femme, 23 ans, fin de baccalauréat
- Client : Homme, 24 ans, maîtrise	- Client: Homme, 23 ans, fin de baccalauréat

Une équipe de conception est placée dans une salle de réunion dite « classique ». Cette salle reflète la réalité des salles de réunions actuelles. Les équipements de cette salle de réunion sont un rétroprojecteur, un écran géant, un tableau à feuillet (ou « flip chart »), un panneau permettant d'accrocher divers documents (plans de site, plans de conception échanciers, et tout autre document pertinent). L'autre équipe est placée dans le Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception. L'équipe travaillant de le LCAOCo utilise les technologies de l'information décrites au chapitre 3 (écrans géants interactifs, logiciel de collaboration TeamSpot™ et logiciels de conception classiques).

2.4.2 Scénario d'étude.

Les tests se déroulent en deux ateliers de trois heures chacun, sous forme de charrette de conception intégrée (*Voir annexe I, p. 92*). Une équipe de conception travaille avec les technologies de l'information du LCAOCo, tandis que l'autre équipe travaille sur support papier avec les outils traditionnels de collaboration (rétroprojecteur, écran géant, tableau à feuillet, panneaux permettant d'accrocher tout document pertinent). Le scénario de l'étude (*Voir annexe II, p. 92*) est basé sur un projet existant simplifié de conception d'une salle de spectacle polyvalente. Les équipes de projet doivent concevoir une salle de spectacle faisant partie d'un complexe artistique, culturel et scientifique en se référant au programme architectural et aux exigences fonctionnelles fournies par le client. Le but du scénario est que des équipes multidisciplinaires de projet travaillent sur un problème simple de volumétrie, de structure et de mécanique du bâtiment, tout en permettant à l'équipe de recherche de collecter assez de données afin de pouvoir examiner le processus de collaboration (communication, coordination et coopération), et d'analyser l'impact des technologies de l'information du LCAOCo sur le contenu des réunions de conception intégrée.

2.5 Collecte des résultats.

La collecte des résultats est faite à l'aide de deux méthodes. L'une dite d'observation directe, l'autre dite d'observation indirecte (Wilson, 2005).

La méthode d'observation directe consiste à enregistrer sur bande vidéo les réunions de conception. Cette méthode, dite objective, permet de mesurer de manière quantitative la fréquence d'un événement ainsi que le temps passé sur les tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives.

La méthode indirecte (ou subjective) consiste à utiliser un questionnaire spécialement conçu pour l'étude du laboratoire qui incorpore des questions à l'échelle de l'individu et du groupe. Ce questionnaire (*Voir Annexe III, p. 97*) a été initialement développé par le Dr François Chiocchio, professeur adjoint en psychologie du travail et des organisations au département de psychologie de l'Université de Montréal. Spécialisé en mesure et en évaluation, ses recherches portent sur la collaboration et la communication au travail, et sur l'évaluation de la performance des individus, des équipes de projets et des organisations en collaboration. Il a ainsi développé de nombreux instruments qui fournissent de la rétroaction sur le rendement dont le questionnaire utilisé pour l'évaluation du LCAOCo (en collaboration avec le Dr Hugues Rivard) qui permet d'évaluer qualitativement des attitudes, des sentiments, des efforts perçus, des difficultés, des avantages, des inconvénients mais aussi des préférences.

2.6 Discussion sur la méthode de recherche employée

Selon Leedy et Ormrod (2005), la méthode de recherche doit idéalement respecter les critères de validité (ou de viabilité des résultats), de fiabilité (les résultats seraient-ils identiques si la méthode de mesure était répétée sous d'autres circonstances, avec d'autres utilisateurs et d'autres chercheurs ?), et de généralisation (la méthode est-elle généralisable à d'autres domaines, situations et populations ?).

2.6.1 Limitations dans l'utilisation de la méthode de recherche employée

La méthode de recherche utilisée dans ce projet est inspirée de la méthode de Test Charrette employée dans les recherches de Clayton et al. (1998) et de Liston et al. (2001). Cette méthode assure théoriquement une haute fiabilité des résultats grâce à la réalisation d'essais multiples et à la mise en place d'un protocole clair qui peut ainsi être répété à différents

moments et par différents chercheurs. Cependant, l'échelle d'un projet de recherche en maîtrise et le caractère non-subventionné en limitent considérablement la portée. Dans ce projet de recherche, seules deux équipes multidisciplinaires de conception ont été réunies pour une session de travail. La fiabilité des résultats peut se trouver affectée par la taille réduite de l'échantillon et par le nombre de tests réalisés. D'abord, la taille restreinte de l'échantillon met en exergue les difficultés rencontrées lors du recrutement des équipes. La volonté de constituer des équipes représentative (c.-à-d. composées d'architectes, d'ingénieurs en structure et d'ingénieurs en systèmes mécaniques et électriques du bâtiment) des équipes de projet réelles a été inhibée par la nature fragmentée de l'enseignement, déjà identifiée par Fruchter et Emery (1999). Ensuite, le choix d'effectuer les tests avec des étudiants volontaires indépendants de la recherche a rendu impossible la conduite de plusieurs observations, soit par manque de motivation, soit à cause d'emplois du temps trop chargés. Ce constat peut s'expliquer par la théorie de Yum (2005) et de Betts et Yang (2004) dans laquelle les professionnels de l'industrie de la construction se montrent réticents à collaborer s'il n'y a pas d'incitatifs (principalement financiers). Ce projet demeure donc de nature exploratoire. Mais les résultats seront tout de même triangulés avec ceux de recherches récentes dans le domaine.

2.6.2 Forces de la méthode de recherche employée

La force de la méthode de Test Charrette est l'emploi de mesures objectives (c.-à-d. le temps passé sur de tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives) qui permet d'éviter les biais (Clayton et al. 1998). Dans ce projet de recherche, le scénario est issu d'un projet de construction réel (*Voir Annexe II*, p. 94). Contrairement aux études de Liston et al. (2001), aucune question n'est prédéfinie afin de pouvoir observer un processus de conception libre. Dans cette étude, le choix est ainsi de laisser travailler les équipes de conception en condition réelle afin de pouvoir extrapoler les résultats. Ensuite, la population étudiée est issue des différents domaines de la construction. Les étudiants étaient diplômés ou en voie de l'être, et tous avaient déjà effectué des stages dans l'industrie. Ces différents choix tendent à donner de la consistance aux résultats obtenus. De plus, l'emploi d'un protocole clair de recherche

(Voir Annexe I, p. 92) pouvant être répété à différents moments et par différents chercheurs augmente la fiabilité des résultats. Enfin, la comparaison de deux processus accroît la validité des arguments en faveur de la supériorité d'une méthode de collaboration par rapport à une autre.

2.7 Structure du chapitre « Résultats de la recherche »

Les résultats et les différentes analyses de ce projet de recherche seront présentés au chapitre 4, le chapitre 3 étant consacré à la présentation du Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception et aux différents outils de collaboration qu'il contient.

La première partie (4.1) du chapitre « Résultats de la recherche » sera dédiée à l'analyse des enregistrements vidéo. Elle présentera la répartition du temps passé par les équipes de conception sur les différents types de tâches, ainsi qu'une comparaison de certains comportements observés lors des réunions. La seconde partie (4.2) exposera les analyses des données obtenues à l'aide du questionnaire. Elle récapitulera les différentes évaluations des participants concernant leur utilisation des différents outils de collaboration (aussi bien traditionnels que digitaux). Enfin, la dernière partie (4.3) sera consacrée à l'infirmer ou la confirmation des hypothèses à vérifier.

CHAPITRE 3

LE LABORATOIRE DE COLLABORATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR EN CONCEPTION

Le laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception (LCAOCo) est un laboratoire de recherche sur la collaboration des équipes de projet de construction. Le LCAOCo a été initialement développé par le Dr Hugues Rivard dans la cadre de la chaire de recherche du Canada en ingénierie assistée par ordinateur pour la conception de bâtiments durables. Le but du LCAOCo est d'offrir aux équipes de conception multidisciplinaires un environnement de travail collaboratif assisté par ordinateur permettant d'optimiser leur travail en équipe.

3.1 Présentation du LCAOCo

Long de 13 mètres et large de huit mètres, le LCAOCo se compose d'une salle de réunion principale, d'une salle de stockage de l'équipement (ordinateurs, écrans, claviers, souris, imprimantes, scanneur), et de deux salles d'observations équipées de vitres sans teint. L'intérêt de ces salles d'observation est de permettre à des équipes de recherche d'observer et d'étudier les réunions de conception se déroulant au LCAOCo en interférant un minimum avec le processus de collaboration.

Dans la salle de réunion principale, le laboratoire intègre un mobilier et des technologies qui visent à faciliter la communication et le transfert d'information entre les membres d'une équipe de projet, mais aussi l'exploration d'un plus grand nombre d'options de conception.

3.2 Le mobilier du LCAOCo

Le LCAOCo possède un plancher surélevé permettant de passer le filage nécessaire aux différentes connexions d'ordinateurs ou de réseaux, et permettant aussi de réduire le câblage

au sol, source d'encombrement des salles de réunions traditionnelles. Une vue schématique du LCAOCo est présentée à la figure 3.1.

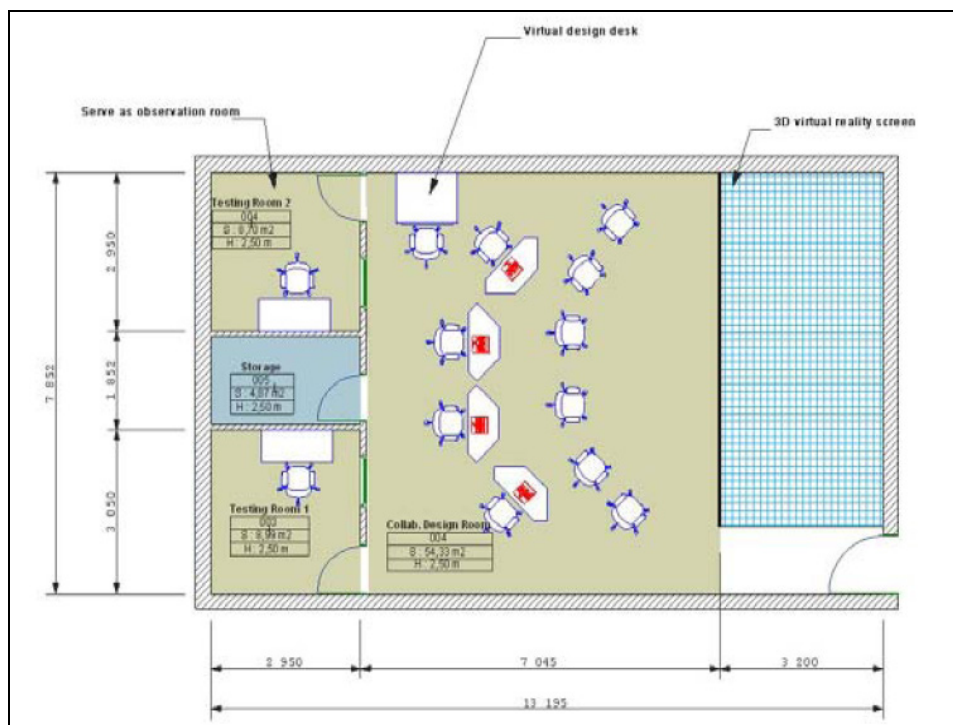


Figure 3.1 Vue générale du LCAOCo.

Le mobilier se compose de tables de forme trapézoïdale permettant un agencement ajustable en fonction du nombre de participants. Les figures 3.2 et 3.3 présentent les tables du LCAOCo ainsi que les diverses configurations possibles.



Figure 3.2 Une table du LCAOCo.

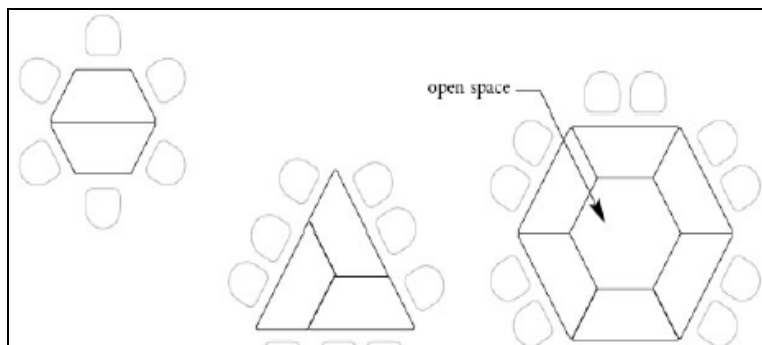


Figure 3.3 Configurations géométriques réalisables grâce aux tables du LCAOCo.

L'intérêt de ces tables est de pouvoir réaliser un grand nombre de configurations spatiales (hexagonale, triangulaire, octogonale) en fonction des préférences des utilisateurs (figure 3.3). Avec le mobilier choisi, il est possible d'adapter la configuration de la salle de réunion à la taille de l'équipe, au travail de groupe et au travail de sous-groupe.

3.3 Les technologies du LCAOCo

Le laboratoire de collaboration assistée par ordinateur en conception comprend :

- Deux écrans géants interactifs servant de surface de projection.
- Un écran géant traditionnel avec projecteur.
- Un panneau amovible de contrôle des projecteurs.
- Un écran 3D rétro-projeté.
- Le logiciel de collaboration et de partage d'information TeamSpot™.
- Le logiciel de dessin et d'annotation ActivStudio®.
- Les applications classiques avec lesquelles les professionnels travaillent : Microsoft Office®, MS Project®, WBS Chart Pro®, AutoCAD®, Revit Architecture® et Revit Structure®, Google SketchUp®, Athena®, Hot 2000® et Transys®.
- Un réseau local sécurisé permettant la connexion à Internet.
- Des caméras intégrées pour la visioconférence et la collaboration à distance.

La vocation de ces technologies est de faciliter les deux types de collaboration synchrones, vues à la figure 1.5, en créant un environnement collaboratif interactif permettant une meilleure visualisation des informations de projet, la création, la manipulation et la modification des artefacts de conception (plans, échéanciers, modèles architecturaux, simulations énergétiques) au format digital. L'avantage de ces technologies est qu'elles peuvent être utilisées aussi bien lors du travail synchrone au même endroit (si elles sont intégrées dans une salle de réunion comme c'est le cas dans le LCAOCo) que lors du travail à distance (grâce à la vidéoconférence) d'équipes de projet de construction distribuées.

3.4 Les Écrans Géants

Au nombre de trois (deux interactifs et un traditionnel), les écrans géants servent de surface de projection. La figure 3.4 montre les écrans géants interactifs.



Figure 3.4 Les écrans géants interactifs du LCAOCo.

Les écrans géants permettent à l'équipe de projet de partager une vision commune de l'information et de travailler sur une surface beaucoup plus large qu'un écran d'ordinateur

classique. Chaque écran est dirigé par un ordinateur dédié. Les deux écrans interactifs sont contrôlables grâce à des stylets qui jouent le rôle de souris. Les stylets permettent à un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs de se tenir près des tableaux et d'interagir avec eux.

3.5 TeamSpot™

TeamSpot™ est le nom du logiciel de collaboration multi utilisateurs commercialisé par la société Tidebreak. Il permet aux équipes de projet de travailler en collaboration dans un environnement digital.

Le but de TeamSpot™ est d'améliorer l'interaction entre les participants d'une réunion de conception, de permettre une meilleure utilisation des ordinateurs dans une situation de travail de groupe, et de permettre aux équipes de conception de partager leurs opinions ouvertement et de tirer leur inspiration d'une grande variété de sources. Le logiciel autorise entre autres la rédaction commune de rapports sur les écrans publics, le développement de présentations ou le partage d'informations trouvées en ligne.

3.5.1 Structure de TeamSpot™

Le logiciel TeamSpot™ a initialement été développé à l'université de Stanford en Californie pour la collaboration des équipes de projet de construction. Le logiciel ne requiert pas de matériel informatique particulier, et est compatible avec la plupart des applications pour Windows et Macintosh OSX.

L'environnement de travail collaboratif TeamSpot™ se compose :

- De larges écrans publics.
- D'un ordinateur hôte serveur et d'ordinateurs dédiés aux écrans publics.
- D'ordinateurs clients
- D'un réseau local.



Figure 3.5 Exemple d'environnement de travail collaboratif TeamSpot™ à trois larges écrans publics.
Tiré de Tidebreak (2008)

La figure 3.5 présente un exemple espace de travail collaboratif TeamSpot™ dans lequel trois écrans publics sont installés. Les écrans et le logiciel permettent de plonger les utilisateurs dans un environnement de travail collaboratif digital et interactif.

Larges écrans publics

Les larges écrans publics sont la clé du travail de collaboration en équipe. Ils permettent aux membres de l'équipe de partager une vue commune de l'information. Dans le laboratoire de collaboration assistée par ordinateur en collaboration, les larges écrans publics sont au nombre de trois (deux écrans interactifs et un traditionnel). Ils sont dirigés par des ordinateurs dédiés contrôlables à tout moment par les utilisateurs.

Ordinateurs hôte serveur et ordinateurs dédiés

L'ordinateur hôte serveur est l'élément essentiel de l'environnement de travail collaboratif TeamSpot™. Le logiciel TeamSpot™ est installé sur cet ordinateur. L'ordinateur hôte permet donc de maintenir l'équipe de projet dans l'environnement de travail collaboratif. Il permet aussi de contrôler l'écran interactif géant principal. Cet ordinateur hôte est un ordinateur PC standard.

Les ordinateurs dédiés permettent quant à eux, de contrôler le second écran géant interactif ainsi que l'écran géant traditionnel. Le logiciel TeamSpot™ client est installé sur ces ordinateurs pour une immersion totale de l'équipe de projet de construction.

Ordinateurs clients

Les ordinateurs clients sont les ordinateurs personnels des membres de l'équipe de projet. Une fois le logiciel TeamSpot™ client installé et après avoir été autorisé à faire partie de l'environnement de travail collaboratif, les utilisateurs peuvent contrôler l'ordinateur hôte et les ordinateurs dédiés, depuis leur propre ordinateur. Les membres de l'équipe peuvent aussi partager des fichiers, des URLs, des textes et tout autre document pertinent. Chaque membre de l'équipe peut grâce à TeamSpot™, travailler de façon personnelle tout en interagissant avec les autres membres et l'ordinateur hôte.

Réseau local

Les intervenants d'un projet peuvent venir avec leurs propres ordinateurs portables, se connecter au réseau local (via un câble ou le Wifi), lancer le logiciel client et prendre part au processus de collaboration.

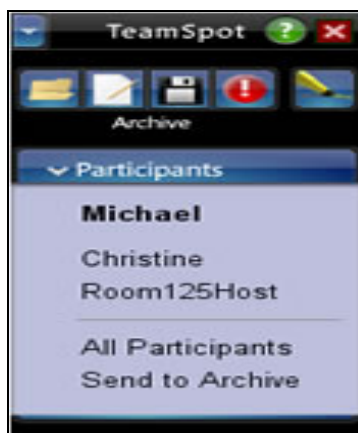
3.5.2 Fonctions de TeamSpot™

Les parties suivantes expliquent les fonctions principales du logiciel de collaboration TeamSpot™.

Mini panneau TeamSpot™.

Le panneau de commande de TeamSpot™ fournit à l'utilisateur une interface de contrôle des principales fonctions du logiciel (CrossWarp, partage d'écran, archivage des données). La figure 3.6 montre un exemple de mini panneau TeamSpot™. Il permet de visualiser les

participants connectés. Quand un participant se joint à TeamSpot™, le nom de son ordinateur se rajoute à la liste des participants déjà connectés.



**Figure 3.6 Le mini
panneau TeamSpot™.**
Tiré de Tidebreak (2008)

Le mini panneau permet aussi aux participants de partager des fichiers, des dossiers et des sites web grâce à la fonction CrossWarp et aux raccourcis présents dans la liste des participants. Il contient aussi un menu d'aide, ainsi que des menus permettant le partage d'écran. Enfin, il peut être réduit pour prendre le moins de place possible lorsqu'il n'est pas utilisé.

Fonction Point Right

La fonction PointRight (figure 3.7) permet à n'importe quel participant de collaborer en prenant le contrôle de l'écran partagé avec son clavier et sa souris depuis sa place. Pour cela, il suffit que le participant fasse glisser le curseur de sa souris vers le haut de son écran. S'il continue à monter, son curseur « saute » l'écran pour se retrouver sur l'écran partagé. Il prend alors le contrôle de l'ordinateur serveur avec sa propre souris et son propre clavier. En se déplaçant à gauche ou à droite de l'écran central, le participant prend le contrôle des ordinateurs et écrans annexes. Chaque intervenant peut faire la même chose en tout temps et

à tout moment. Lorsque qu'un participant prend le contrôle d'un écran public, une alerte apparaît sur le mini panneau TeamSpot™.



Figure 3.7 Exemple d'utilisation de la fonction PointRight.
Tiré de Tidebreak (2008)

L'intérêt majeur de la fonction Point Right est de permettre aux participants de travailler sur un ordinateur partagé et d'interagir sur des documents communs depuis leur place. Dans ce cas, les participants d'une réunion ne sont plus obligés de se déplacer pour travailler sur un ordinateur commun. Avec la fonction Point Right, les écrans publics se transforment en une extension commune des écrans de chaque participant, comme c'est le cas dans la figure 3.7.

Fonction Show to et fonction Share to.

TeamSpot™ permet à un intervenant de présenter son écran personnel sur l'écran partagé, ce qui se révèle pratique pour les simulations, les présentations ou les résultats d'analyse. Le partage d'écran peut se faire via :

- La fonction « Show To » qui permet à n'importe quel participant de montrer son écran sans interaction possible des autres participants.
- La fonction « Share To » qui permet à n'importe quel participant de partager son écran et son ordinateur avec les autres membres du groupe. Les participants peuvent contrôler l'ordinateur du membre qui utilise la fonction « Share To ».

Fonction CrossWarp

La fonction CrossWarp permet de partager des informations (fichiers, dossiers, images, pages web) avec un, plusieurs ou tous les intervenants connectés.



Figure 3.8 Transfert de fichier entre tous les participants de la réunion.

Tiré de Tidebreak (2008)

Le transfert d'information peut se faire entre un membre de l'équipe et un ordinateur hôte, ou entre deux membres, ou encore entre un membre et tous les autres, comme c'est le cas sur la figure 3.8.

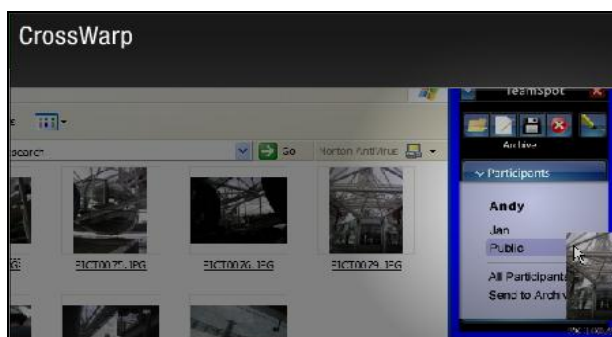


Figure 3.9 Exemple d'échange de fichier grâce à la fonction CrossWarp.

Tiré de Tidebreak (2008)

Comme le montre la figure 3.9, l'échange se fait simplement en faisant glisser l'information à partager sur un nom dans la liste des participants du mini panneau TeamSpot™.

Fonction Archive

Le logiciel TeamSpot™ propose un menu « Archive » qui permet un enregistrement en temps réel des informations échangées par les participants via TeamSpot™. À chaque fois que quelqu'un transfère un fichier, un dossier ou un site web, l'heure et le type de transfert sont répertoriés dans le menu archives. Il est aussi possible d'ajouter des annotations aux archives.

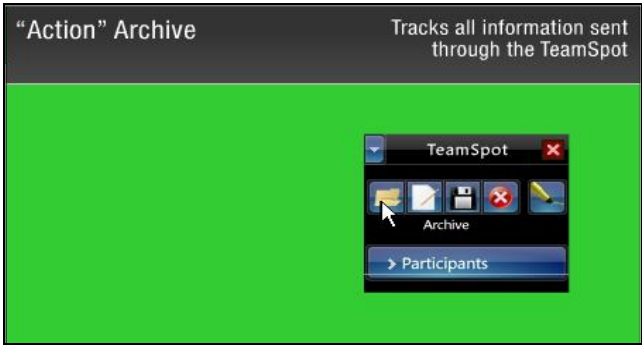


Figure 3.10 Le mini panneau TeamSpot™ et le menu « Archive ».
Tiré de Tidebreak (2008)

"Action" Archive			
2005	9:04:18 PM	CrossWarp	http://www.corrosion.com/struct.html
2005	9:05:08 PM	CrossWarp	structural steel support.jpg
2005	9:05:45 PM	CrossWarp	http://www.cslb.ca.gov/studyguides/c-51.asp
2005	9:06:15 PM	CrossWarp	PICT0079.JPG
2005	9:07:10 PM	CrossWarp	http://tidebreak.com/
2005	9:07:37 PM	CrossWarp	PICT0076.JPG
2005	9:08:12 PM	CrossWarp	http://cic.nist.gov/vrml/cis2.html

Figure 3.11 Interface du menu « Archive » de TeamSpot™.
Tiré de Tidebreak (2008)

Comme le montrent les figures 3.10 et 3.11, les archives sont accessibles à tout moment par tout participant connecté. La fonction « Archive » permet de stocker des documents destinés à une utilisation ultérieure. Les archives sont classables par heure, par type de transaction,

par expéditeur, par destinataire, ou par contenu. Enfin, les archives peuvent être sauvegardées sur le disque dur local sous forme de fichier compressé que les participants peuvent emportés à la fin de la réunion permettant ainsi à une équipe de travailler sur des versions communes des documents de conception.

Sécurité

TeamSpot™ protège la sécurité des informations échangées. En effet, seules les personnes présentes physiquement à la réunion peuvent se connecter. De fait, le logiciel génère des codes de connexion uniques à tout participant voulant se joindre au réseau. De plus, les sessions authentifiées se terminent lorsque les participants se déconnectent ou éteignent leurs ordinateurs portables. Enfin, les informations échangées sont cryptées lors des transferts de machine à machine.

3.6 Le Logiciel ActivStudio® et les logiciels classiques de conception

Le logiciel ActivStudio® est un logiciel de dessin et d'annotation qui permet d'utiliser les tableaux interactifs comme des tableaux à feuillets grâce à la fonction « flipchart ». Le logiciel permet les captures d'écran, les annotations de plans Google Earth®, de documents Pdf, de plan architecturaux et de tout type de document pertinent pour le projet. Les annotations peuvent être sauvegardées pour une collaboration en temps réel optimisée.

Les logiciels classiques (Microsoft Office®, MS Project®, Revit Architecture®, Google Sketch Up®) utilisés par les professionnels de l'industrie de la construction sont installés sur tous les ordinateurs du LCAOCo afin de permettre la détection d'incohérences et la réalisation de changements dans le concept si nécessaires et de simulation énergétiques, sans avoir à attendre la prochaine réunion.



Figure 3.12 Exemple d'utilisation des tableaux géants interactifs et du logiciel ActivStudio®.

La figure 3.12, qui présente un exemple d'utilisation des tableaux interactifs géants et du logiciel interactif par un architecte, est extraite d'enregistrements vidéo d'une première expérimentation du LCAOCo avec un partenaire industriel. Ces expériences ont permis de tester le laboratoire dans un contexte réel de travail, avec une vraie équipe de projet de construction. Sur la figure 3.12, un des architectes du projet utilise le stylet et le logiciel ActivStudio® pour annoter le plan des étages du bâtiment conçu. Les tableaux géants permettent aux autres intervenants de visualiser facilement les annotations effectuées. Enfin, l'annotation des documents au format digital a permis aux membres de l'équipe de quitter la réunion avec une version unique et commune des informations de projet.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

La collecte des résultats a été effectuée via des enregistrements vidéo des réunions de conception et un questionnaire spécialement élaborés pour l'évaluation du LCAOCo. La partie 4.1 présente les résultats tirés des enregistrements vidéo, et la partie 4.2 les résultats tirés des questionnaires.

4.1 Résultats tirés des analyses vidéos

Les enregistrements vidéo des réunions de conception ont été codés grâce au logiciel d'analyse qualitative QSR NVivo 8. Ils ont permis de mesurer de quantitativement le temps passé sur des tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives (*Voir l'explication au chapitre 2, partie 2.2, p. 42*). Les vidéos ont aussi permis d'identifier qualitativement différents comportements en fonction du type de collaboration.

4.1.1 Temps par types de tâches

Sur les trois heures de réunion, dix minutes étaient réservées à la découverte et à la lecture du programme architectural. Les évaluations des temps par type de tâches se font donc sur une durée globale commune de deux heures et cinquante minutes. Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent les résultats obtenus.

Tableau 4.1 Nombre de tâches accomplies par les équipes de conception en fonction de la méthode de collaboration

Type de tâches	Nombre de tâches accomplies		Part (%)	
	Salle traditionnelle	LCAOCo	Traditionnelle	LCAOCo
Descriptives	12	11	32,4	26,2
Explicatives	8	9	21,6	21,4
Évaluatives	9	11	24,4	26,2
Prédictives	8	11	21,6	26,2
Total	37	42	100	100

Tableau 4.2 Temps passé par les équipes de conception par type de tâches en fonction de la méthode de collaboration

Type de tâches	Temps passé par type de tâche		Part (%)	
	Salle traditionnelle	LCAOCo	Traditionnelle	LCAOCo
Descriptives	56min 40s	47min 31s	33,6	28,8
Explicatives	33min 16s	31min 56s	20,9	19,4
Évaluatives	42min 54s	39min 41s	26,9	24,1
Prédictives	29min 40s	45min 42s	18,6	27,7
Total	2h 42min 30s	2h 44min 50s	100	100

Le tableau 4.1 montre que l'équipe de conception travaillant de le LCAOCo a réalisé plus de tâches que l'équipe travaillant dans la salle de réunion traditionnelle (42 contre 37). L'équipe utilisant la salle traditionnelle a effectué plus de tâches descriptives (12 contre 11) que l'équipe utilisant les outils de collaboration du LCAOCo. Cependant l'équipe travaillant dans le LCAOCo a effectué plus de tâches explicatives (9 contre 8), évaluatives (11 contre 9), et surtout prédictives (11 contre 8).

Le tableau 4.2 montre que l'équipe ayant travaillé dans le LCAOCo a passé moins de temps sur les tâches descriptives (28,8% contre 33,6% du temps), explicatives (19,4% contre 20,9% du temps) et évaluatives (24,1% contre 26,9% du temps) que l'équipe travaillant dans la salle de réunion traditionnelle. L'équipe dans le LCAOCo a cependant passé plus de temps sur les tâches prédictives (27,7% contre 18,6% du temps) qui sont des tâches d'exploration de solutions et d'alternatives de conception.

Le temps passé sur des tâches descriptives, explicatives et évaluatives est légèrement moins important dans le cas de la collaboration dans le LCAOCo, et bien que certains écarts paraissent faibles, les résultats obtenus tendent à confirmer la première hypothèse de départ. Ainsi, les outils de collaboration du LCAOCo permettraient de réduire le temps passé sur les tâches descriptives, explicatives et évaluatives lors d'une réunion de conception. De plus, le temps passé sur les tâches prédictives est plus important dans le cas de la réunion ayant lieu dans le LCAOCo. Les résultats obtenus tendent ainsi à confirmer la deuxième hypothèse de départ. Les outils de collaboration du LCAOCo permettraient bien à une équipe de conception de consacrer plus de temps à des tâches prédictives. Les données obtenues tendent à confirmer la supériorité de la collaboration assistée par ordinateur dans le LCAOCo comparativement à la collaboration traditionnelle sur support papier.

4.1.2 Différences d'utilisation des artefacts en fonction du type de collaboration

Les enregistrements vidéo ont aussi été analysés qualitativement afin de déterminer si les outils de collaboration du LCAOCo favorisaient la visualisation, la manipulation, la modification, la communication et l'échange des artefacts de conception.

Visualisation et manipulation des artefacts de conception

Les participants de l'équipe de conception travaillant dans la salle de réunion traditionnelle ont choisi une configuration circulaire pour collaborer. Les plans et autres documents générés sur papier étaient étalés sur la table centrale pour être discutés ou modifiés. Les participants étant répartis autour de la table, et aucun ne percevait l'information sous le même angle.

Trois comportements ont alors été identifiés. Le premier est la manipulation mentale de l'information. Dans ce cas, les participants restaient à leur place et tournaient les plans ou esquisses dans leur tête. Le second comportement observé est le déplacement physique. Dans ce cas, les participants se levaient pour pouvoir partager une vision commune de l'information et éventuellement apporter des modifications aux documents. Le dernier comportement observé est la manipulation physique des documents. Dans ce cas, les participants retournaient physiquement (par exemple une rotation de 180 degrés) les esquisses et autres dessins afin de les voir dans le bon sens.

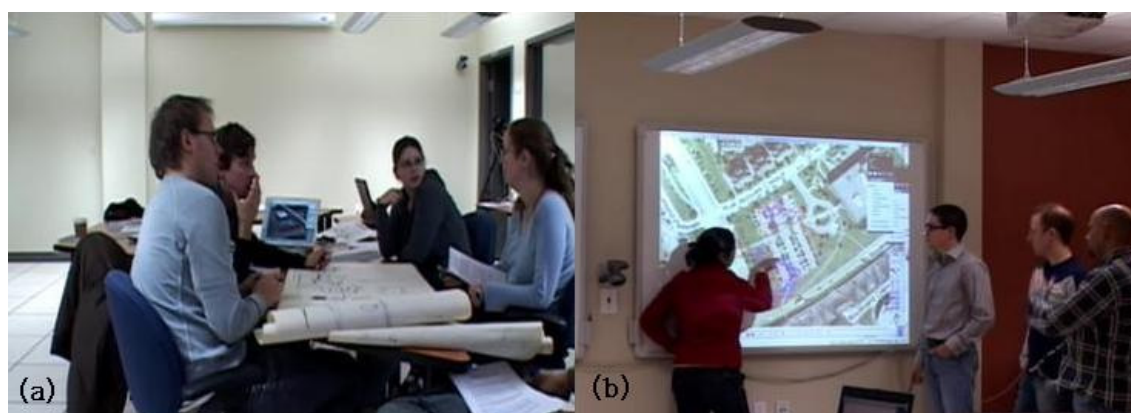


Figure 4.1 Collaboration traditionnelle autour de documents papiers (a), et collaboration digitale autour d'un écran interactif du LCAOCo (b).

Ces comportements ont généralement été observés lorsque les architectes préparaient leur concept. Ces derniers étaient assis côte-à-côte, comme c'est le cas sur la figure 4.1 (a), et les ingénieurs et le client devaient, eux, s'adapter au sens qui leur était imposé. Le déplacement et la manipulation physique ont aussi été remarqués lorsqu'un membre de l'équipe désirait partager une information pertinente provenant de son ordinateur personnel. Ces manipulations étaient sources de problèmes notamment en fin de réunion, lorsque les documents s'accumulaient, qu'il fallait naviguer dans le volume important de dessins et de plans, et qu'il fallait faire de la place sur la table pour les étaler.

En comparaison, les participants ayant travaillé dans le LCAOCo avaient choisi une configuration en demi-cercle dans laquelle tous les membres de l'équipe étaient tournés vers

un point commun : les écrans géants interactifs. Grâce au logiciel TeamSpot™, les participants pouvaient prendre le contrôle des écrans publics et montrer le leur grâce à la fonction « Show to » (*Voir* la partie 3.5.3, p. 60). Les écrans géants offraient à l'équipe une surface de visualisation beaucoup plus grande qu'un simple écran d'ordinateur. Les participants n'avaient donc pas besoin de se déplacer ni de tourner leur ordinateur, pour partager de l'information pertinente ou pour visualiser les esquisses des architectes ou les concepts des ingénieurs. À titre d'exemple, l'ingénieur en structure a utilisé la fonction « Show to » du logiciel TeamSpot™ afin de projeter le modèle de structure qu'il proposait pour le bâtiment sur les écrans géants. Grâce à cette fonction, il a pu, de sa place, présenter son modèle à ses collègues sans qu'aucun n'ait à se déplacer pour visualiser l'artefact généré. Dans le LCAOCo, le déplacement physique était simplement utilisé pour interagir avec les écrans géants interactifs, comme c'est le cas sur la figure 4.1 (b), et apporter des modifications ou commenter les plans et autres esquisses directement sur les tableaux grâce aux stylets et au logiciel d'annotation ActivStudio®.

Création, annotation et modification des artefacts

L'équipe de conception ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle a principalement collaboré à l'aide de crayons, de feutres et de feuilles de papiers (standard ou calque), les ordinateurs n'ayant été utilisés que pour chercher de l'information pertinente sur Internet ou convertir les esquisses au format digital en fin de réunion. Les dessins, plans et autres artefacts étaient ainsi créés, annotés et modifiés au feutre ou au crayon. L'avantage principal identifié lors des analyses vidéo était la possibilité pour chaque membre de l'équipe de participer facilement, à l'aide d'un simple feutre, à l'élaboration du concept. Mais les annotations sur papier étant physiques et permanentes, les participants devaient reproduire leurs dessins lorsque celles-ci devenaient trop nombreuses et incompréhensibles ou lorsqu'ils voulaient apporter des modifications importantes au concept. Ce processus de reproduction des esquisses était à la fois consommateur de temps et d'efforts mais aussi à l'origine d'erreurs potentielles ou d'oublis significatifs.

En comparaison, l'équipe ayant travaillé dans le LCAOCo a exclusivement utilisé les ordinateurs et les versions digitales des documents pour collaborer. Aucun document n'a été imprimé, et tous les artefacts étaient créés, annotés, et modifiés grâce aux technologies de l'information du laboratoire. Les participants ont ainsi utilisé le logiciel de dessin Google SketchUp pour élaborer leur concept et le logiciel ActivStudio® pour annoter les différents plans et dessins.

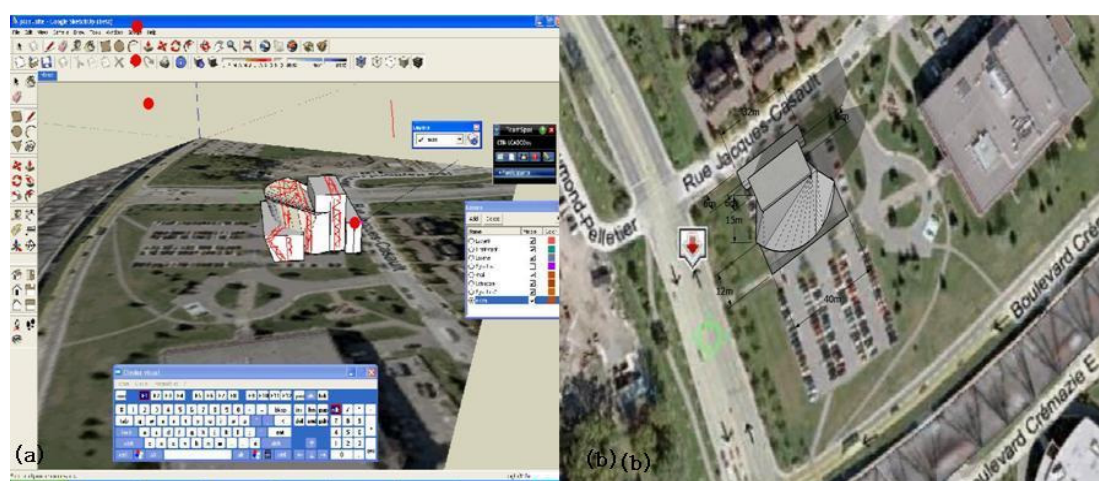


Figure 4.2 Capture d'écran du bâtiment conçu et annoté numériquement (a) et vue de dessus de l'implantation sur site (b).

La figure 4.2 montre le bâtiment conçu par l'équipe (a) ainsi qu'une vue de dessus du bâtiment implanté sur le site de construction (b). Grâce aux TI, les membres de l'équipe ont annoté et modifié leur concept autant qu'ils le voulaient, sans avoir à reproduire leurs dessins digitaux et sans avoir à attendre une éventuelle réunion ultérieure. Ils ont ainsi pu jouer avec la forme et le volume de leur bâtiment sans aucune restriction. Ils ont aussi pu tester différentes orientations et implantations sur site et ainsi explorer d'avantages de solutions de conception. Il semble donc que les outils de collaboration du LCAOCo ont permis à l'équipe de consacrer son temps à des tâches ajoutant de la valeur (c.-à-d. des tâches prédictives) plutôt que sur des tâches de reproduction d'artefacts.

Conversion et échange d'artefacts

À la fin de la réunion se tenant dans la salle traditionnelle, du temps (7min 30s) a été consacré à la conversion des esquisses réalisées sur papier au format digital afin d'obtenir un rendu photo réaliste du projet. Dans la réunion se tenant dans le LCAOCo, les esquisses ont directement été réalisées digitalement grâce au logiciel Google Sketch Up. L'équipe du LCAOCo n'a donc pas eu à convertir ses informations de projet. Le temps restant en fin de réunion (5min 10 s) a ainsi été utilisé pour l'échange électronique des plans, des modèles architecturaux et des détails de structure. L'avantage de la collaboration digitale est ici d'éviter à l'équipe de conception de passer du temps sur des tâches de retranscription d'information qui sont souvent source d'erreurs.

À la fin de la réunion traditionnelle, les participants ont pu quitter la réunion avec le modèle digital créé en fin de session. Cependant, un seul des membres a pu partir avec l'ensemble des documents papiers de conception créés, annotés et modifiés. À l'inverse, l'ensemble des membres de l'équipe ayant travaillé dans LCAOCo sont partis de la réunion avec la documentation complète des informations de projet. La collaboration digitale semble ici montrer sa supériorité, car tous les participants quittent la réunion avec l'ensemble des remarques et des modifications effectuées pendant la réunion. L'équipe peut ainsi travailler sur des versions communes et complètes des artefacts de conception.

4.2 Résultats tirés des questionnaires

Le questionnaire utilisé pour l'étude (*Voir Annexe III, p. 97*) a permis de recueillir les impressions des participants à l'étude concernant leur expérience de conception intégrée et d'évaluer qualitativement des attitudes, des sentiments, des efforts perçus, des difficultés, des avantages et des inconvénients mais aussi des préférences. La première partie du questionnaire était commune aux deux équipes de conception. La seconde partie du questionnaire était plus spécifique à l'évaluation de l'apport des outils numériques de collaboration. Les participants travaillant dans la salle de réunion traditionnelle n'ont pas eu à y répondre.

4.2.1 Auto-évaluations des participants

Une première série de questions demandait aux participants d'évaluer leur rencontre du standard de performance au travail, leur performance par rapport aux autres membres de l'équipe, ainsi que leur contribution à l'efficacité du groupe. Ces évaluations ont été recueillies sur des échelles de notation allant de 1 à 7 où la note 1 représente le plus mauvais résultat et la note 7 représente le meilleur résultat. Pour des raisons pratiques, l'équipe de conception ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle sera appelée l'équipe traditionnelle et l'équipe de conception ayant travaillé dans le LCAOCo sera appelée l'équipe LCAOCo.

Auto-évaluations du rencontre du standard de performance des membres de chaque équipe

Les membres de chaque équipe de conception de conception ont d'abord évalué leur rencontre du standard de performance. La figure 4.3 résume ces résultats.

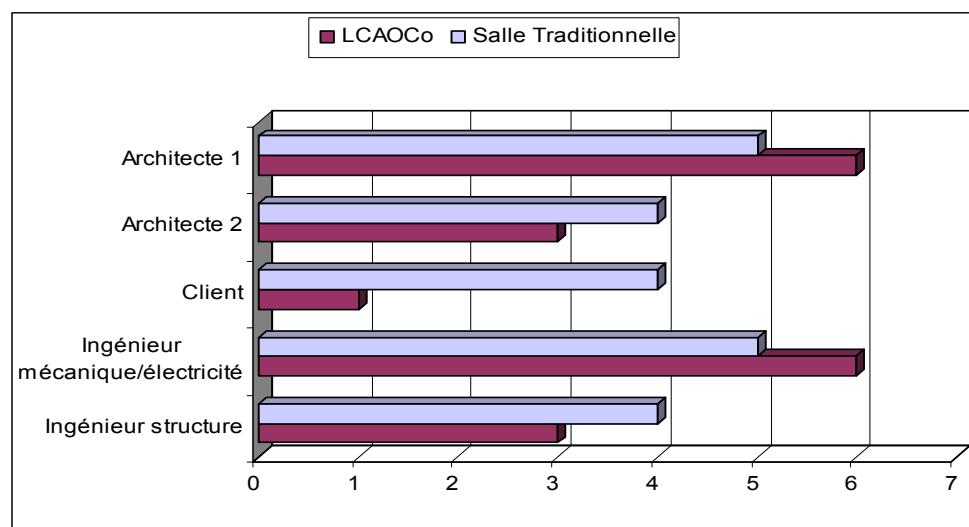


Figure 4.3 Auto-évaluations du rencontre du standard de performance des membres de chaque équipe.

Les membres de l'équipe traditionnelle ont globalement eu la même impression quant à leur performance. Ils ont évalué qu'ils rencontraient le standard de performance. En effet, l'architecte 1 et l'ingénieur mécanique se sont attribué la note 5/7. L'architecte 2, l'ingénieur structure et le client se sont eux, attribués la note 4/7.

Les évaluations des membres de l'équipe LCAOCo sont plus éparées. L'architecte 1 et l'ingénieur mécanique se sont attribué une note de 6/7 alors que l'architecte 2 et l'ingénieur structure se sont attribué la note de 3/7. Enfin le client s'est attribué la note de 1/7.

La comparaison de ces évaluations semble montrer que les membres de l'équipe ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle sont globalement plus satisfait de leur performance que les membres de l'équipe ayant travaillé dans le LCAOCo.

Auto-évaluations de la performance des membres des équipes par rapport au reste groupe

Les membres de chaque équipe ont ensuite évalué leur performance individuelle comparativement au reste du groupe. La figure 4.4 résume ces évaluations.

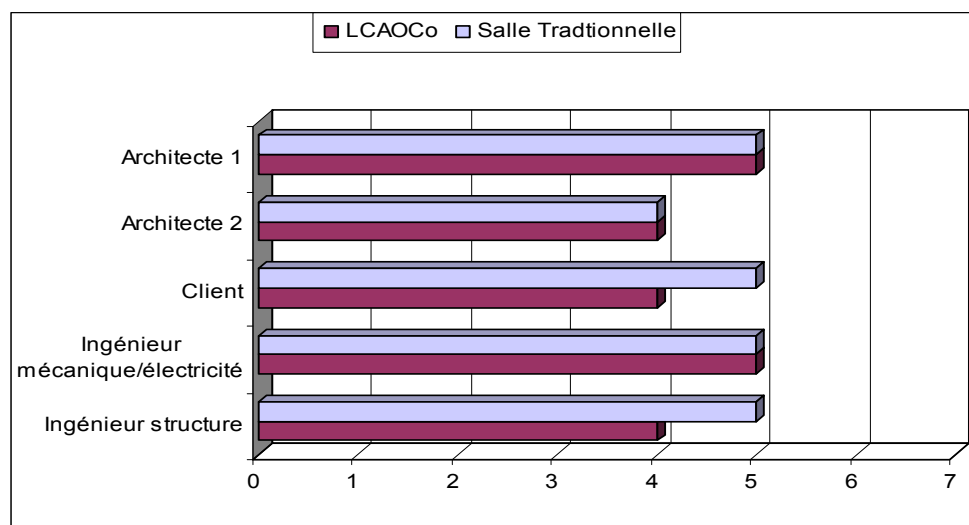


Figure 4.4 Auto-évaluations de la performance des membres des équipes par rapport au reste du groupe.

Les résultats par équipe et par discipline de ces évaluations sont homogènes. Dans chacune des équipes, les participants ont évalué qu'ils performaient à un niveau équivalent à leurs partenaires.

Auto-évaluations de la contribution des membres à l'efficacité de leur équipe

Les membres de chaque équipe ont évalué leur contribution à l'efficacité du groupe. La figure 4.5 résume ces évaluations.

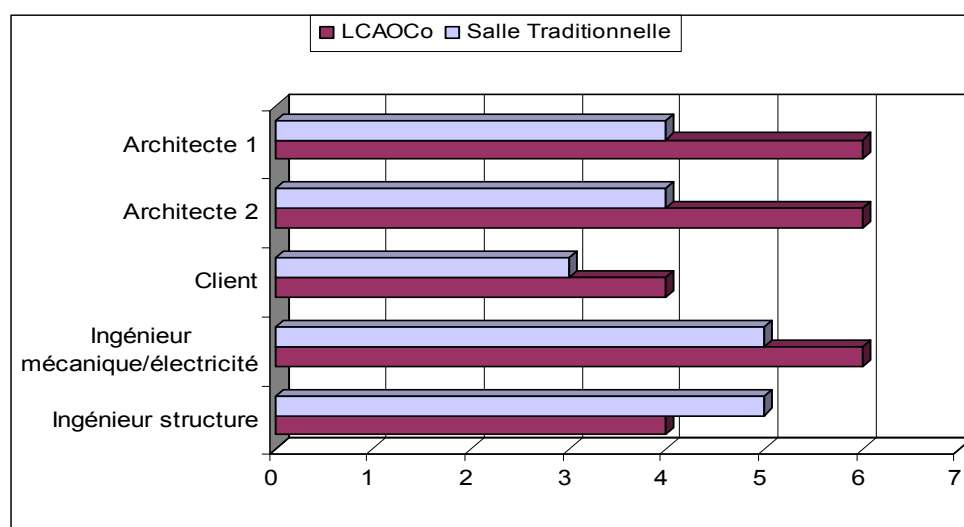


Figure 4.5 Auto-évaluations de la contribution des membres à l'efficacité de leur équipe.

Les membres de l'équipe traditionnelle ont évalué qu'ils contribuaient de façon modérée à l'efficacité du groupe. Bien que l'évaluation du client sur sa contribution soit légèrement en retrait, ces résultats montrent que les membres de l'équipe traditionnelle ont participé de façon homogène à l'effort commun.

Dans l'équipe LCAOCo, les architectes et l'ingénieur en systèmes mécaniques du bâtiment ont estimé qu'ils contribuaient plus à l'efficacité du groupe que les autres membres.

Ces évaluations semblent ainsi montrer que les architectes ayant travaillé dans le LCAOCo ont plus contribué à l'efficacité de leur équipe que les architectes ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle.

4.2.2 Commentaires des participants de l'équipe de conception ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle

Les questionnaires utilisés pour l'étude ont permis de recueillir les impressions des participants ayant travaillé dans la salle de réunion classique. Les deux sous-parties suivantes recensent ses impressions et les classent selon qu'elles correspondent à des avantages ou des inconvénients du support papier comme support de la collaboration multidisciplinaire.

Avantages du papier comme support de l'information

Les participants se sont accordés sur le fait que le support papier est le support traditionnel des réunions de conception actuelles. Les professionnels ont l'habitude de travailler avec ce support. L'avantage noté par les participants est qu'aucun temps d'adaptation n'est nécessaire.

Pour l'architecte 1, le papier permet « à tout le monde de participer au design en prenant simplement un crayon ». Pour le deuxième architecte, le papier et le crayon sont les moyens favorisés par les architectes pour exécuter le design. Il note ainsi que « traditionnellement, on préfère dessiner sur du papier ou un tableau conventionnel ».

Pour l'ingénieur en structure, le papier permet « à tous de gribouiller dessus et à tous de participer au design » et, « le papier est rassembleur car toute l'équipe discutait des concepts souvent autour des grandes feuilles de dessin ».

Pour les ingénieurs et pour le client, l'avantage principal du papier est de pouvoir apporter sa contribution au design (par exemple suggérer une forme, une orientation) sans avoir à

connaître les logiciels spécifiques utilisés par les architectes tels Google SketchUp, revit Architecture ou ArchiCAD.

Limites du papier comme support de l'information

Les membres de l'équipe de conception traditionnelle ont remarqué quelques inconvénients au papier comme support de l'information. Pour les architectes, le papier ne permet pas de « visualiser rapidement les éléments importants du projet (empreinte, orientation, volume) comme cela est possible grâce à nos logiciels de dessin ». Ces mêmes architectes notent surtout que « ne pas pouvoir visualiser les informations pertinentes freine le processus de communication et d'explication des informations aux autres participants ».

Pour l'ingénieur en structure, les architectes avaient tendance à collaborer seuls autour de leur feuille de papier et «élaborer leur concept de leur côté ». L'ingénieur en structure note aussi que le support papier « n'a pas optimisé nos interactions ».

Les participants ont été unanimes sur le fait que le support papier est « peu souple ». Pour l'ingénieur en mécanique du bâtiment et pour le client, avec le support papier, il est «difficile de voir les modifications au design en temps réel ».

Enfin, les ingénieurs et le client ont noté les inconvénients liés au nombre de dessins et d'esquisses générées pendant la réunion. Il devenait difficile en fin de réunion de «s'y retrouver dans tous les dessins et de retrouver les informations pertinentes que nous cherchions ».

Récapitulatif des commentaires de l'équipe ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle

Les participants ont noté aussi bien les avantages que les inconvénients du papier comme support de l'information lors de leur collaboration.

L'avantage majeur noté par les membres de l'équipe est que le papier est un support familier avec lequel ils ont l'habitude de travailler. Ainsi, aucun temps d'adaptation n'est nécessaire. De plus, il est facile de collaborer avec un simple crayon. Chaque participant peut ainsi participer à l'élaboration du concept sans avoir à connaître les logiciels spécifiques des différentes disciplines.

Cependant, les participants ont noté que leurs interactions étaient limitées notamment à cause du manque de souplesse du papier. Ils notent principalement que collaborer sur support papier freine le processus de communication et d'explication des informations de projet aux autres participants car certaines données sont difficilement visualisables. Ensuite, les membres de l'équipe ont remarqué qu'il était laborieux de mettre à jour les esquisses et les dessins. Enfin, il a été noté que naviguer et trouver les informations pertinentes au projet dans le grand nombre de document papiers générés devient fastidieux, surtout en fin de réunion.

4.2.3 Commentaires des participants de l'équipe de conception ayant travaillé dans le LCAOCo

Dans sa méthode d'observation d'utilisateurs se servant d'un nouveau produit, Gomoll (1990) préconise une séance de démonstration du fonctionnement de ce dit produit. L'équipe ayant travaillé dans le LCAOCo a donc eu droit à une séance de formation à l'utilisation des différents outils de collaboration du laboratoire avant la charrette de conception. Les deux sous-parties suivantes présentent respectivement l'évaluation de cette séance de formation ainsi que l'évaluation de l'apport des technologies au travail d'équipe. Cette section résume les évaluations spécifiques à l'apport des outils numériques de collaboration du LCAOCo.

Évaluation de la séance de formation à l'utilisation des technologies de l'information du LCAOCo

Les évaluations se sont faites sur une échelle de notation de 1 à 5 où 1 représente la notion « très en désaccord » et 5 la notion « très en accord ». La figure 4.6 présente les résultats des évaluations liées à l'utilité de la formation.

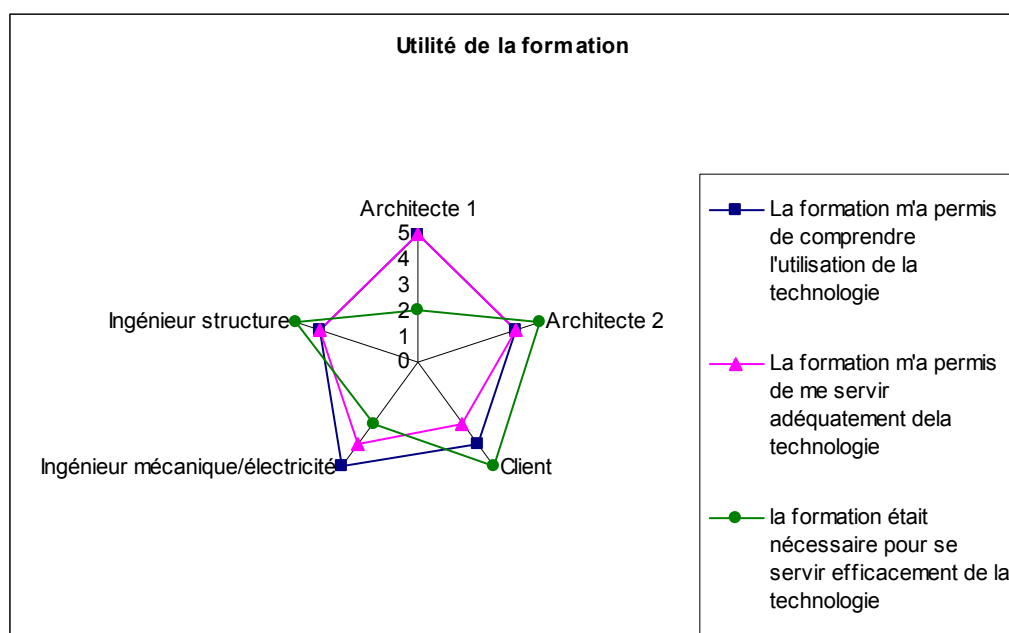


Figure 4.6 Évaluation par les participants à l'étude de l'utilité de la formation sur les technologies du LCAOCo.

Comme le montre la figure 4.6, les participants ont jugé que la formation a été utile, non seulement pour comprendre les technologies mises en place, mais aussi pour les utiliser adéquatement. La majorité du groupe a aussi jugé qu'il aurait été difficile d'utiliser les technologies sans la formation. Seul l'architecte 1 estime que la formation n'était pas des plus nécessaire. Dans leurs commentaires, le client et l'ingénieur en structure rajoutent qu'une formation poussée est nécessaire pour « s'adapter et s'habituer à travailler dans un environnement digital » et pour « utiliser efficacement les outils de collaboration du LCAOCo, notamment les logiciels TeamSpot™ et ActivStudio® ».

Évaluation de l'apport des technologies de l'information du LCAOCo

Le questionnaire des participants ayant travaillé dans le LCAOCo comportait une partie d'évaluation de l'apport des technologies sur les performances individuelles et collectives. La figure 4.7 présente les résultats des évaluations de l'apport des technologies au niveau individuel.

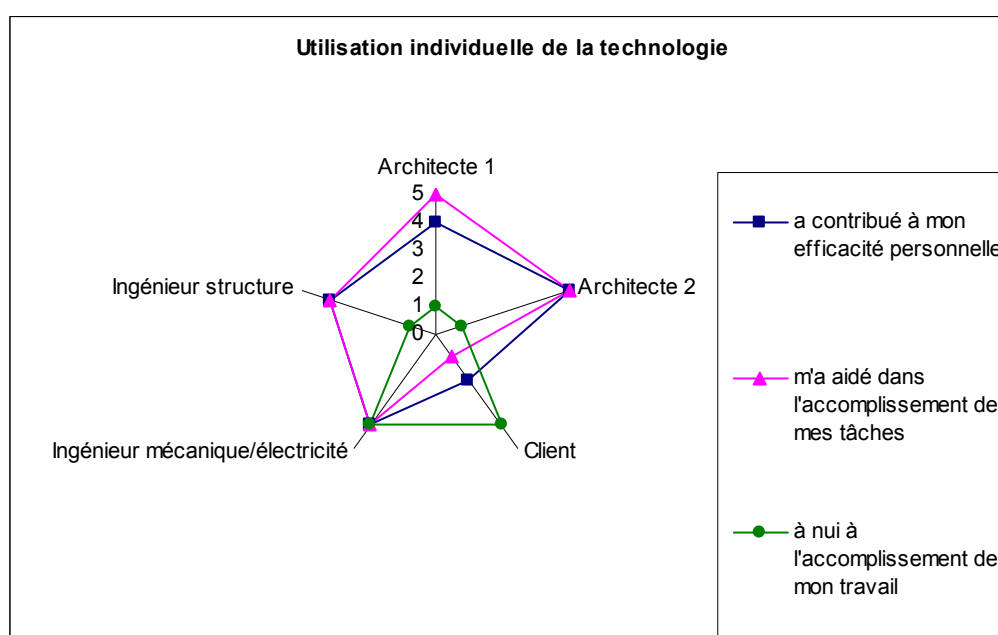


Figure 4.7 Évaluation par les participants à l'étude de l'utilisation individuelle des technologies du LCAOCo.

Comme le montre la figure 4.7, les technologies de l'information mises en place dans le LCAOCo ont plutôt bien contribué à l'efficacité individuelle des membres. De plus elles les ont aidés dans l'accomplissement de leurs tâches. Seul le client et l'ingénieur en mécanique du bâtiment sont plus réservés, et pensent que les outils de collaboration du LCAOCo ont nui à l'accomplissement de leur travail. Pour eux, le « temps d'apprentissage des fonctionnalités des logiciels ActivStudio® et TeamSpot™ » est l'élément limitant l'utilisation des technologies du laboratoire. Pour les architectes, les technologies de l'information représentent surtout « un défi d'adaptation au travail avec de nouvelles méthodes ». En effet,

selon eux, le papier est encore leur support préférentiel et l'utilisation des technologies de l'information n'est pas encore un réflexe.

La figure 4.8 présente les résultats des évaluations de l'apport des technologies du LCAOCo au niveau du travail d'équipe.

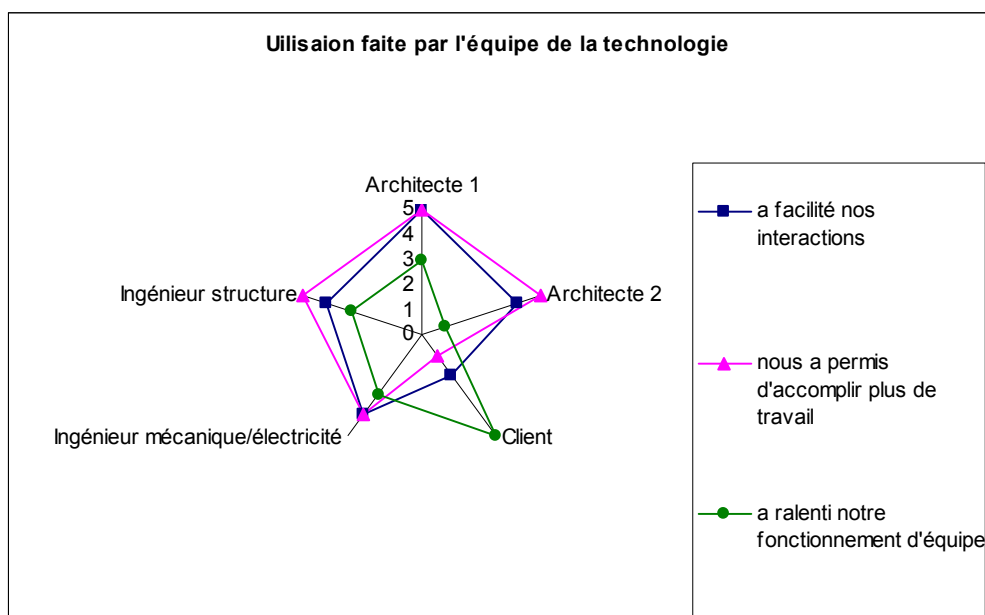


Figure 4.8 Évaluation par les participants à l'étude de l'utilisation faite par l'équipe des technologies du LCAOCo.

La figure 4.8 révèle que les technologies de l'information ont facilité l'interaction entre les membres de l'équipe, et qu'elles leur ont permis d'accomplir plus de travail. Seul le client est plus réservé. Il note que certaines technologies de l'information (TeamSpot™ et ses fonctions Show to et Share To) n'ont pas bénéficié à l'équipe et qu'elles ont plutôt eu tendance à ralentir le groupe. Il affirme ainsi qu'utiliser TeamSpot™ serait « plus utile pendant la phase de développement » (c.-à-d. de conception détaillée).

Les participants rapportent dans leurs commentaires que les tableaux interactifs ont été l'outil de collaboration le plus efficace à leur travail d'équipe. Pour le premier architecte, les écrans géants interactifs permettaient « de voir nos dessins évoluer », « à tout le monde de les

commenter », mais surtout « de travailler directement avec nos logiciels favoris, sans avoir à retranscrire un dessin papier sur SketchUp ». Le deuxième architecte a apprécié de « se tenir devant le tableau interactif » et de pouvoir « dessiner et expliquer à tout le monde les choix dans le design du bâtiment ».

Pour l'ingénieur en structure, le mode de travail autour des écrans interactifs a permis « d'expliquer à tout le monde et de facilement commenter les dessins et la conception en cours », et pour l'ingénieur en mécanique du bâtiment, l'avantage du LCAOCo est de pouvoir « travailler directement sur les ordinateurs » et « de pouvoir échanger des documents et de l'information rapidement grâce à TeamSpot™ ».

Ensuite, le client note que la taille des écrans interactifs permet une meilleure visualisation des informations de projet qu'un écran d'ordinateur classique. Il ajoute aussi que la possibilité d'interagir avec les écrans grâce aux stylets rend la collaboration plus souple que la feuille de papier et le crayon, car les dessins de conception sont modifiables à volonté.

Enfin l'ensemble des participants note qu'il est « agréable de pouvoir annoter et retravailler ses concepts à volonté, et cela sans avoir à changer de feuille ». Les ingénieurs et le client apprécient qu'il n'y ait « ni ratures et ni encombrement » des artefacts de design.

Récapitulatif des commentaires de l'équipe ayant travaillé dans le LCAOCo

D'après les évaluations et les commentaires des participants, les technologies de l'information du LCAOCo ont globalement facilité le travail individuel ainsi que le travail de groupe. Les outils de collaboration ont aussi facilité les interactions des membres avec les artefacts de conception d'une part, et les interactions avec les autres membres de l'équipe d'autre part. L'avantage majeur noté par les participants est de pouvoir travailler directement sur des informations digitales avec les logiciels qu'ils connaissent. De plus, les participants ont apprécié pouvoir annoter, modifier et mettre à jour en temps réel les dessins, les esquisses et toutes les informations pertinentes grâce aux écrans géants interactifs et aux stylets de

contrôle. Enfin selon les participants, les écrans ont facilité la visualisation des informations et le processus de communication de ces informations.

Concernant les inconvénients du LCAOCo, les membres de l'équipe s'accordent sur le fait qu'un certain temps d'adaptation est nécessaire afin d'optimiser l'utilisation de nouveaux outils. Les architectes ont de plus fait remarqué qu'il est difficile de faire changer les méthodes de conception et de collaboration de professionnels qui sont souvent réticents à utiliser des outils avec lesquels ils n'ont pas l'habitude de travailler. Pour les participants, le changement dans les méthodes de travail reste l'élément limitant à l'intégration des technologies de l'information en collaboration.

4.3 Vérification des hypothèses de départ

Les différents résultats obtenus à partir des enregistrements vidéo tendent à montrer que les outils de collaboration du LCAOCo permettent à une équipe de conception de réduire le temps passé sur les tâches descriptives, explicatives et évaluatives, paraissant ainsi confirmer la première hypothèse de la recherche. Les résultats obtenus ont aussi permis de déterminer que les TI du LCAOCo ont permis à une équipe de conception de passer plus de temps sur des tâches prédictives, ce qui tend à confirmer la seconde hypothèse de la recherche.

Les résultats obtenus à l'aide des enregistrements vidéo et des questionnaires identifient que la collaboration utilisant le papier comme support des artefacts présente les avantages de ne demander aucun effort d'adaptation et de permettre à tous les membres de l'équipe de participer au concept avec un simple crayon. Cependant, l'analyse des données paraît confirmer la troisième hypothèse de la recherche en montrant la supériorité des outils de collaboration digitaux dans les domaines suivants :

- La visualisation des informations de projet et de la communication de l'information aux membres de l'équipe (grâce aux écrans géants et au logiciel de collaboration TeamSpot™ qui permet à n'importe quel utilisateur de partager ses modèles et ses informations).

- La création, l'annotation et la modification interactive des artefacts de conception (grâce aux tableaux interactifs, aux stylets, au logiciel d'annotation ActivStudio® et aux différentes applications de dessin architectural (Google SketchUp®) et de conception (AutoCAD®) qui permettent une gestion interactive des artefacts. Il n'y a ainsi plus besoin d'attendre les réunions suivantes pour effectuer des modifications dans le projet)
- Le transfert d'informations entre partenaires de projet (grâce au logiciel de collaboration TeamSpot™ qui permet l'échange de données et de documents instantanément entre tous les membres de l'équipe)

Pourtant, les résultats montrent que l'intégration des technologies de l'information en conception et en collaboration se heurte à des réticences au niveau de la modification des pratiques notamment dues à la courbe d'apprentissage des nouveaux outils.

CHAPITRE 5

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'analyse des données vidéo a révélé que l'équipe de conception ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle a passé plus de temps sur des tâches descriptives, explicatives et évaluatives, et moins de temps sur des tâches prédictives. Le premier phénomène pouvant expliquer ces résultats est lié à la fragmentation du secteur de la construction. Les recherches de Fruchter et Emery (1999) ont montré que le secteur de la construction était fragmenté au niveau de l'industrie mais aussi de l'enseignement. Ainsi, les professionnels comme les étudiants sont généralement cantonnés dans leur discipline et ne sont souvent pas conscients des méthodes de travail et des modèles de pensée des autres disciplines. Les études de Liston et al. (2001), de Johanson et al. (2003) et de Schreyer et al. (2005) ont de plus dévoilé que les modèles de représentation des informations de projet variaient entre les différentes disciplines d'une équipe de projet, et qu'utiliser des versions imprimées des artefacts ralentissait le processus transmission de savoir. Ainsi, lors des réunions de conception utilisant le papier comme support des artefacts, les professionnels passent généralement une grande partie de leur temps à décrire et à rendre intelligibles les informations qu'ils ont créées. Ces études viennent donner de la consistance aux remarques des architectes de l'équipe traditionnelle qui ont reconnu que le papier ne permettait pas de communiquer rapidement à des non-experts certaines informations pertinentes et certains choix de conception architecturale.

Le second phénomène pouvant expliquer ces résultats est lié au support utilisé pour la collaboration. Comme le décrivent les études de Fruchter (1999) et de Liston et al. (2001), utiliser le papier comme support des documents de conception, et, donc de la collaboration, limite la capacité d'une équipe de projet à modifier les artefacts qu'elle produit ou qu'elle analyse. Ces deux études rapportent en effet que le papier est un support qui rend les informations de projet statiques. Bien qu'il soit possible d'annoter les documents de conception, il est quasiment impossible d'y apporter des modifications et d'effectuer des

mises à jour instantanément. L'étude de Guimbretière et al. (2001) complète ces observations et rajoutent qu'une équipe de projet utilisant le papier comme support de la collaboration est confrontée à un processus de reproduction des artefacts qui consommateur de temps et d'efforts. Ainsi, lorsque des modifications doivent être effectuées, l'équipe doit soit photocopier les artefacts, soit les reproduire, diminuant ainsi le temps passer à l'exploration d'alternatives. L'analyse qualitative des enregistrements vidéo abonde dans ce sens. En effet, lors de la réunion traditionnelle, l'équipe a du reproduire à plusieurs reprises ses esquisses pour pouvoir y apporter des modifications. A l'inverse, l'équipe travaillant avec les outils de collaboration du LCAOCo a pu annoter et modifier à volonté les différents artefacts digitaux grâce aux écrans géants interactifs et au logiciel d'annotation ActivStudio®, et donc concentrer ses efforts sur les tâches prédictives.

Les analyses des évaluations des différents participants soulignent deux résultats qu'il paraît pertinent de mettre en lumière et d'expliquer. D'abord, la figure 4.3 a montré que les participants ayant travaillé dans la salle de réunion traditionnelle sont globalement plus satisfaits de leur performance que les membres de l'équipe ayant travaillée dans le LCAOCo. La différence entre ces évaluations (par équipe et par discipline) s'explique principalement par le fait que les membres de l'équipe LCAOCo ont utilisé des logiciels qui leur étaient jusque là inconnus tels TeamSpot™ ou Activstudio®. Les recherches d'Allen et al. (2005) ont montré qu'intégrer de nouveaux outils de collaboration demande de traverser une nouvelle courbe d'apprentissage, ce qui représente pour les concepteurs d'un projet (c.-à-d. les architectes et les ingénieurs) un risque au niveau de la productivité et de la performance des équipes de conception. La courbe d'apprentissage des logiciels TeamSpot™ et ActivStudio® étant non négligeable, elle semble avoir joué un rôle négatif dans l'évaluation de la performance de l'équipe ayant collaboré dans le LCAOCo, même si cette dernière a pu consacrer près de 30% de son temps sur des tâches prédictives et d'explorations d'alternatives de conception, alors que l'équipe traditionnelle n'y a passé « que » 18% du temps.

Malgré les avantages apportés par les outils de collaboration, l'équipe LCAOCo ne semble que moyennement satisfaite de sa performance. Le risque est ici que l'adoption des outils de collaboration du LCAOCo soit ralentie si l'utilité perçue par les participants se révèle trop faible comparée à la facilité d'utilisation (Rezgui 2007). Ensuite, il est à noter que l'architecte 1 de l'équipe LCAOCo a jugé qu'il excédait le standard de performance (il s'est attribué la note de 6/7). Cette évaluation mise en correspondance avec celles de la figure 4.5, dans laquelle les architectes de l'équipe LCAOCo ont estimé qu'ils contribuaient plus que leurs partenaires à l'efficacité du groupe (en s'attribuant la note de 6/7), amène au deuxième point pertinent à expliquer : le rôle prédominant des architectes lors d'une réunion de conception. Ces évaluations et l'analyse des vidéos confirment un problème déjà détecté dans les recherches de Forgues et al. (2009). Elles montrent en effet que la maîtrise spécifique des technologies fournit, dans ce contexte, des moyens d'exercer une position de contrôle sur le processus de conception. Puisque les architectes de l'équipe LCAOCo étaient les seuls à maîtriser le logiciel de modélisation 3D Google SketchUp, la majorité des modifications dans le concept devait passer par eux. Ils ont ainsi pris le contrôle de la réunion et ont conforté leur rôle prédominant, répétant les patrons de comportement traditionnels dans lesquels les ingénieurs sont parfois relégués à un simple rôle secondaire de fournisseurs de données techniques permettant de confirmer les concepts élaborés par les architectes (Forgues et al. 2009). Dans ce cas, les technologies semblent accentuer des comportements qu'elles devaient initialement supprimer.

CONCLUSION

Étape clé du cycle de vie d'un bâtiment, la conception est aujourd'hui un défi social, économique et environnemental majeur. La conception est définie comme un processus social de prise de décisions et d'explorations d'alternatives dans lequel les professionnels de la construction doivent collaborer afin de délivrer un produit répondant au mieux aux exigences du client. La collaboration d'individus aux champs d'expertises variés est l'élément clé du processus de conception. Pourtant, l'industrie de la construction se retrouve confrontée à des problèmes de fragmentation et de séquentialisation du processus de conception. Ces deux phénomènes génèrent des îlots opérationnels qui dégradent la communication et de la collaboration des équipes de projet, aboutissant ainsi à des solutions sous-optimales et des bâtiments aux performances inadéquates. Pourtant, les bâtiments doivent aujourd'hui satisfaire des exigences de plus en plus élevées sur le plan des coûts, de la qualité et des performances générales. Les professionnels de l'industrie de la construction se retrouvent donc confrontés au besoin d'adopter de nouvelles pratiques favorisant l'intégration multidisciplinaire et l'intégration des technologies de l'information.

La revue de la documentation scientifique a montré les bénéfices de l'intégration multidisciplinaire. Elle a aussi montré que l'interopérabilité pouvait être facilitée grâce aux modèles de produits (BIM) et aux standards d'échanges de données (IFC). Ces approches facilitent l'échange d'informations entre applications, mais elles se révèlent encore insuffisantes pour supporter efficacement la collaboration d'une équipe de projet lors d'une réunion de conception. Bien qu'ils génèrent les artefacts de conception numériquement grâce aux ordinateurs, les professionnels de l'industrie de la construction continuent de collaborer autour de versions imprimées de ces artefacts. Mais le support papier a montré ses limites, et adopter de nouveaux outils de collaboration devient une nécessité.

La problématique du besoin en nouveaux outils de collaboration est ici abordée en présentant un nouvel espace de travail collaboratif assisté par ordinateur : le LCAOCo ou Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception. Ce projet de recherche présente une

vision de la conception dans laquelle les technologies de l'information sont mises au service du travail d'équipe, de la collaboration multidisciplinaire, et de l'innovation. Le concept central du LCAOCo est de combiner dans un seul espace de travail, des équipements (mobilier flexible, écrans géants interactifs, stylets de contrôle) et des logiciels du marché (TeamSpot™, Activstudio®, logiciels de conception et d'analyse divers) permettant aux concepteurs de bâtiments de faciliter le partage de connaissances et d'informations d'une part, et de faciliter les interactions avec les artefacts digitaux de conception d'autre part.

L'objectif de ce projet de recherche était d'évaluer l'impact des outils de collaboration du LCAOCo sur les réunions de conception multidisciplinaires. Lors d'une réunion de conception, les membres d'une équipe de projet doivent effectuer des tâches descriptives, explicatives, évaluatives et prédictives. Ces dernières tâches sont identifiées comme celle liées à l'innovation, à la créativité et à la délivrance d'un produit de qualité. La stratégie de mesure de performance employée dans ce projet a donc consisté à comparer le temps que passait deux équipes multidisciplinaires de conception sur ces différents types de tâches en fonction de leur type de collaboration. Une équipe travaillait avec les outils traditionnels, et l'autre avec les outils de collaboration du LCAOCo. L'analyse des données obtenues semble permettre de répondre par l'affirmative à la question de recherche. Les outils de collaboration du LCAOCo permettraient bien d'augmenter l'efficacité des équipes multidisciplinaires de projet lors des réunions de conception. En effet, l'analyse des données obtenues a permis de déterminer qu'une équipe de conception utilisant les outils de collaboration du LCAOCo peut réduire le temps qu'elle passe sur des tâches descriptives, explicatives et évaluatives, confirmant ainsi la première hypothèse de la recherche. L'analyse des données semble aussi identifier que cette même équipe consacre plus de temps aux tâches prédictives tendant ainsi à confirmer la seconde hypothèse de la recherche. L'analyse des enregistrements vidéo et des questionnaires tend enfin à montrer que les outils de collaboration digitaux sont supérieurs aux outils traditionnels de collaboration dans les domaines suivants :

- La visualisation des informations de projet et de la communication de l'information aux membres de l'équipe (grâce aux écrans géants et au logiciel de collaboration TeamSpot™)

- qui permet à n'importe quel utilisateur de partager instantanément ses modèles et ses informations).
- La création, de l'annotation et de la modification interactive des artefacts de conception (grâce aux tableaux interactifs, aux stylets, au logiciel d'annotation ActivStudio® et aux différentes applications de dessin architectural (Google SketchUp®) et de conception (AutoCAD®) qui permettent une gestion interactive des artefacts. Il n'y a ainsi plus besoin d'attendre les réunions suivantes pour effectuer des modifications dans le projet).
 - Le transfert d'informations entre partenaires de projet (grâce au logiciel de collaboration TeamSpot™ qui permet l'échange de données et de documents instantanément entre tous les membres de l'équipe).

Cependant, la recherche a identifié que l'intégration des technologies de l'information en collaboration lors des réunions de conception se heurte à des réticences au niveau de la modification de pratiques qui sont ancrées dans les habitudes, et enseignées dès l'université. L'autre effet limitant l'intégration des TI est la courbe d'apprentissage des technologies. Comme tous les nouveaux outils, les technologies du LCAOCo demandent un certain temps d'adaptation avant d'optimiser leur utilisation. Ce temps d'adaptation effraie certains professionnels qui ne veulent pas risquer de perdre en efficacité et en performance. Enfin, la maîtrise technique de certains outils par un individu semble renforcer des comportements qu'elle devait éradiquer, notamment la prise de contrôle de la réunion par un concepteur maîtrisant mieux les outils que ses partenaires, et ce au détriment du travail d'équipe.

Les premiers travaux de recherche au LCAOCo donnent des résultats encourageants quant à l'intégration des outils de collaboration en conception. Le laboratoire pourrait grandement bénéficier aux équipes multidisciplinaires de projets de construction. Le LCAOCo offre en effet un environnement digital favorisant les diverses interactions entre concepteurs d'une part, et les interactions avec les artefacts de conception d'autre part. En rendant intelligibles plus rapidement les informations de projet, les membres d'une équipe de conception pourraient détecter les inconsistances dans les phases précoces de la conception, explorer

plus d'alternatives, trouver des solutions innovantes adéquates et ainsi délivrer un produit rencontrant les exigences de coût, de qualité et de performances définies par le client.

Finalement, bien que d'ordre exploratoire et réalisée avec deux équipes multidisciplinaires, cette recherche apporte des résultats consistants quant à l'apport des outils de collaboration du LCAOCo sur les réunions de conception. Cependant, les écarts mesurés entre la collaboration traditionnelle et la collaboration digitale pourraient être plus significatifs. Il apparaît alors nécessaire de poursuivre les travaux entamés dans ce projet pour confirmer l'impact des TI du LCAOCo sur la performance des équipes de projet. Les travaux futurs pourraient incorporer des études statistiques comparatives à partir d'échantillons suffisamment importants pour une validation très rigoureuse. Ensuite, une méthodologie de travail à l'intérieur du LCAOCo pourrait être développée afin d'optimiser l'utilisation des outils numériques. Enfin, la validation de ces outils doit se faire auprès des professionnels de l'industrie, dans des projets de construction réels pour une plus grande fiabilité et un caractère généralisable accru, pour faire adopter le LCAOCo comme un outil standard de collaboration, et pour encourager la modification des pratiques en conception et en collaboration.

RECOMMANDATIONS

La recherche au Laboratoire de Collaboration Assistée par Ordinateur en Conception est aussi bien d'ordre théorique que pratique. Elle ambitionne d'étudier dans un contexte réel les fondations théoriques et fonctionnelles de la collaboration en conception. Le but visé étant de détecter les mauvaises pratiques et d'encourager un changement dans les méthodes actuelles de collaboration.

Le LCAOCo offre une vision de la conception dans laquelle les technologies de l'information sont mises au service du travail d'équipe, de la collaboration multidisciplinaire, et de l'innovation. Dans le laboratoire, la création, la modification et la gestion des artefacts de conception se fait numériquement. Cette modification des pratiques doit passer par une validation en contexte réel auprès des étudiants mais aussi des professionnels de l'industrie. À cette fin, le laboratoire pourrait être utilisé dans le cadre d'un cours en conception intégrée ou dans le cadre d'un concours tel « Écologez » qui se déroule chaque année à l'École de technologie supérieure à Montréal. Ce concours organisé sous forme de charrette de conception serait une étude de cas idéale et réaliste de réunions de conception intégrée. De plus, les extraits des équipes sont jugés par un jury neutre. Cela permettrait à la fois de comparer les processus de collaboration (traditionnel et numérique) et la qualité des bâtiments conçus lors du concours. Un tel concours permettrait aussi de sensibiliser les étudiants et les professionnels participants au besoin d'intégrer les technologies de l'information en collaboration.

Ce projet de recherche a mis en exergue la fragmentation de l'industrie de la construction d'une part, et la fragmentation de l'enseignement d'autre part. Développer un cours de conception intégrée dans le cadre d'un partenariat entre l'École de technologie supérieure et l'École d'architecture de l'Université de Montréal paraîtrait pertinent pour lutter contre ce deuxième phénomène. Ce cours pourrait donner aux étudiants une vision holistique de la conception et permettrait probablement de participer à une modification des pratiques en conception en brisant les barrières disciplinaires. D'autre part, ce cours serait propice à

l'utilisation du LCAOCo. Il fournirait un contexte d'étude supplémentaire aux chercheurs du LCAOCo dans lequel ils pourraient collecter un grand nombre de données quant à l'impact des outils de collaboration numériques sur le contenu des réunions de conception, tout en prônant l'intégration multidisciplinaire et l'intégration des technologies de l'information en conception.

Enfin, développer une méthodologie d'utilisation claire des outils du laboratoire pourrait être pertinent. Elle permettrait aux professionnels et aux étudiants travaillant dans le LCAOCo d'optimiser l'emploi des technologies. Enfin, la validation des outils doit se faire sur un échantillonnage suffisamment important et sur une durée suffisamment longue afin d'atténuer l'effet d'apprentissage des outils afin d'étudier leurs impacts sur l'ensemble des étapes du processus de conception d'un bâtiment, c'est-à-dire du design conceptuel au design détaillé.

ANNEXE I

PROTOCOLE D'OBSERVATION

Avant la charrette de conception

Avant que la charrette de conception ne commence, il est nécessaire de vérifier les outils de collaboration à tester afin de minimiser les biais dus à un mauvais fonctionnement de ces derniers.

Lorsque les participants arrivent dans le LCAOCo, il est nécessaire de former les participants utilisant l'environnement digital à l'emploi des technologies du laboratoire. Pour cela, il paraît judicieux de se servir du protocole employé par Kathleen Gomoll (1990) pour l'observation d'utilisateurs se servant d'un nouveau produit. La formation consiste à :

- Décrire aux participants le but de l'observation.
- Présenter les technologies du laboratoire CAOCo et montrer aux participants comment elles fonctionnent.
- Expliquer aux participants que les concepteurs du LCAOCo n'interviendront qu'en cas de réel problème avec l'utilisation des technologies.
- Décrire aux participants le projet sur lequel ils vont travailler.
- La pose de questions préliminaires par les participants.

Ce protocole est à respecter avant que la phase de test ne commence. Il faut compter quarante cinq minutes à une heure de formation.

Pendant la charrette de conception

Les tests se déroulent en deux ateliers de trois heures chacun, sous forme de charrette de conception intégrée. Une équipe de projet travaille avec les technologies de l'information du

LCAOCo, tandis que l'autre équipe travaille sur support papier avec les outils traditionnels de collaboration (rétroprojecteur, écran géant, tableau à feuillets, panneaux permettant d'accrocher tout document pertinent).

Il est recommandé d'intervenir le moins possible pendant le processus de conception. Les interventions des concepteurs du LCAOCo n'ont lieu qu'en cas de réelle difficulté d'utilisation des technologies du laboratoire.

Après la charrette de conception

En fin de séance, les participants remplissent un questionnaire concernant leurs impressions sur le déroulement de la réunion, sur l'efficacité et la contribution des technologies à la collaboration de l'équipe. L'équipe de recherche prévoit 15 à 30 minutes pour compléter ce questionnaire.

ANNEXE II

SCÉNARIO D'ÉTUDE : PROGRAMME ARCHITECTURAL D'UNE SALLE DE SPECTACLE

Introduction

Le présent atelier propose d'élaborer une salle de spectacle faisant partie d'un complexe culturel, artistique et scientifique. Il s'agit de résoudre un problème simple de volumétrie, de structure et de mécanique du bâtiment par l'équipe de projet multidisciplinaire.

Cet atelier de type charrette de conception intégrée est un genre de brainstorming où le caractère innovant du projet prime. Le bâtiment à concevoir a pour vocation d'être un lieu de convergence de la culture, de l'environnement et du développement communautaire. De plus, le bâtiment à concevoir se veut être un bâtiment de démonstration aussi bien au niveau du développement durable qu'au niveau de la qualité architecturale.

Description du projet

La salle de spectacle à élaborer se situe sur un terrain d'une superficie de 27 000 mètres carrés localisé au 8475 avenue Christophe Colomb (coin Christophe Colomb et A 40) à Montréal. L'accès au site est assez facile depuis l'autoroute métropolitaine.

Données géotechniques

Le profil du site est relativement plat et présente une végétation quasi inexistante à conserver. La stratigraphie des sols observés dans les sondages se résume comme suit : en surface, on trouve une couche de remblai reposant sur un till glaciaire déposé sur le socle rocheux. La couche superficielle de remblai ayant de 1,7 à 3,7m d'épaisseur ne peut en aucun cas supporter les fondations d'un nouvel immeuble au moyen de semelles conventionnelles.

Après traitement du remblai par consolidation dynamique, l'édifice pourra être fondé sur des semelles superficielles mises en place à une profondeur de 1,4m (4,5pi.).

Exigences fonctionnelles

D'une superficie de 800 mètres carrés et d'une hauteur de plafond de 20 mètres, la salle de spectacle à concevoir doit être flexible, aussi bien sur le plan de la capacité d'accueil (de 350 à 650 personnes) que de la diversité des événements qui s'y dérouleront (pièces de théâtre, musique, multimédia, cirque, exposition). À cela, il est possible d'ajouter quelques exigences supplémentaires qui sont :

- Espace libre de colonnes.
- Passerelles techniques/publiques sur deux niveaux.
- Gradins.
- Accès à la salle par une entrée principale, issues de secours à prévoir.
- Zones de circulation appropriées.

Critères de design

L'emphase sera mise sur le **caractère innovateur** du projet aussi bien au niveau du concept architectural que structurel et mécanique, tout en respectant la notion de **bâtiment de démonstration sur le plan du développement durable**.

- Architecturalement :
 - Volumétrie remarquable (image forte et distinctive). Projet au caractère unique et innovateur.
 - Image signalétique claire qui doit distinguer le bâtiment des équipements culturels habituels de type maison de la culture.

- Intégration harmonieuse au site, à l'architecture urbaine et à l'environnement bâti (résidences, commerces alentours).
- Le choix des matériaux doit confirmer la vocation environnementale (impact environnemental minimal; matériaux « verts » vs classiques).
- Structurellement :
 - Économie des matériaux (quantités; nouveaux vs recyclés; locaux vs importés).
 - Énergie intrinsèque des matériaux de construction à prendre en compte (bois vs acier vs béton).
 - Impact minimal des travaux d'excavation (choix du type de dalle).
 - Le concept structural garantit le respect des exigences du programme au niveau de la hauteur, de la portée libre, de l'ancrage et du dégagement.
 - Traitement du plancher (de même niveau pour toute la surface) : surface dure avec capacité portante minimale de 10 kPa.
 - Structure permettant l'installation d'équipements scéniques temporaire (éclairage, sonorisation, modules) Points d'ancrage aux planchers et aux murs.
- Mécaniquement :
 - Emphase sur une mécanique innovatrice et efficace qui doit tenir compte :
 - De l'efficacité énergétique des systèmes mécaniques.
 - Du confort thermique (climatisation, chauffage).
 - De la qualité de l'air et de la ventilation.
 - Réduction du bruit et traitement acoustique.

ANNEXE III

QUESTIONNAIRE UTILISÉ POUR LA COLLECTE DES RÉSULTATS

Cochez le chiffre qui, en général, correspond le plus à votre niveau de confort avec l'informatique.						
1	Pas du tout confortable avec l'informatique	Moyennement confortable avec l'informatique	Très confortable avec l'informatique			
	① ②	③ ④ ⑤	⑥ ⑦			
Chacune des échelles suivantes réfère à un aspect de votre performance. Cochez le chiffre qui, selon vous, correspond le plus à votre performance aujourd'hui.						
2	Ne rencontre pas le standard de performance au travail	Rencontre le standard de performance au travail	Excède le standard de performance au travail			
	① ②	③ ④ ⑤	⑥ ⑦			
3	Perfome à un niveau faible comparativement aux autres du groupe	Perfome à un niveau équivalent aux autres du groupe	Perfome à un niveau supérieur comparativement aux autres du groupe			
	① ②	③ ④ ⑤	⑥ ⑦			
4	Contribue moins à l'efficacité du groupe que la plupart des autres membres	Fait une contribution moyenne à l'efficacité du groupe	Contribue plus à l'efficacité du groupe que la plupart des autres membres			
	① ②	③ ④ ⑤	⑥ ⑦			
Veuillez fournir vos commentaires en regard des questions qui suivent.						
5	Indiquez ci-contre laquelle des technologies disponibles <u>a le plus contribué</u> à faciliter la collaboration au sein du groupe ?					
	Expliquez-nous brièvement pourquoi.					
6	Indiquez dans la case grise laquelle des technologies disponibles <u>a le moins contribué</u> à faciliter la collaboration au sein du groupe ?					
	Expliquez-nous brièvement pourquoi.					
7	Avez-vous d'autres commentaires suite à l'utilisation du laboratoire ?					

QTEch + QPG – Langue française / Version du 1 novembre 2006 / Copyright © Chiochio & Rivard, 2006
La reproduction ou la distribution totale ou partielle de ce document, sous quelque forme que ce soit, est interdite dans la permission écrite de l'auteur.

Figure-A III.1 Première partie du questionnaire d'évaluation.

En cochant la case appropriée →		Très en désac.	En désaccord	Neutre	En accord	Très en accord
et en vous référant à l'expérience que vous avez vécue aujourd'hui						
veuillez indiquer dans quelle mesure vous êtes en accord avec les affirmations suivantes ↓						
La formation m'a permis de...						
1	... bien comprendre l'utilisation de la technologie					
2	... me servir adéquatement de la technologie					
3	J'aurais pu utiliser efficacement la technologie sans la formation					
L'utilisation que j'ai faite de la technologie...						
4	... a contribué à mon efficacité personnelle					
5	... m'a aidé dans l'accomplissement de mes tâches					
6	... a nui à l'accomplissement de mon travail					
L'utilisation que mon équipe a faite de la technologie						
7	... a facilité nos interactions					
8	... nous a permis d'accomplir plus de travail					
9	... a ralenti notre fonctionnement d'équipe					
(Pour toute l'équipe présente) Mes coéquipiers et moi, ...						
10	... nous nous exprimons librement au sujet du travail à faire					
11	... nous progressons ensemble d'une phase à l'autre du travail à faire					
12	... nous faisons régulièrement le point au sujet de la progression du travail					
13	... nous nous adaptons aux situations de travail sans avoir à communiquer entre nous					
14	... nous nous donnons de l'information utile qui fait progresser le travail					
15	... nous nous écoutons lorsque nous parlons du travail à faire					
16	... nous faisons le travail que nous devons faire au bon moment					
17	... nous nous échangeons fréquemment de l'information au sujet de « qui fait quoi »					
18	... nous savons « qui fait quoi » sans avoir à se le communiquer					
19	... nous nous partageons des connaissances qui font avancer le travail					
20	... nous nous comprenons lorsque nous parlons du travail à faire					
21	... nous ajustons notre rythme de travail à celui des autres pour mieux faire avancer les choses					
22	... nous nous alertons quand un problème risque d'affecter la progression du travail					
23	... nous nous ajustons les uns aux autres intuitivement lorsqu'un changement survient dans le travail à faire					
24	... nous nous accordons du temps pour faire avancer le travail					
25	... nous nous donnons de la rétroaction au sujet de leur travail					
26	... nous faisons en sorte que nos tâches soient terminées à temps					
27	... nous discutons souvent de l'échéancier ensemble					
28	... nous anticipons les besoins des autres sans qu'ils n'aient à les exprimer					
29	... nous partageons des ressources qui aident à la réalisation des tâches					
30	... nous nous communiquons nos idées au sujet du travail à faire					
31	... nous faisons nos tâches dans les délais prévus					
32	... nous discutons souvent des tâches à faire pour faire avancer le travail					
33	... nous réorganisons nos tâches instinctivement lorsque des changements sont nécessaires					
34	... nous nous rallions les uns aux autres une fois qu'une décision est prise					
35	... nous nous impliquons dans les discussions portant sur le travail à faire					
36	... nous nous ajustons afin de respecter les échéances					
37	... nous nous transmettons l'information permettant de nous coordonner					
38	... nous avons une compréhension implicite des tâches à effectuer					
39	... nous travaillons ensemble pour atteindre un objectif commun					

QTC+QTech – Langue française / Forme générique Tous (GT) / Version du 1 novembre 2006 / Copyright © François Chiocchio, 2006
La reproduction ou la distribution totale ou partielle de ce document, sous quelque forme que ce soit, est interdite sans la permission écrite de l'auteur.

Figure-A III.2 Seconde partie du questionnaire d'évaluation.

LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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*, American Society of Civil Engineers, vol. 131, n°5, p. 301-311.
- American Institute of Architects. 2005. « changeisnow ». In *The American Institute of Architects website*. En ligne.
<http://info.aia.org/aiarchitect/thisweek05/tw0909/tw0909bp_bim.cfm>. Consulté le 16 septembre 2007.
- Arias, Ernesto G., Hal Eden, Gerhard Fischer, Andrew Gorman et Eric Scharff. 2000. « Transcending the Individual Human Mind-Creating Shared Understanding through Collaborative Design ». *ACM, Transactions on Computer Human-Interaction*, vol. 7, n°1, p. 84-113.
- Becerik, Burcin. 2004a. « A Review on Web-based Project Management Tools and Their Adoption by US AEC Industry ». *International Journal of IT in Architecture, Engineering and Construction*, vol. 2, p. 233-248.
- Becerik, Burcin. 2004b. « Critical Enhancements for Improving Adoption of Online Collaboration and Project Management Technology ». In *Proc., 20th Annual Conference of the Association of Researchers in Construction Management*. (Edinburgh, Sept. 1-3 2004).
- Bédard, Claude, K. Gowri et Paul Fazio. 1991. « Integration in the Building Industry ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 5, p. 333-335.
- Betts, Martin et Jay Yang. 2004. « The Significance and Priorities of IT in Sustainable Construction Development ». En ligne <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2004-Paper-1.pdf>>. Consulté le 15 septembre 2007.
- Bødker, Susanne et Jacob Buur. 2002. « The Design Collaboratorium: A Place for Usability Design ». *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 9, n°2, p. 152-169.
- Cannon-Bowers, Janis A. et Eduardo Salas. 1997. « A Framework for Developing Team Performance Measures in Training ». In *Team Performance and Measurement: Theory, Methods, and Applications*, sous la dir. de M.T. Brannick, E. Salas et C. Prince, p45-62. Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.
- Chua, David K. H., Abhinav Tyagi, San Ling et S. H. Bok. 2003. « Process-Parameter-Interface Model for Design Management ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 129, n°6, p. 653-663.

- Clayton, Mark, John Kunz et Martin Fischer. 1998. *The Charrette Test Method*. CIFE Technical Report #120. Stanford (Ca.) : Center for Integrated Facility Engineering.
- Conseil sectoriel de la construction. 2009. « L'industrie ». In *Le site du conseil sectoriel de la construction*. En ligne <http://www.csc-ca.org/fr/industry_f.html>. Consulté le 5 septembre 2009.
- Courbon, Jean-Claude et Sylvère Tajan. 1999. *Groupware et Intranet : vers le Partage des Connaissances*, 2ème éd. Paris : Dunod, 356p.
- CST. 2003. *Bâtir et Innover: Tendances et Défis dans le Secteur du Bâtiment-Mémento*, 33 p.; ISBN 2-550-40704-0.
- Dupagne, Albert. 1991. *Computer Integrated Building*. Strategic Final Report, Esprit II : Exploratory Action NO 5604, CE Commission D. G. XIII
- Eastman, Charles. 1999. *Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction*. Boca Raton (Fla.) : CRC Press, 411p.
- Engeli, Maia. 2001. *Bits and Spaces: Architecture and Computing for Physical, Virtual, Hybrid Realms, 33 Projects by Architecture & CAAD, ETHZ*. Basel (Suisse), Berlin (Allemagne), Boston (Ma.) : Birkhäuser Publishers for Architecture, 208p.
- Fenves, Steven J., Hugues Rivard et N. Gomez. 2000. « SEED-Config: a Tool for Conceptual Structural Design in a Collaborative Building Design Environment ». *Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 14, n°3, p. 233-247.
- Fischer, Gerhard, Elisa Giaccardi, Hal Eden, Masanori Sugimoto et Yunwen Ye. 2005. « Beyond Binary Choices: Integrating Individual and Social Creativity ». *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 63, Issues 4-5, p. 482-512.
- Fischer, Martin, Maureen Stone, Kathleen Liston, John Kunz et Vibha Singhal. 2002. « Multi-stakeholder Collaboration: The CIFE iRoom ». In *Proceedings of CIB W78 conference 2002, Distributing Knowledge in Building*. (Aarhus, June. 12-14 2002).
- Forgues, Daniel, Lauri Koskela et Albert Lejeune. 2009. « Information Technology as Boundary Object for Transformational Learning ». *ITcon*, vol. 14, Special Issue Technology Strategies for Collaborative Working , p. 48-58.
- Fox, Armando, Brad Johanson, Pat Hanrahan et Terry Winograd. 2000. « Integrating Information Appliances into an Interactive Workspace ». *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 20, n°3, p.54-65.
- Froese, Thomas. 2003. « Future Directions for IFC-based Interoperability ». *ITcon*, vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena, p. 231-246.

- Froese, Thomas, Martin Fischer, François Grobler, John Ritzenthaler, Kevin Yu, Stuart Sutherland, Sheryl Staub, Burcu Akinci, Ragip Akbas, Bonsang Koo, Alax Barron et John Kunz. 1999. « Industry Foundation Classes for Project Management - A Trial Implementation ». *ITcon*, vol. 4, p. 17-36.
- Fruchter, Renate. 1999. « A/E/C Teamwork: A Collaborative Design and Learning Space ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 13, n°4, p261-269.
- Fruchter, Renate et Katherine Emery. 1999. « Teamwork: Assessing Cross-disciplinary Learning ». In *Proceedings of the 1999 conference on Computer Support for Collaborative Learning*. (Palo Alto, Dec. 12-15 1999), p. 19-30. Palo Alto (Ca.) : International Society of the Learning Sciences.
- Gero, John. 1990. « Design Prototypes. A Knowledge Representation Schema for Design ». *AI Magazine*, vol. 11, n°4, p. 26-36.
- Gomoll, Kathleen. 1990. « Some Techniques for Observating Users ». In *The Arts of Human-Computer Interface Design*, p. 85-90, Reading (Ma.) : Brenda Laurel, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Guimbretière, François, Maureen Stone et Terry Winograd. 2001. « Fluid Interaction with High-resolution Wall-size Displays ». In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*. (Orlando, Nov. 11-14 2001), p.21-30. Orlando (Fla.) : Association for Computing Machinery.
- Haymaker, John, Engin Ayaz, Martin Fischer, Calvin Kam, John Kunz, Marc Ramsey, Ben Suter et Mauricio Toledo. 2006. « Managing and Communicating Information on the Stanford Living Laboratory Feasibility Study ». *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, vol. 11, p. 607-626.
- Howard, H. C., Raymond E. Levitt, B. C. Paulson, Jens G. Pohl et C. B. Tatum. 1989. « Computer Integration: Reducing Fragmentation in AEC Industry ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 3, n°1, p.18-21.
- Johanson, Brad, Terry Winograd et Armando Fox. 2003. « Interactive Workspaces ». *Computer*, vol. 36, n°4, p.99-101.
- Kam, Calvin, Martin Fischer, Reijo Hänninen, Auli Karjalainen et Jarmo Laitinen. 2003. « The Product Model and Fourth Dimension Project ». *ITcon*, vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena, p. 137-166.
- Kibert, Charles J. 2008. *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, 2nd ed. Hoboken (NJ.) : John Wiley & Sons, 407 p.

- Koskela, Lauri. 1992. *Application of the New Production Philosophy to Construction*, CIFE Technical Report # 72, Department of Civil Engineering, Stanford University, 81 p.
- Kunz, Werner et Horst Rittel. 1970. *Issues as Elements of Information Systems*. Center for Planning and Development Research, University of California at Berkeley.
- Larsson, Nils. 2005. « The Integrated Design Process ». Ottawa, Canada: iiSBE. En ligne <http://greenbuilding.ca/download/gbc2005/Other_presentations/IDP_overview.pdf>. Consulté le 16 janvier 2008.
- Lauche, Kristina. 2005. « Collaboration Among Designers: Analysing an Activity for System Development ». *Computer Supported Cooperative Work: CSCW: An International Journal*, vol. 14, n°3, p.253-282.
- Leedy, Paul D. et Jeanne E. Ormrod. 2005. *Practical Research: Planning and Design*, 8th Edition. Upper Saddle River (NJ.) : Prentice Hall, 319 p.
- Leont'ev, Alexei. 1978. *Activity, Consciousness, and Personality*. Englewood Cliffs (NY) : Prentice-Hall.
- Lindsey, Gail, Joel A. Todd et Sheila J. Hayter. 2003. *A Handbook for Planning and Conducting Charettes for High-Performance Projects*. NREL/BK-710-33425, Golden (Co.). 71p.
- Liston, Kathleen, Martin Fischer et John Kunz. 2000a. « Designing and Evaluating Visualization Techniques for Construction Planning ». Stanford (Ca.) : ASCE.
- Liston, Kathleen, Martin Fischer et John Kunz. 2000b. « Requirements and Benefits of Interactive Information Workspaces in Construction ». In *Proceedings of the 8th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. (Stanford, Aug. 14-16 2000), p. 1277-1284, Stanford (Ca.) : American Society of Civil Engineers.
- Liston, Kathleen, Martin Fischer et Terry Winograd. 2001. « Focused Sharing of Information for Multidisciplinary Decision Making by Project Teams ». *ITcon*, vol. 6, p. 69-82.
- Luff, Paul, Christian Heath et David Greatbatch. 1992. « Tasks-in-interaction: Paper and Screen Based Documentation in Collaborative Activity ». In *Proceedings of the 1992 ACM conference on Computer-supported cooperative work* (Toronto, Nov. 01 - 04 1992), p. 163 - 170. Toronto (Ont.) : ACM.
- Meniru, Kene, Claude Bédard et Hugues Rivard. 2005. « Early Building Design: Capturing Decisions for Better Interoperability ». In *CIB-W78, 22nd Conference on Information Technology in Construction*. (Dresden, July. 19-21 2005), p. 385-391. Dresden (Germany) : R.J. Scherer, P. Katranuschkov, S.E. Schapke.

- Mora, Rodrigo, Hugues Rivard et Claude Bédard. 2006. « Computer Representation to Support Conceptual Structural Design within a Building Architectural Context ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 20, n°2, p.76-87.
- Nardi, Bonnie A. 1996. *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-Computer Interaction*. Massachussets (USA) : MIT Press, Massachussets, 414 p.
- Navin, Francis P. D. 1994. « Engineering Creativity - Doctum Ingenium ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 21, p. 499-509.
- Rezgui, Yacine. 2007. « Exploring Virtual Team-working Effectiveness in the Construction Sector ». *Interacting with Computers*, vol. 19, n°1, p. 96-112.
- Rivard, Hugues. 2000. « A Survey on the Impact of Information Technology in the Canadian Architecture, Engineering and Construction Industry ». *ITcon*, vol. 5, p. 37-56.
- Rivard, Hugues et Claude Bédard. 2004. « A Course on Computer-aided Building Design ». *ITcon*, vol. 9, Special Issue ICT Supported Learning in Architecture and Civil Engineering, p. 267-279.
- Rivard, Hugues, Thomas Froese, Lloyd M. Waugh, Tamer El-Diraby, Rodrigo Mora, Heli Torres, Sohaib M. Gill et Tim O'Reilly. 2004. « Case Studies on the Use of Information Technology in the Canadian Construction Industry ». *ITcon*, vol. 9, p. 19-34.
- Rush, David et American Institute of Architects. 1986. *The building systems integration handbook*. Stoneham (Ma) : Butterworth-Heinemann. American Institute of Architects, 445 p.
- Savioja, Lauri, Markku Mantere, Iikka Olli, Seppo Äyrävainen, Matti Gröhn et Jyrki Iso-aho. 2003. « Utilizing Virtual Environments in Construction Projects ». *ITcon*, vol. 8, Special Issue Virtual Reality Technology in Architecture and Construction, p. 85-99.
- Schön, Donald. 1991. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action (Arena)*. Ashgate.
- Schreyer, Marcus, Timo Hartmann and Martin Fischer. 2005. « Supporting Project Meetings with Concurrent Interoperability in a Construction Information Workspace ». *ITcon*, vol. 10, p. 153-167.
- Scott, Stacey D., Karen D. Grant et Regan L. Mandryk. 2003. « System Guidelines for Co-located, Collaborative Work on a Tabletop Display ». In *Proceedings of the eighth conference on European Conference on Computer Supported Cooperative Work*. (Helsinki, Sept. 14-18 2003), p. 159-178. Helsinki (Finlande) : Kluwer Academic Publishers.

- Stewart, Jason, Benjamin B. Bederson et Allison Druin. 1999. « Single Display Groupware: a Model for Co-present Collaboration ». In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit* (Pittsburgh, May.15-20 1999), p. 286 - 293. Pittsburgh (Pa.) : ACM.
- Streitz, Norbert, Peter Tandler, Christian Müller-Tomfelde et Shin'ichi Konomi. 2001. « Roomware: Towards the Next Generation of Human-computer Interaction Based on an Integrated Design of Real and Virtual Worlds ». In *Human-Computer Interaction in the New Millenium*, sous la dir. de John M. Carroll, p. 553-578. Reading (Ma.) : Addison-Wesley.
- Streitz, Norbert, A., Jörg Geißler, Torsten Holmer, Shin'ichi Konomi, Christian Müller-Tomfelde, Wolfgang Reischl, Petra Rexroth, Peter Seitz et Ralf Steinmetz. 1999. « i-LAND: An Interactive Landscape for Creativity and Innovation ». In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*. (Pittsburgh, May. 15-20 1999), p. 120-127. Pittsburgh (Pa.) : ACM.
- Suchman, L. 2000. « Embodied Practices of Engineering Work ». *Mind, Culture, and Activity*, vol. 7, n°1, p.4-18.
- Tellioglu, Hilda, Ina Wagner et Rüdiger Lainer. 1999. « Open Design Methodologies. Exploring Architectural Practice for Systems Design », In *Proceedings of the Participatory Design Conference*. (Seattle, Nov. 12-14 1998). Seattle (Wa.)
- Tidebreak. 2008. « TeamSpot™ ». In *Le site de la société Tidebreak, Incorporation*. En ligne <<http://tidebreak.com/prodteamspace.shtml>>. Consulté le 5 janvier 2008.
- Tory, Melanie, Sheryl Staub-French, Barry A. Po et Fuqu Wu. 2008. « Physical and Digital Artifact-Mediated Coordination in Building Design ». *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, vol. 17, n°4, p. 311-351.
- Undurraga, M. 1996. *Construction Productivity and Housing Financing*. Seminar and Workshop, Interamerican Housing Union, Ciudad de Mexico, D.F., Mexico.
- Venables, Roger, Construction Industry Research and Information Association et Grande Bretagne Dept. of the Environment Transport and the Regions. 2000. *Environmental Handbook for Building and Civil Engineering Projects*, 2nd ed. London (England) : CIRIA publication, 186 p.
- Wan, Caiyun, Po-Han Chen et Robert L. K. Thiong. 2004. « Assessment of IFCs for Structural Analysis Domain ». *ITcon*, vol. 9, p. 75-95.
- Weise, Matthias, Peter Katranuschkov, Thomas Liebich et Raimar J. Scherer. 2003. « Structural Analysis Extension of the IFC Modelling Framework ». *ITcon*, vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena, p. 181-200.

- Wilson, John. R. 2005. « Methods in the Understanding of Human Factors ». In *Evaluation of Human Work*, sous la dir. de John R. Wilson et de Nigel Corlett, Third Edition, p.1-31. Boca Raton (Fla.) : Taylor & Francis.
- Woo, Sungho, Eunjoo Lee et Tsuyoshi Sasada. 2001. « The Multiuser Workspace as the Medium for Communication in Collaborative Design ». *Automation in Construction*, vol. 10, n°3, p.303-308.
- Yang, QZ. 2003. « IFC-compliant Design Information Modelling and Sharing ». *ITcon*, vol. 8, p. 1-14.
- Yum, K. 2005. « Why interactive multi-disciplinary collaboration in building design is better than document based design ». En ligne.<<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2005-P3-4-Yum.pdf>>. Consulté le 18 septembre 2007.
- Zimmerman, Alex. 2004. « Integrated Design Process Guide ». Toronto Waterfront Revitalization Corporation. En ligne <<http://www.waterfrontoronto.ca/dbdocs//4561b14aaf4b0.pdf>>. Consulté le 16 janvier 2008.