

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, CONCENTRATION ÉNERGIE RENOUVELABLE ET  
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE  
M. Sc. A.

PAR  
Jean-Philippe DIONNE

CONCEPTION INTÉGRÉE, PROCESSUS FACILITATEUR POUR LA RÉDUCTION  
DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

MONTREAL, LE 14 JUILLET 2015

©Tous droits réservés, Jean-Philippe Dionne, 2015

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

**PRÉSENTATION DU JURY**

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

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

Mme Danielle Monfet, co-directrice de mémoire  
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Frédéric Monette, professeur  
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Mathias Glaus, professeur  
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

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

LE 11 JUIN 2015

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE



## **REMERCIEMENTS**

La réalisation de ce mémoire est l'achèvement d'un long parcours scolaire et le fruit de beaucoup d'efforts, d'entêtement et de rencontre avec des personnes inspirantes. Mon cheminement a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Tout d'abord, je désire remercier les professeurs qui m'ont transmis leur passion pour l'environnement et le bâtiment durable. Je tiens à remercier spécialement Jean-François Lepage, Mathias Glaus et Ikram Abdeljelil. Ces acteurs, combinés à ma perspective et mon intérêt personnel pour le développement durable, ont fait de ma maîtrise en Génie volet concentration énergies renouvelables et efficacité énergétique une réalisation incontournable.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur et ma co-directrice de mémoire Monsieur Daniel Forgues et Madame Danielle Monfet. Je les remercie de m'avoir orienté et conseillé, ce qui a contribué à alimenter mes réflexions. Je souhaite, tout particulièrement, souligner le travail de Vincent Laberge comme personne ressource d'un grand soutien. Je tiens aussi à souligner l'importance de la participation des professionnels aux entrevues semi-dirigées, Monsieur Normand Hudon, Monsieur Jacques Lagacé et Monsieur Sylvain Thériault. Je voudrais leur souligner toute ma reconnaissance pour leur contribution et leur participation aux travaux de recherche. Sans eux, le travail de recherche n'aurait pas été adapté à l'industrie québécoise. Je les remercie sincèrement. De suite, je désire adresser mes sincères remerciements à toute l'équipe du GRIDD et du CERACQ, sans qui le projet mère du mémoire n'aurait pas eu la même teneur. Je tiens aussi à remercier Monsieur André Labonté d'Hydro-Québec Distribution, pour avoir contribué à la validation de la recherche en plus de participer à sa diffusion à grande échelle avec le CERACQ.

Finalement, je tiens à remercier parents et amis de m'avoir supporté dans ma volonté et dans ma motivation lors de l'accomplissement de mon mémoire qui traite du PCI à faible maturité au Québec. À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.



# **CONCEPTION INTÉGRÉE, PROCESSUS FACILITATEUR POUR LA RÉDUCTION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS**

Jean-Philippe DIONNE

## **RÉSUMÉ**

La réalisation de bâtiments devient de plus en plus complexe et demande une conscientisation et une compréhension du développement durable. Actuellement, la réalisation de bâtiments ne tient plus seulement à la construction d'un bâtiment fonctionnel selon les besoins du client, mais demandent de la réflexion sur ses prémisses (économiques, sociales et environnementales) à savoir comment les intégrer dans la conception, la construction, les opérations et l'occupation du bâtiment. Pour ce faire, il n'importe pas seulement d'optimiser le bâtiment pour générer la réduction des coûts d'opération, mais de tenir compte de l'intégration et de la synergie des mesures passives et actives. C'est pourquoi leur réalisation requière une nouvelle approche ainsi que des connaissances et des expertises qui autrefois n'étaient pas nécessaires. En raison de ce qui précède, l'adoption de la conception intégrée (PCI) est une réponse dans l'évolution des pratiques. Dans cette perspective, ce mémoire présente le développement d'un cadre de PCI adapté au contexte québécois ainsi que la conception d'une feuille de route pour l'adoption du PCI basée sur les niveaux de maturité. Pour parvenir à ces retombées, la méthodologie utilisée correspond au trois grandes étapes suivantes: la définition des intentions, l'analyse de contenu et de thématique et la stratégie de validation. À cet égard, l'analyse de contenu et de thématique a été effectuée à partir de trois sources distinctes (recensement des écrits, entrevues semi-dirigées et groupe de discussion) pour assurer la validation par triangulation des données. Ces données abordent les approches et pratiques intégrées, les rôles et responsabilités des acteurs et intervenant, les charrettes de conception ainsi que les modalités communes entre le PCI et l'optimisation énergétique. Ces analyses ont permis la préparation d'un guide de conception intégrée. Ce Guide est une première québécoise et représente une bonne opportunité de mieux concevoir les bâtiments. De plus, grâce à la recherche, la transition des pratiques de la construction vers une approche de conception centrée sur la réduction de l'empreinte écologique du cadre bâti est facilitée.

**Mots-clés :** Développement durable, bâtiment durable, changement de culture, travail collaboratif, conception intégrée, synergie d'équipe et des systèmes.



# **INTEGRATED DESIGN, PROCESS FACILITATOR TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACT AND IMPROVE ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS**

Jean-Philippe DIONNE

## **ABSTRACT**

The completion of building is becoming more and more complex and requires an awareness and understanding of sustainable development. At the current moment, the delivery of a building cannot only be functional to the customers' needs, but also requires reflection on its themes (economic, social and environmental) to find out how it can be integrated into the design, construction, operation and occupancy of the building. To do so, it is important not only to optimize the building to generate low operating costs, but to consider the integration and synergy of passive and active measures. That is why the process requires a new approach and the knowledge and expertise that once were not necessary. Consequently, the adoption of integrated design process (IDP) is an answer to changing practices. Therefore, this thesis presents the development of a framework for IDP adapted to the Quebec context and designs a roadmap for the adoption of IDP based on maturity. To achieve these benefits, the methodology used corresponds to three main steps: defining the intentions, content and thematic analysis and validation strategy. In this regard, the analysis of content and themes has been made from three different sources (literature review, semi-structured interviews and "focus group") for the validation by data triangulation. These data largely address: integrated approaches and practices, roles and responsibilities of the actors involved and design charrettes and the common links between the IDP and energy optimization. These analyses allowed the preparation of an integrated design guide. This Guide is a first in Quebec and represents a good opportunity to integrate environmental and energy aspects. Due to this research, the transition from current construction practices toward design approach that focus on reducing the environmental footprint of the built environment is facilitated.

**Keywords:** Sustainability, sustainable building, culture change, collaborative work integrated design, synergy.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DE L'ART.....	5
1.1 Développement durable et bâtiment .....	5
1.1.1 Changement de culture du développement durable .....	8
1.1.2 Définitions et approches des bâtiments durables .....	8
1.1.3 L'optimisation énergétique des bâtiments écoénergétiques.....	10
1.2 Travail collaboratif et PCI .....	12
1.2.1 Travail collaboratif.....	13
1.2.1.1 Principaux aspects du travail collaboratif.....	14
1.2.1.2 Enjeux de la collaboration dans le processus traditionnel .....	16
1.2.2 Processus de conception intégrée (PCI).....	18
1.2.2.1 Principes du processus de conception intégrée (PCI).....	20
1.2.2.2 Bénéfice du processus de conception intégrée (PCI).....	20
1.2.2.3 Approche intégrée versus traditionnelle .....	22
1.2.3 Outils de gestion et de suivi et contrôles.....	23
1.2.3.1 Technologies de l'information et de communication (TIC) .....	25
1.2.3.2 Logiciels de modélisation et de simulation.....	25
1.2.3.3 Les enjeux des outils dans le PCI .....	27
1.2.4 Importance des approches de la maturité dans l'application d'un PCI.....	28
1.2.5 Approches de mesure et de vérification - Mise en service.....	29
1.3 Synthèse de l'état de l'art.....	35
CHAPITRE 2 METHODOLOGIE DE RECHERCHE QUALITATIVE .....	37
2.1 Analyse de contenu et de thématique.....	38
2.1.1 Recensement des écrits .....	38
2.1.2 Entrevue semi-dirigée .....	39
2.1.3 Observation en milieu professionnel.....	40
2.2 Étude de cas .....	41
2.3 Méthodes de validation .....	41
2.3.1 Stratégies d'analyse des données : Triangulation .....	42
2.3.2 Groupe de discussion (« Focus group »).....	42
2.3.3 Validation interne et externe de la méthodologie .....	43
CHAPITRE 3 RÉSULTATS ET ANALYSES .....	45
3.1 Analyse de contenu et de thématique du recensement des écrits.....	45
3.2 Présentation des réponses des entrevues semi-dirigées .....	48
3.2.1 Contexte québécois .....	49
3.2.2 Processus de conception intégrée (PCI).....	52
3.2.3 Optimisation et efficacité énergétique .....	58
3.2.4 Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique.....	60

3.3	Analyse des entrevues semi-dirigées .....	65
3.4	Validation des résultats par triangulation .....	67
CHAPITRE 4 DISCUSSION .....		69
CONCLUSION.....		75
ANNEXE I FORMULAIRE D’INFORMATION ET DE CONSENTEMENT : PROTOCOLE D’ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE.....		79
ANNEXE II GUIDE DE CONCEPTION INTÉGRÉE (PCI) : L’EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ET RÉDUCTION DES IMPACTS SUR L’ENVIRONNEMENT .....		85
ANNEXE III PCI AVEC CHARRETTE DE CONCEPTION INTÉGRÉE PAR LE PROCESSUS DE MISE EN SERVICE ASHRAE .....		153
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		169
BIBLIOGRAPHIE.....		175

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Caractéristique du PCI et du PCT inspiré de Busby (Busby, Perkins et Will, 2007) .....	23
Tableau 1.2 Fonctionnalités et logiciels (Staub-French et al., 2011).....	26
Tableau 1.3 Source de défaillances en fonction du cycle de vie du bâtiment (Burati, Farrington et Ledbetter, 1992) .....	30
Tableau 1.4 Contrôle qualité, inspection et essais (OIQ, 2011) .....	32
Tableau 1.5 Mise en service et mise en service améliorée inspirée de (ASHRAE, 2013; Reed et al., 2009) .....	33
Tableau 3.1 Grille d'analyse documentaire : recensement des écrits .....	46
Tableau 3.2 Sources et contenus de l'analyse documentaire .....	47
Tableau 3.3 État et Province de référence des guides de PCI existants.....	47
Tableau 3.4 Liste des intervenants en conception intégrée du GRIDD .....	48
Tableau 3.5 Grille synthèse des résultats : Contexte québécois .....	51
Tableau 3.6 Grille synthèse des résultats : Processus de conception intégrée (PCI).....	57
Tableau 3.7 Grille synthèse des résultats : Optimisation et efficacité énergétique .....	60
Tableau 3.8 Grille synthèse des résultats : Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique .....	64
Tableau 3.9 Grille d'analyse : Entrevues semi-dirigées .....	65
Tableau 3.10 Grille d'analyse : Groupe de discussion .....	67
Tableau 3.11 Validation par triangulation .....	68



## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Schéma des aspects nécessaires à la réalisation de bâtiments écoénergétiques .	14
Figure 1.2 Schéma comparatif du processus collaboratif et traditionnel.....	17
Figure 2.1 Schéma de la méthodologie de recherche .....	37
Figure 4.1 Schéma des aspects nécessaires à la réalisation de projet complexe.....	73
Figure 4.2 Schéma synthèse de la réalisation de projet complexe intégrant le BIM .....	74



## **LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES**

ACV	Analyse de cycle de vie
AIE	Agence Internationale de l'Énergie
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
BIM	Building Information Modeling
BOD	Basis of Design
CAO	Conception assistée par ordinateur
CERACQ	Centre d'études et de recherches pour l'avancement de la construction au Québec
CFD	Computational fluid dynamics
CFDD	Centre de formation de développement durable
CI	Conception intégrée
CMED	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CVAC	Chauffage, ventilation et air climatisé
DD	Développement durable
DRA	Délai de récupération actualisé
ECV	Évaluation du cycle de vie
EEE	Évaluation de l'empreinte écologique
EPO	Évaluation post-occupation
EPP	Exigences du projet du propriétaire
GES	Gaz à effet de serre
GPE	Garantie de performance énergétique

## XVIII

GPEI	Garantie de performance énergétique intrinsèque
GRE	Garantie de résultats énergétiques
GRIDD	Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable
IDP	Integrated design process
iiSBE	International Initiative for a Sustainable Built Environment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEBD	Méthode d'évaluation de bâtiment durable
MES	Mise en service
MFN	Mécanique des fluides numériques
M&V	Mesurage et vérification
OIQ	Ordre des ingénieurs du Québec
OPR	Owner's Project requirements
OSM	Objectifs, stratégies et mesures
PA	Professionnel accrédité
PCI	Processus de conception intégrée
PCT	Processus de conception traditionnelle
PFT	Programme fonctionnel et technique
RI	Retour sur l'investissement (RI)
SMART	Spécifique; Mesurable; Atteignable; Réaliste; Temporel
TIC	Technologies de l'information et de communication
SSI	Système de sécurité incendie
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
WSIP	Whole Systems Integrated Process

## INTRODUCTION

L'industrie de la construction fait face à un défi de taille tant dans la méthode de réalisation de projet que dans les relations entre les intervenants et acteurs afin de répondre aux besoins du développement durable (Gabriel, 2013; Hansen et Plenge, 2005; Lucuik et al., 2005). Ainsi, un virage important doit s'orchestrer afin de suivre les nouvelles tendances durables du marché de la construction au Québec, c'est-à-dire l'atteinte de bâtiments durables (Bill Browning et al, 2012). Selon plusieurs auteurs (Busby, Perkins et Will, 2007; Coles, 2002; Larsson, 2004; Lucuik et al., 2005; Reed et al., 2009), la réalisation des bâtiments durables devrait s'appuyer sur un processus de conception intégrée (PCI) et pour certains, cela est même indispensable (Busby, Perkins et Will, 2007). À ce propos, l'adoption de la conception intégrée (CI) est une voie reconnue dans l'évolution des pratiques de l'industrie de la construction ainsi qu'une bonne opportunité de mieux intégrer les aspects environnementaux tels que les aspects énergétiques (Hansen et Plenge, 2005). Cependant, il n'existe pas, à proprement dit, de normes ou de guide de la pratique concernant le PCI adaptée au Québec.

Plusieurs définitions de ce qu'est la conception intégrée sont disponibles sans toutefois être uniques au PCI. De plus, aucune structure n'a clairement identifiée les retombées d'un tel processus (Zimmerman, 2006). Au Québec, la recherche qui traite de la mise en œuvre de processus de livraison de projets durables comme le PCI est quasi-absente (Gabriel, 2013). En effet, il existe peu de références scientifiques reconnues documentant le PCI sur lesquels l'industrie de la construction peut s'appuyer en comparaison avec ce qui se fait ailleurs, notamment, le guide « Integrated Design Process Facilitation Resource Guide » en Colombie-Britannique et le « Whole Systems Integrated Process Guide (WSIP Guide) » aux États-Unis, qui permettent d'orienter et de normaliser le PCI (Rossi et al., 2009). Par ailleurs, pour obtenir un processus efficace, la bonne pratique du PCI doit tenir compte de la complexité du secteur de la construction. La fragmentation et la linéarité de l'industrie de la construction fait que l'implantation du PCI correspond à un saut culturel significatif (Gabriel, 2013). Ces deux particularités amènent les professionnels à travailler en silo ce qui affecte la

synergie entre les divers intervenants et limite l'optimisation de la performance réalisable (Larsson, 2004; Zimmerman, 2006).

Le problème avec les pratiques traditionnelles de coordination entre les architectes et les ingénieurs pour la conception est qu'elles ne sont pas adaptées à cette nouvelle réalité de penser le cadre bâti. Ces pratiques ne mettent pas l'emphasis sur la collaboration et la multidisciplinarité des équipes de conception, principe essentiel dans un contexte de projet durable. En ce sens, le processus de conception traditionnel se concentre sur l'optimisation de la conception par discipline, ce qui réduit les opportunités de synergie dans le choix des assemblages et des systèmes. Par ailleurs, lors de l'établissement des stratégies de conception, les clients omettent souvent les coûts d'opération et de maintenance dans leurs prises de décision. Sans ces réflexions, les professionnels créent des solutions conceptuelles considérées comme sous-optimales. C'est pour cette raison qu'il est important de s'intéresser à une nouvelle approche de conception pour la réalisation des bâtiments durables adaptée à ce besoin d'optimisation continue, le processus de conception intégrée (PCI).

Sur la base de ce constat, l'industrie de la construction amène certaines pistes de réflexion. Elle se questionne sur la participation et l'apport des professionnels et quels sont les rôles et les responsabilités des acteurs et intervenants dans cette réorganisation? Comment obtenir des solutions optimales et en assurer la performance attendue pendant le cycle de vie du bâtiment? Comment intégrer le processus de mise en service dans le PCI? Et finalement, quel processus de conception intégrée permettrait de favoriser l'optimisation de la performance environnementale et énergétique? En réponse à ces réflexions, les travaux de recherche conduisent à une approche de conception intégrée adaptée au Québec et considérant les acteurs clés du cycle de vie (client, concepteur, constructeur et opérateur) ainsi que l'intégration du processus de mise en service de l'ASHRAE (ASHRAE, 2013).

L'objectif principal de la recherche est de développer un cadre de PCI adapté au contexte québécois ainsi que de concevoir une feuille de route pour l'adoption du PCI basée sur les niveaux de maturité. Ainsi, la recherche doit permettre à l'industrie de la construction

québécoise d'utiliser le processus de conception intégrée de manière adéquate. Notamment, ces propositions contribuent à :

- combler les besoins de référence et de cohérence des approches intégrées sans délimiter leur portée;
- faciliter la transition des pratiques de la construction vers une approche de conception centrée sur la réduction de l'empreinte écologique et de l'optimisation énergétique du cadre bâti;
- proposer les étapes de mise en place de ces approches;
- introduire le processus de mise en service parallèlement au PCI.

Dans le cadre de la recherche, les enjeux et les impacts des diverses approches intégrées seront identifiés dans le but de décrire les scénarios possibles les plus porteurs selon le contexte québécois. Par conséquent, les similarités et différences de ces approches (processus de conception intégrée/intégrative, équipes et chaînes d'approvisionnement intégrées, pratiques intégrées) ainsi que leurs justifications devront être définies. Par le biais des travaux de recherche, un consensus sur la valeur des approches intégrées et une référence afin d'encadrer sa pratique seront établis afin d'assurer son efficience et d'élargir sa portée. Cette contribution permettra en outre de présenter les conditions gagnantes pour des approches intégrées, de proposer les étapes de mise en place de ces approches et de faire la relation entre ces approches et les outils d'étalonnage et de simulation.

Le présent mémoire contient quatre chapitres qui agiront à titre de cadre de réflexion afin de répondre aux besoins soulevés dans lequel évoluera la conception intégrée au Québec. La première partie, l'état de l'art, présente le cadre théorique duquel émergent les nouvelles approches intégratives de conception. Ensuite, la seconde partie présente la méthodologie attribuée aux méthodes utilisées pour définir les intentions de la recherche, effectuer la cueillette des données et les valider. Puis, la troisième partie présente le corps du développement, c'est-à-dire la présentation et l'analyse des résultats de recherche. Finalement, une dernière partie agissant à titre de discussion et de conclusion permettra

d'effectuer une revue des forces, des faiblesses ainsi que des opportunités et recommandations de l'ensemble de la recherche.

## **CHAPITRE 1**

### **ÉTAT DE L'ART**

Le développement d'un guide de conception intégrée ayant pour objectif une réduction des impacts sur l'environnement et l'efficacité énergétique des bâtiments requiert une connaissance des concepts de bâtiments durables et du PCI, dans le but d'apporter une meilleure compréhension de l'environnement dans lequel l'industrie de la construction développe ses projets. Ainsi, la nouvelle tendance à développer plus vert de manière intégrée provient d'un changement culturel engendré par le concept du développement durable. À ce propos, l'apparition du bâtiment durable et de l'importance de l'énergie amène l'industrie de la construction à concevoir des bâtiments à haute performance. Plusieurs appellations sont utilisées telles que les bâtiments durables, écologiques, performants ou écoénergétiques. Compte tenu de ce qui précède, la première partie du chapitre 1 traite des sujets suivants : le développement durable et le bâtiment ainsi que l'optimisation énergétique. La deuxième partie abordera le concept de conception intégrée plus en détail.

#### **1.1 Développement durable et bâtiment**

Le concept de développement durable guide les industries à se transformer afin de prendre en compte les éléments économiques, environnementaux et sociaux (Benoît et al., 2007). Il a fait son apparition vers les années 1980, en réaction aux problèmes environnementaux tels que la dégradation de la biodiversité, et prône l'atteinte d'un équilibre durable. Le terme développement durable est né dans le cadre de la stratégie mondiale de la conservation, parue dans une publication de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (Brundtland, 1987). À cet effet, une prise de conscience s'est entamée dû au fait que les modèles traditionnels étaient irrespectueux des limites d'exploitation des ressources premières et de la capacité de support des milieux naturels. Toutefois, c'est en 1987, lors de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED) qu'a été établie la définition reconnue du développement durable (DD) : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des

générations futures de répondre aux leurs » (Brundtland, 1987). Inspiré par cette définition, le Québec a adopté sa propre définition: « Au Québec, le développement durable s'entend donc d'un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Le développement durable s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementales, sociales et économiques des activités de développement. » (MDDELCC, 2015). D'ailleurs, plusieurs professionnels soulignent l'importance du développement durable pour nos sociétés, nos villes et nos bâtiments. Ainsi, les trois citations suivantes démontrent bien cette importance.

« Les pays qui seront prospères seront ceux qui sauront opérer la transition à un mode de production et de consommation durable qui respecte les limites des capacités biologiques de la planète. » (Cole et al., 2001, p. 1)

« C'est dans les villes que va désormais se jouer pour l'essentiel notre capacité de développement économique, le devenir de notre société, et jusqu'à l'avenir écologique de la planète. » (Cavallier, 1996)

« Dans une perspective de développement durable, il importe tout autant de considérer les besoins pour lesquels nos bâtiments sont conçus que de prévoir leur adaptabilité face à des besoins changeants, leur consommation de ressources (matériaux, eau, énergie, etc.) ou encore l'ensemble de leurs coûts directs et indirects. » (Boucher, 2010, p. 6)

Ce constat amène les industries à prendre conscience que la viabilité de leur activité dépend de la viabilité de la société tout autant que celle-ci dépend de son environnement. À cet effet, l'industrie de la construction ne fait pas exception. Cette industrie doit faire un virage vers la durabilité des projets en intégrant les dimensions de développement durable (Cole et al., 2001). Le développement durable repose sur un développement constant qui tient compte d'une utilisation efficiente des ressources et de la nécessité de se préoccuper des externalités

environnementales<sup>1</sup> (André, Delisle et Revéret, 2010). Pour ce faire, l'industrie de la construction doit soutenir l'implantation de bâtiments durables également appelés « bâtiments verts » ou « écologiques ». À ce sujet, il existe deux tendances dans la conception de ces bâtiments : 1) le « green business », et 2) l'approche scandinave et germanique. Le courant anglo-saxon, « green business », inclut la Grande-Bretagne, les États-Unis, le Canada et l'Australie. Il est basé généralement sur l'utilisation de méthodes d'évaluation de bâtiment durable tel que le Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), qui est bien ancré en Amérique du Nord. Ce courant s'appuie sur une harmonie entre l'environnement extérieur et intérieur du bâtiment en adéquation avec son usage et ses fonctions (Benoît et al., 2007). Cependant, cette approche ne cherche pas nécessairement les interrelations entre les enjeux thématiques de durabilité. Ainsi, la recherche de solutions se fait en fonction des éléments les moins coûteux et non de manière synergique. L'approche scandinave et germanique (Allemagne, Suisse et Autriche), d'où provient la certification Passivhaus, est établi grâce à une conscience environnementale développée (Benoît et al., 2007). Dans ce contexte, la recherche de solutions synergiques et la notion d'efficacité énergétique apparaît de manière naturelle. Au Québec, cette conscience environnementale n'a pas encore atteint la maturité adéquate. À ce propos, les pratiques actuelles de l'industrie du Québec correspondent à une pratique traditionnelle tel que décrit dans le guide sur l'optimisation énergétique réalisé par le Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable (GRIDD) où est défini la maturité de l'industrie en trois niveaux dont 1) les pratiques traditionnelles améliorées, 2) le processus de conception intégrée (PCI) et 3) le BIM collaboratif. Ce mémoire aborde l'aspect PCI qui s'inscrit à travers un changement culturel significatif (Gabriel, 2013).

---

<sup>1</sup> Les externalités correspondent aux coûts ou aux bénéfices attribués à une activité. Ici, les externalités sont attribuées aux impacts sur l'environnement des bâtiments. Ainsi, un concept régénératif est un bénéfice et les impacts négatifs un coût.

### **1.1.1 Changement de culture du développement durable**

Le développement durable requiert un changement d'approche des professionnels autant dans leur responsabilité face aux impacts des projets qu'en lien avec leur éthique professionnelle. Cette transformation de la pratique se traduit par un changement de culture et la réalisation de bâtiments durables (Benoît et al., 2007). Comme le mentionne le Dr. Raymond J. Cole (2001): « Toute transition vers la viabilité écologique exigera de profonds changements des valeurs et des attentes humaines » (Cole et al., 2001, p. 3). À cet égard, les acteurs et intervenants ont pour responsabilité de concevoir les éléments du changement puisque qu'il leur advient de mettre en œuvre les solutions innovantes. Autrement dit, l'une de leurs responsabilités est de résoudre les problématiques conceptuelles le tout en faisant fi des normes existantes tout en proposant de nouvelles. À travers ce changement de culture, les concepteurs commencent à comprendre l'aspect du long terme dans l'établissement de solutions durables (Benoît et al., 2007). Cela exige une modification du processus de conception qui implique une redéfinition des priorités, un changement dans les mentalités et des efforts pour établir de nouvelles relations de travail (Coles, 2002).

### **1.1.2 Définitions et approches des bâtiments durables**

Les choix conceptuels d'un bâtiment durable peuvent être évalués à l'aide d'indicateurs comme l'empreinte écologique et les émissions de gaz à effet de serre (GES)(Derghazarian, 2011). Les nouvelles conceptions devront tenir compte des thématiques sur les sujets majeurs : énergie, transport, matériaux, gestion de l'eau, l'habitat humain et naturel (Benoît et al., 2007). Cette approche est nécessaire pour envisager des stratégies alternatives afin d'atteindre des performances accrues considérant le cycle de vie complet du bâtiment (Cole, Miller et Schroeder, 2014). Ainsi, un bâtiment durable devrait entre autre minimiser sa consommation d'énergie, d'eau potable et générer moins de GES. Une préoccupation majeure lors de la conception des bâtiments écologiques est en lien avec l'utilisation et la réduction de la consommation en énergie (Cole et al., 2001). La réduction des impacts sur l'environnement et de l'efficacité énergétique sont parmi les aspects souvent traités dans le

contexte du développement durable des bâtiments, conséquemment le terme « bâtiment écoénergétique » est l'appellation la plus adéquate dans le contexte de la recherche. Ce terme évoque l'écologie et l'énergie. Il signifie, selon Michel Bochud, physicien et conseiller scientifique : « la science qui, à partir de la thermodynamique et de l'écologie, pose les principes fondamentaux de l'utilisation de l'énergie pour un développement durable » (Bochud, 2011, p. 1). À cet égard, les bâtiments écoénergétiques sont des bâtiments qui s'attribuent les mêmes fonctions que celles des bâtiments durables, en plus de prioriser les énergies passives ainsi que les formes d'énergies renouvelables. D'ailleurs, l'élaboration de stratégies écoénergétiques devrait considérer le passif en premier, suivi des énergies renouvelables. En résumé, les nouvelles approches de conception de bâtiment doivent tenir compte du cycle de vie, de l'empreinte écologique, des impacts à long terme sur l'environnement ainsi que de leur efficacité énergétique (Cole et al., 2001). Ainsi, lors de l'élaboration d'un projet durable, il est essentiel de tenir compte des décisions de conception sur l'exploitation, l'entretien et la maintenance d'un bâtiment. La pratique préconisée dans l'industrie de la construction est l'évaluation du cycle de vie (ECV) et de l'empreinte écologique (EEE). S'appuyant sur l'analyse de coût, l'évaluation du cycle de vie est souvent interprétée par les économistes comme une méthode d'analyse économique qui ramène en valeur actuelle la somme des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance sur une période déterminée dans le but d'optimiser le retour sur l'investissement (RI) ou le délai de récupération actualisé (DRA) selon les objectifs du client (Forgues et Iordanova, 2011; Lagacé, 2011). Par ailleurs, s'appuyant sur l'évaluation du coût global, la notion de l'ECV est notamment utilisée pour déterminer les coûts des externalités environnementales. À ce propos, Mulder (2009) mentionne que : « l'évaluation du coût global est une méthode qui a été développée en réaction aux méthodes de comptabilité traditionnelles. Elle permet un calcul plus exact des coûts de production et permet de rendre les coûts environnementaux plus explicites et visibles. ». Selon Kilbert (2008) et la norme internationale ISO 14040 (ISO14040, 2006), l'ECV se définit comme une compilation et une évaluation des intrants et extrants, ainsi que des impacts potentiels sur l'environnement d'un produit au cours de son cycle de vie, soit de l'extraction des matières premières jusqu'à la façon d'en disposer à la fin de sa vie utile.

La tendance de l'industrie de la construction vers la réalisation de bâtiments écoénergétiques transforme sa structure organisationnelle et sa chaîne d'approvisionnement. À ce propos, l'accent mis sur l'efficacité énergétique et sur les impacts environnementaux accentue les besoins d'un corps professionnel spécialisé et complexifie les tâches et les interactions de conception. En effet, les bâtiments écoénergétiques exigent un ensemble de compétences spécialisées qui diffèrent considérablement de la pratique traditionnelle (Korkmaz et al., 2010). Par ailleurs, la conduite de ces projets doit tenir compte de plusieurs groupes de personnes ayant une culture, des compétences et une expertise qui permet la réalisation de projets durables (Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011). Conséquemment, la collaboration entre les parties est essentielle pour atteindre l'efficacité dans toutes les phases de construction. La performance des solutions de conception est déterminée par le niveau de collaboration des intervenants et l'intégration de technologies (Forgues et Courchesne, 2008). Cependant, la technologie ne doit pas substituer la collaboration entre les individus, car elle peut générer une optimisation cloisonnée qui engendre des retombées moindres (Reed et al., 2009). Ainsi, la réalisation de bâtiments innovants, de meilleure qualité et à moindre coût existe par le biais de solutions intégrées qui fournissent des réponses justes à toutes les parties (Löhnert, Dalkowski et Sutter, 2003). Plus particulièrement, les mots-clés qui découlent de ces aspects sont : la synergie, la collaboration, la communication et le partage de l'information.

### **1.1.3 L'optimisation énergétique des bâtiments écoénergétiques**

À la lumière de ce qui précède, le processus de travail doit être réorganisé pour devenir collaboratif afin de nourrir les réflexions de conception, notamment, sur l'efficacité énergétique et la réduction des impacts sur l'environnement. L'optimisation énergétique est une partie importante dans la réalisation des bâtiments écoénergétiques puisque l'impact sur l'environnement de l'utilisation de l'énergie représente un enjeu important. À cet effet, les émissions liées à la consommation d'énergie affectent la qualité de l'air ayant un impact sur les changements climatiques. Par conséquent, la réduction de la consommation énergétique est parmi les critères déterminants à retenir lors de la conception (Cole et al., 2001).

D'ailleurs, l'énergie consommée par les bâtiments pour le chauffage, l'éclairage et la climatisation (les équipements de chauffage, ventilation et air climatisé) représente 85% des effets sur l'environnement au cours de son cycle de vie (Boucher, 2010). Les impacts sur l'environnement de l'exploitation des bâtiments peuvent être minimisés en réduisant la consommation énergétique à l'aide de stratégies passives et actives.

L'élaboration de stratégies d'optimisation (stratégies passives et actives) requiert un minimum de recherche et d'analyse dû en partie au comportement aléatoire des mesures passives. Pour assurer les retombées des solutions sélectionnées, il est recommandé d'effectuer une vaste recherche, dès le début, sur les stratégies allant de l'ombrage extérieur à la lumière du jour, au confort thermique et au comportement des occupants. Ainsi, les concepteurs doivent connaître très tôt les données climatiques telles que la vitesse et la direction du vent, l'humidité relative et absolue, le couvert nuageux, les précipitations de pluie ainsi que le niveau de lumière naturelle disponible. Ainsi, les professionnels optimisent les solutions en recherchant le meilleur compromis entre les apports climatiques tout en couplant ceux-ci aux systèmes actifs (stratégie active). Habituellement, les professionnels priorisent l'étude et l'analyse de l'éclairage naturel, de l'ombrage et des flux d'air à l'aide d'outils de simulation et de modélisation énergétique.

Les aspects analysés à l'aide des outils incluent : le confort et le contrôle, le climat, les propriétés de la fenestration, la radiation solaire, le stockage thermique, l'éclairage naturel et l'ombrage ainsi que les conditions du flux d'air. Ces aspects exigent un niveau d'expertise et de compréhension de leurs effets pour l'obtention de solutions passives optimales. Ceci évoque l'importance de bien évaluer les paramètres qui conditionnent les systèmes, notamment, ceux d'éclairage et de ventilation naturelle (données climatiques, orientation et morphologie du bâtiment) (Potvin et Demers, 2005 ). Par exemple, dans ces circonstances, l'orientation idéale en fonction du vent ne correspond pas nécessairement à l'orientation idéale pour optimiser la performance des systèmes solaires passifs. Donc, il est préférable de favoriser une optimisation des systèmes de façon globale plutôt que d'optimiser les systèmes individuellement. À cet effet, l'utilisation de stratégies passives combinées à une approche

active permet d'atteindre des conditions intérieures confortables à un moindre coût (ASHRAE, 2010). Donc, lors du design des bâtiments écologiques, l'équipe de conception doit évaluer tous les compromis et toutes les synergies sans omettre les aspects de l'enveloppe et la masse thermique (étanchéité, isolation, ponts thermiques et inertie thermique des matériaux) (Cole et al., 2001).

La conception de bâtiments écoénergétiques exige une approche intégrée entre les professionnels (Cole et al., 2001). Il est essentiel que les ingénieurs soient impliqués pour la prise de décisions. C'est pourquoi les équipes de conception devraient opter pour le travail collaboratif. En appui, le guide sur l'optimisation énergétique réalisé par le GRIDD stipule que l'optimisation énergétique est une activité qui demande une collaboration et des échanges soutenus entre ingénieurs et architectes. À l'égard de l'optimisation énergétique, les stratégies utilisées recherchent les meilleures interrelations entre les mesures passives et actives (Anderson, 2014; Reed et al., 2009).

## **1.2 Travail collaboratif et PCI**

Le changement de culture significatif qu'amènent les nouveaux principes de bâtiments durables modifie considérablement les approches de conception. À cet effet, le travail collaboratif est essentiel au PCI d'autant plus que le PCI est souvent indispensable pour la réalisation de bâtiments écoénergétiques. En ce sens, le travail collaboratif traite des interrelations entre individus tandis que le PCI traite de celles entre les systèmes. De surcroît, la synergie d'équipe et la synergie des systèmes sont indispensables à l'optimisation des solutions. Par ce fait même, le processus de conception intégrée doit être effectué à travers un travail collaboratif pour élaborer des solutions optimales. Autrement dit, le PCI s'inscrit à travers une réorganisation du travail.

### 1.2.1 Travail collaboratif

Le travail collaboratif se définit par la culture de collaboration de la gestion d'une chaîne d'approvisionnement incluant les éléments suivants : la confiance, la réciprocité, l'échange d'informations, l'ouverture et la communication (Barratt, 2004). Ces éléments sont indispensables au travail collaboratif (par exemple, la conception intégrée) ainsi qu'à l'utilisation d'outils et de technologies tels que les logiciels de simulation et de modélisation. Toutefois, le processus conventionnel fragmenté de l'industrie de la construction ne favorise pas une dynamique propice à la collaboration, ce qui nuit à l'implantation de ces mesures et processus. La compréhension de ce qu'est la collaboration est importante pour la conception de bâtiments complexes tels que les bâtiments écoénergétiques. Ceux-ci font face à deux obstacles majeurs : d'une part, la principale barrière à l'implantation de la collaboration provient de son niveau de compréhension (Barratt, 2004) et, d'autre part, le fait que la compréhension des systèmes au sein d'un seul bâtiment soit devenue trop complexe pour un seul individu (Reed et al., 2009). La compréhension du travail collaboratif et des processus sur lesquels s'appuient la compréhension des systèmes et des sous-systèmes est indissociable. Ainsi, selon plusieurs auteurs (Busby, Perkins et Will, 2007; Coles, 2002; Zimmerman, 2006), la collaboration est un ensemble autour duquel les processus de conception intégrée (PCI) et d'optimisation énergétique (outils et technologies de simulation) gravitent. Le travail collaboratif est une méthode de travail qui s'adopte dans une culture de collaboration avec l'aide de sous-ensembles dans le but d'optimiser la conception et de maximiser la performance du bâtiment. La Figure 1.1 illustre les relations d'interdépendance entre la collaboration, le PCI et la réalisation de bâtiments écoénergétiques à l'aide de solutions technologiques pour atteindre les objectifs de performance.

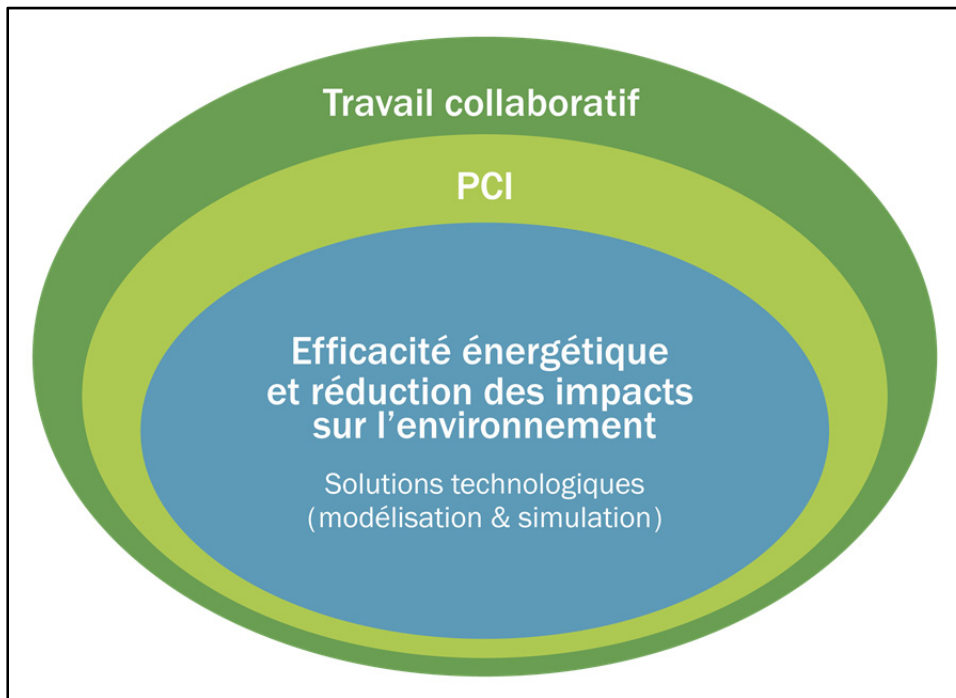


Figure 1.1 Schéma des aspects nécessaires à la réalisation de bâtiments écoénergétiques

#### 1.2.1.1 Principaux aspects du travail collaboratif

Le travail collaboratif est souvent attribué à la conception intégrée dans l'industrie de la construction. Il doit tenir compte d'une multitude de langages qui diffèrent d'un professionnel à l'autre et par la culture organisationnelle propre à chacun. La réussite des projets et la performance de l'industrie de la construction dépendent beaucoup du niveau de collaboration au sein de l'équipe de projet dans laquelle l'approche intégrée est menée. À cet effet, une collaboration efficiente devient essentielle pour parvenir avec succès à un processus de conception intégrée, dû à sa pluridisciplinarité (Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011). Ainsi, le processus d'intégration dans une équipe n'est pas autogéré et fait face à plusieurs barrières telles que le manque de collaboration, des visions incompatibles partagées, des intérêts individuels, une mauvaise communication ou une participation insuffisante des membres. Ces aspects se doivent d'être planifiés, contrôlés, favorisés et facilités pour assurer l'atteinte des objectifs de performance lors de la phase de conception

(Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011). Pour travailler efficacement en collaboration, il est essentiel d'avoir un certain degré de cohésion dans l'équipe multidisciplinaire et de s'assurer de la compréhension de la complexité du projet. Étant donné la nécessité d'une participation active dans le travail collaboratif, la transparence entre les frontières organisationnelles définies est requise afin d'atténuer le risque élevé de chaos (Forgues et Koskela, 2009). Ainsi, les conditions structurelles et contextuelles doivent être définies pour faciliter le cheminement des professionnels dans la complexité de la conception. Les conditions fondamentales pour réussir un processus de conception intégrée (PCI) s'inscrivent à travers une réorganisation du travail. Cette dernière doit tenir compte des aspects suivants : la compétence et la motivation; la confiance et le respect; les conflits d'objectifs; le partage des informations et l'alignement des objectifs de performance. Chacun de ces aspects sont définis dans la liste suivante :

- la motivation et la compétence contribuent à teinter le projet des valeurs de l'équipe de conception. Alors, l'esprit d'équipe devient l'esprit du projet (Reed et al., 2009). La qualité d'un projet est la responsabilité individuelle et collective des acteurs impliqués;
- la confiance et le respect entre les membres d'une équipe sont essentiels pour créer le niveau de collaboration et d'engagement requis pour un PCI réussi;
- les conflits d'objectifs se rapportent aux intentions de conception qui peuvent se contredire et nuire à la réalisation de la performance recherchée en raison de la complexité d'un projet. Cela pourrait perturber grandement l'atteinte des objectifs, étant donné que les objectifs individuels ne sont pas totalement alignés avec les objectifs du projet. Par exemple, un mauvais dispositif pour contrôler l'éclairage naturel pourrait augmenter la charge de climatisation en été et aller à l'encontre d'une réduction de la consommation énergétique. Un exercice de « visioning » lors de l'établissement des cibles et objectifs, une communication efficace ainsi qu'un échange d'information continue lors du développement des concepts peuvent minimiser le risque de conflits lorsque des solutions seront proposées selon chacune des disciplines;
- le partage efficace de l'information vise à ce que la bonne information parvienne à la personne appropriée au bon moment. Ainsi, les décisions critiques peuvent être prises rapidement sans obstruer le processus de conception;

- l'alignement des objectifs de performance se rapporte à l'efficacité de l'ensemble du projet. L'efficacité du projet dépend de la capacité de l'équipe de conception à concentrer ses efforts sur les buts et les objectifs de performance afin d'éviter de réaliser un concept non cohérent dans les interrelations entre les systèmes. L'équipe doit travailler ensemble vers des objectifs communs afin d'établir une cohésion des choix de conception (Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011). Les objectifs sont définis à partir de cibles de performance, déterminées par le client et le cœur de l'équipe de conception lors de la charrette de préparation, selon les valeurs de l'ensemble de l'équipe intégrée et les exigences et les attentes du client présent dans le programme préliminaire.

#### **1.2.1.2 Enjeux de la collaboration dans le processus traditionnel**

Le travail collaboratif en conception se heurte aux principes très bien ancrés de la conception traditionnelle (Figure 1.2). En effet, le travail collaboratif comme la conception intégrée se base sur trois principes : la collaboration, l'innovation et la prise de décision orientées par des objectifs de performance. Ces trois principes se confrontent avec la fragmentation et la linéarisation de l'industrie de la construction. D'ailleurs, certains auteurs (Bill Browning et al, 2012; Busby + associates architects et Engineering, 2003; Cole, Miller et Schroeder, 2014; Löhnert, Dalkowski et Sutter, 2003; Relations, 2001) soulignent les faiblesses de la capacité du processus traditionnel à générer efficacement des projets complexes et mettent en doute sa pertinence dans la réalisation de bâtiments performants. Ainsi, certains problèmes de l'approche séquentielle sont reconnus, notamment le manque d'itérations dans le processus de conception, de considération des contraintes dans l'ensemble des phases de construction et du cycle de vie du projet, de synergie conduisant à des solutions sous-optimales (Forgues et Koskela, 2009). Par conséquent, le travail collaboratif vient atténuer ses barrières, mais fait face à une industrie fragmentée et linéaire non adaptée (Gabriel, 2013). Les frontières culturelles et organisationnelles qu'engendre cette industrie ont tendance à étouffer la communication et le travail collaboratif (Dossick et Neff, 2011). Ces particularités amènent les professionnels à travailler en silo, ce qui affecte la synergie entre les divers intervenants et restreint l'atteinte de la performance et de l'innovation dans le processus de conception

traditionnel (PCT) (Yoann, 2009). Par ailleurs, ce processus limite généralement la performance des objectifs à atteindre (Larsson, 2004) dû, en partie, au partage des hypothèses et des décisions de conception quasi inexistantes dans le processus classique (Busby, Perkins et Will, 2007). Notamment, les processus traditionnels de conception s'appuient sur les éléments techniques, ce qui engendre souvent l'adoption de mesures coûteuses et incompatibles entre elles sans se préoccuper des aspects sociaux et économiques. Autrement dit, les dimensions du développement durable ne sont pas considérées. Seules la synergie et la collaboration entre les professionnels permettraient de créer des systèmes qui se soutiennent entre eux et d'optimiser les mesures sélectionnées (Larsson, 2002; Zimmerman, 2006). Ces facteurs se résument souvent à une diminution de la valeur attendue du bâtiment (Larsson, 2004). De plus, non seulement la valeur du bâtiment est diminuée, mais les besoins fonctionnels et techniques du client sont parfois écartés (Reed et al., 2009).

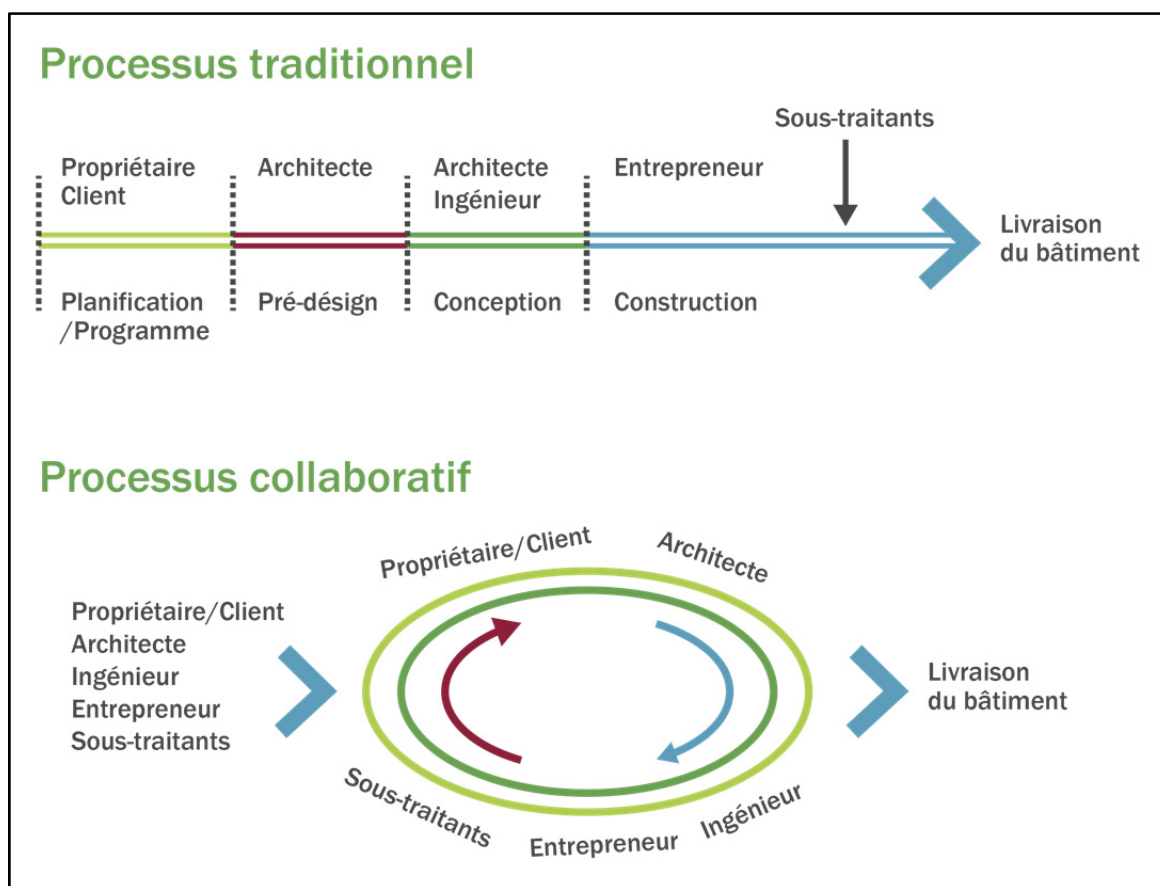


Figure 1.2 Schéma comparatif du processus collaboratif et traditionnel

### 1.2.2 Processus de conception intégrée (PCI)

La conception intégrée est une approche remettant en cause le fondement même des pratiques traditionnelles de conception. Elle exige d'abandonner la pratique de coordination des lots de travail de chacune des disciplines et de s'engager dans un processus de conception collaborative et multidisciplinaire. Le processus de conception n'est plus linéaire. Il utilise des boucles d'itérations axées sur l'analyse de problèmes et l'optimisation des solutions de conception (Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011; Larsson, 2004). Ainsi, la conception intégrée s'appuie sur quatre principes: la collaboration continue entre les intervenants (consultants et autres parties prenantes), les itérations en amont, l'innovation, et la prise de décisions orientées par des objectifs de performance. À ce jour, plusieurs définitions sont reliées à la conception intégrée sans toutefois être uniques au PCI (Zimmerman, 2006). Il n'existe aucune structure clairement identifiée sur laquelle tous les auteurs s'entendent. C'est pourquoi la présente recherche opte pour une définition du PCI dérivée de celles proposées par iiSBE (Larsson, 2002), Busby (Busby, Perkins et Will, 2007) et Reed (Reed et al., 2009) : « Le processus de conception intégrée (PCI) est une méthode pour réaliser des bâtiments de haute performance qui contribue à un cadre bâti durable. Il s'agit d'un processus de collaboration qui couvre le cycle de vie complet (conception, construction, exploitation et occupation d'un bâtiment). Le PCI est conçu pour aider le client et autres intervenants à rencontrer plus efficacement et avec une meilleure efficacité leurs buts et objectifs fonctionnels, environnementaux et économiques clairement définis et innovants. Le PCI nécessite une équipe de conception multidisciplinaire qui comprend ou acquiert les compétences nécessaires pour résoudre tous les problèmes de conception découlant des objectifs. Le PCI résulte d'un ensemble synergique de stratégies de système de construction, agissant sur différentes thématiques (énergie, eau, matériaux, l'habitat humain et naturel), afin de réaliser des solutions intégrées et optimales. »

Deux approches distinctes sont dénombrées dans la revue de la littérature. Ces approches ciblent les principes d'une bonne pratique de conception intégrée et holistique du bâtiment en symbiose avec son environnement. Néanmoins, elles exigent un niveau de maturité élevé de

la part de l'équipe de conception intégrée. L'approche de Larsson (2009) est très technique et ne considère pas une vision élargie du développement durable, alors que les approches de Reed (2009) et Busby (2007), qui sont très similaires, sont axées sur une conception régénérative, afin de réparer les interventions humaines qui ont altéré les écosystèmes.

Tout d'abord, l'approche du PCI de Larsson (2009) est structurée selon les composantes et les systèmes du bâtiment (orientation et configuration; conception du site; matériaux et finition; CVAC; éclairage et énergie) et est centrée sur la maximisation de la performance énergétique. Cette approche structure l'intégration et l'optimisation des systèmes via : 1) l'exploration d'alternatives; 2) l'analyse de la performance énergétique; 3) le développement des options; 4) le choix des options (analyse et validation); et 5) l'intégration des choix conceptuels dans les documents de construction. Dans l'approche de Larsson (2009), le choix des options se base sur l'analyse énergétique, l'évaluation de la performance des systèmes, l'analyse du coût global et l'évaluation du cycle de vie afin d'introduire la performance énergétique et les impacts environnementaux dans la prise de décision. En ce qui concerne les approches du PCI de Busby (2007) et de Reed (2009), elles s'intéressent à la conception de bâtiments écologiques qui visent la restauration ou la régénération d'écosystèmes. Ces derniers apportent une vision plus flexible que celle de Larsson (2009). Cette approche comporte : 1) l'intégration d'ensembles et de systèmes; 2) les activités et les tâches de charrettes; l'intégration des parties prenantes importantes; 3) l'effort d'itération; 4) le processus d'apprentissage divergent-convergent; et 5) le mode de travail de l'équipe.

### **1.2.2.1 Principes du processus de conception intégrée (PCI)**

Les principes du PCI sont similaires à ceux du travail collaboratif, en plus de mettre l'accent sur des objectifs de performance. Le PCI cherche à établir une communication efficace et un partage des connaissances en vue de créer une synergie d'équipe essentielle à l'atteinte des objectifs de conception. Pour bien arrimer ces aspects au processus, il importe de conserver une motivation des membres de l'équipe intégrée dans une ambiance de confiance et de respect et de viser un consensus, une vision commune. L'intégration des différents éléments pour créer un tout cohérent implique que le tout est plus que la somme des parties individuelles (Busby, Perkins et Will, 2007; Reed et al., 2009). Pour assurer la bonne pratique du PCI, les principes de base du processus, selon le « Integrated design process facilitation ressource guide » (Coles, 2002), sont:

- vision et établissement d'objectifs;
- itératif et flexible;
- transdisciplinaire : discipline-compétence-spécialité/ le corps de l'équipe;
- engagement multiparti : l'engagement multilatéral en les parties prenantes;
- processus et résultats entraînés : synergie/génération d'idées/prise de décision/innovation;
- approche collaborative;
- apprentissage continu : interdisciplinaire et interculturel;
- axée sur les lieux : contexte local, économique, écologique et social.

### **1.2.2.2 Bénéfice du processus de conception intégrée (PCI)**

Le PCI est un processus qui répond à des objectifs ciblant quatre éléments (l'habitat biotique et abiotique, l'habitat humain, l'eau et l'énergie) du bâtiment (Reed et al., 2009) et ne se limite pas seulement à l'amélioration de la performance environnementale (Hansen et Plenge, 2005), mais tient compte en plus de l'efficacité énergétique, puisque celle-ci influence directement les coûts d'énergie et représente un levier économique intéressant. Dans ce cas, la réalisation de bâtiments innovants de meilleure qualité et à moindre coût devrait s'appuyer

sur un processus de conception intégrée (Korkmaz et al., 2010). La conception intégrée (CI) amène une contribution tant sur le plan économique, technologique, social et environnemental. Sur le plan économique et technologique, une bonne organisation du processus de conception intégrée peut générer une diminution des coûts de construction, de conception et des honoraires professionnels, dû à l'efficacité du délai de réalisation des projets et à l'efficacité des solutions de conception déterminées par la collaboration et l'intégration de technologies (Forgues et Courchesne, 2008; Reed et al., 2009). Sur le plan social et environnemental, l'implantation de la CI permet de réaliser des bâtiments à haute performance tant dans la consommation d'énergie que sur les impacts potentiels des projets sur l'environnement considérant les enjeux de durabilité à travers sa planification et son cheminement. Le processus de CI permet de construire intelligemment, en tenant compte de tous les acteurs et de tous les aspects qui constituent les fonctionnalités du bâtiment. La CI contribue aussi à l'atteinte d'objectifs de conception et facilite l'intégration des aspects de performance et ce, pour le bien-être des occupants ainsi que de l'environnement social à proximité du site du projet. Donc, la CI contribue à l'intégration de technologies tout en tenant compte de l'aspect humain relié au bâtiment. Les bénéfices sont nombreux face à un processus de CI établi dans le respect de ces principes de base. Par ailleurs, plusieurs certifications sont utilisées comme outils pour assurer et faciliter le cheminement et l'atteinte des objectifs de performance en PCI. Toutefois, les différents systèmes de notation tels que LEED agissent simplement comme outils d'aide à l'intégration et non comme une assurance d'une bonne pratique du PCI puisque c'est aux professionnels d'établir les synergies des systèmes et des composantes. Les principaux bénéfices générés par une pratique adéquate du PCI sont les suivants:

- coûts (réalisation de projet);
- collaboration et communication (synergie d'équipe/synergie des systèmes);
- amélioration de la performance;
- une équipe de conception multidisciplinaire (meilleures perspectives /alternatives);
- meilleur ajustement (axé sur les lieux/socio-économiques et écologiques locaux);
- marketing (publicité positive libre);
- atténuation des risques.

### **1.2.2.3 Approche intégrée versus traditionnelle**

Le processus de conception intégrée (PCI) et le processus de conception traditionnelle (PCT) sont très différents l'un de l'autre, tel que présenté dans le Tableau 1.1. La distinction entre les deux processus se situe au niveau de l'optimisation des solutions de conception, d'une part, afin de réduire l'inefficacité des bâtiments tant dans la réalisation que pendant l'opération et, d'autre part, afin d'améliorer la qualité de vie des occupants. La majorité des décisions qui vont influencer la performance et le bien-être des occupants se prennent au début de la conception. Il est dès lors essentiel que les acteurs-clés dans la planification et la construction du projet soient parties prenantes dès le début du processus de conception. Ceci implique la participation de l'ensemble de l'équipe et des parties prenantes en amont. En plus du PCT qui vise généralement l'atteinte de solutions fonctionnelles selon un budget fixe, le PCI cherche en plus l'optimisation des solutions par l'atteinte d'une synergie d'équipe et des systèmes. Pour y parvenir, l'équipe de conception doit considérer et comprendre l'interrelation des systèmes de manière globale et non isolée. La compréhension des systèmes et de leurs effets croisés (interrelations) est favorisée et facilitée par la participation d'un grand nombre d'intervenants et de quelques consultants-spécialistes lors d'ateliers de travail itératif (ateliers thématiques ou charrettes). Le PCI se définit par la résolution de problèmes de conception en amont afin d'obtenir une conception optimale considérant le cycle de vie complet du bâtiment à l'opposé du PCT qui se définit simplement par la conception fonctionnelle.

Tableau 1.1 Caractéristique du PCI et du PCT inspiré de Busby  
(Busby, Perkins et Will, 2007)

Processus de conception intégrée (PCI)	Processus de conception traditionnelle (PCT)
Participation de l'ensemble de l'équipe dès le début.	Participation seulement des membres essentiels (cloisonnement).
Le temps et l'énergie investit tôt en amont de la conception.	Moins de temps et d'énergie en amont de la conception. Peu de collaboration.
Prise de décision influencée par un grand nombre d'intervenants (acteurs).	Un grand nombre de décisions prises par peu d'intervenants (acteurs).
Processus itératif.	Processus linéaire.
Considérer les systèmes comme un ensemble.	Considérer les systèmes isolément.
Permet l'atteinte de solutions optimales.	Permet l'atteinte de solutions fonctionnelles.
Cherche la synergie (équipe, systèmes).	Possibilité de synergies quasi-inexistante.
Considère le coût global.	Accent sur les coûts initiaux sans considérer les coûts d'exploitation.
Processus continu. Intervient jusqu'à la post-occupation.	Processus terminé lors de la construction.

### 1.2.3 Outils de gestion et de suivi et contrôles

Les outils de gestion et de suivi et contrôles des processus sont simples, mais très pertinents pour assurer la finalité de la conception dans le respect des demandes du client et des contraintes du projet. Par exemple, l'outil SMART (spécifique; mesurable; atteignable; réaliste; temporel) est utilisé dans la gestion de projet au stade de la définition des objectifs afin d'évaluer leurs compatibilités avec le projet. Les feuilles de route, les agendas, les listes de vérification et les minutes de réunion sont tous des outils essentiels à la bonne conduite du PCI. Ceux-ci contribuent à l'aspect de continuité et d'alignement des objectifs de performance et servent à planifier et suivre la production des intrants et des extrants pour supporter le PCI. Ainsi, la liste de « Touchstones » est une autre bonne méthode. Elle est utilisée afin de faciliter l'établissement d'un consensus au sein de l'équipe de conception lors

de l'élaboration des exigences de projet du propriétaire ((EPP) ou « Owner's Project requirements » (OPR)) et dans la définition des cibles de base de conception (« Basis of Design » (BOD)) (Reed et al., 2009). Certaines certifications, comme la certification LEED Canada 2009, proposent leur propre liste afin de procéder à la vérification et à la validation des stratégies de conception durable. Ces documents servent, entre autres, à effectuer une analyse de faisabilité LEED. Par ailleurs, un autre outil utile est la production de cartes heuristiques ou conceptuelles qui permettent de représenter les liens logiques entre les différentes idées ou concepts étudiés. Plusieurs logiciels facilitent la production de ces cartes. À l'égard de l'aspect de continuité mentionné précédemment, il est suggéré que toutes les modifications, les changements de concepts ou de systèmes ainsi que toutes les prises de décisions soient notés dans un rapport de suivi des changements itératifs durant le processus de conception intégrée et ce, pour toutes les charrettes. Ces rapports ou notations de continuité permettent d'assurer la bonne pratique du processus intégré du fait qu'il garde en mémoire le cheminement itératif parcouru par l'équipe (réflexion, consultation, négociation et prise de décision).

Dans le cadre d'un PCI, l'équipe de conception est formée de plusieurs intervenants ayant leurs propres façons d'interagir. Ainsi, chaque individu a un médium avec lequel il est plus à l'aise de s'exprimer. Alors, les outils collaboratifs viennent faciliter les interactions entre les intervenants dans le but d'obtenir leur meilleur apport lors des charrettes. Pour ce faire, le facilitateur peut avoir recours à des outils mécaniques (tableaux blancs, papier, crayons, post-it, etc.) ou informatiques (tableaux interactifs, télévotants, tablettes, etc.), ou une combinaison des deux (Coles, 2002; Lindsey, Todd et Hayter, 2003). À ces outils s'ajoutent des techniques afin de faciliter le processus, la dynamique et la participation de l'équipe, ainsi que l'idéation et la créativité dans le groupe. Le guide de Lindsey Coles, « The Integrated Design Process Facilitation Resource Guide » (Coles, 2002), est une excellente source pour en connaître plus sur ces techniques.

### **1.2.3.1 Technologies de l'information et de communication (TIC)**

Le but de l'utilisation des TIC est de faciliter ou de supporter l'analyse et d'aider la prise de décision. Les maquettes numériques, des logiciels de simulation ou d'analyse de coût et parfois même des télévotants permettent l'évaluation ou la validation des options de conception. Notamment, ils permettent la synergie des équipes et une prise de décision éclairée. Les logiciels d'analyse sont essentiels pour concevoir un bâtiment écoénergétique et ce, avec un surcoût en capital moindre et des coûts d'exploitation réduits (Larsson, 2002). Il est recommandé de faire l'évaluation des options selon deux à trois critères dont la performance, les coûts (capital et global), ou une analyse du cycle de vie (Larsson, 2004). Pour ce faire, l'industrie peut s'appuyer sur une panoplie de logiciels de modélisation et de simulation.

### **1.2.3.2 Logiciels de modélisation et de simulation**

Dans les outils de modélisation et de simulation, plusieurs types de logiciels permettent d'analyser et d'optimiser l'interaction entre de nombreux systèmes, sous-systèmes et composantes (Tableau 1.2). Les fonctionnalités suivantes se retrouvent parmi ceux-ci : modélisation énergétique (enveloppe, CVCA, etc.), simulation de la lumière naturelle et de l'éclairage, analyse du coût global, analyse de cycle de vie (ACV), calcul de l'émission de GES, analyse CFD ou MFN (étude de la dynamique des fluides) ainsi que la comparaison de scénarios des systèmes ou sous-systèmes pour un bâtiment (Reed et al., 2009; Staub-French et al., 2011). Les logiciels les plus complets ont été surlignés en bleu dans le Tableau 1.2. Les plus utilisés sont eQuest, EE4, SIMEB, Open Studio, Design Builder et Athéna (ACV). Il existe d'autres types de logiciels gratuits comme Sketchup et Radiance qui peuvent être utilisés pour évaluer l'ensoleillement ou l'apport en éclairage naturel. Néanmoins, pour tout type de logiciel, il faut s'assurer d'avoir les connaissances nécessaires en science du bâtiment et en mécanique (Tableau 1.2, échelle de 1 à 5) et une bonne dose d'expérience pour procéder à une bonne simulation et interpréter les résultats adéquatement. Autrement dit, ces outils demandent des connaissances telles que la simulation énergétique, les processus

thermiques et de connaître les limites des outils afin d'en tirer les bonnes conclusions et les bénéfices recherchés (Maile, Fischer et Bazjanac, 2007).

Tableau 1.2 Fonctionnalités et logiciels (Staub-French et al., 2011)

Logiciel	SIMEB	eQuest	Design Builder	TRNSYS	Ecotect Analysis	HAP	TRACE 700	IES	ESP-r	Open Studio
<b>Général</b>										
Type de logiciel: Simplifié, Complet, Spécialisé	S	C	C	Sp	S	S	S	C	C, Sp	S
Niveau de connaissance en science du bâtiment et en mécanique ( 1 faible, 5 élevé)	2	3	3	5	2	1	2	3	5	2
<b>Fonctionnalités</b>										
Modélisation énergétique (CVAC)	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Simulation d'éclairage naturelle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Analyse du coût global		x						x		
Analyse de cycle de vie (LCA)								x		
Calcul de l'émission de GES			x		x			x	x	x
Analyse CFD (Étude de la dynamique des fluides)			x					x	x	
Comparaison de bâtiment et/ ou d'un système	x	x					x	x		

L'application des TIC supporte le développement d'environnements virtuels intégrés, ce qui permet aux membres de l'équipe d'être plus créatifs et innovants (Ibrahim, Costello et Wilkinson, 2011). Cependant, l'utilisation de TIC comme les outils de simulation et de modélisation dans le contexte d'une charrette de conception demande une préparation soignée pour éviter les pertes de temps dans la manipulation des logiciels et la recherche des données. Les outils contribuent à l'atteinte des objectifs de performance suivants :

- fournir un soutien au processus de prise de décision du projet (PCI);
- établir les analyses croisées et mieux interpréter les données;
- ajuster les composantes du bâtiment pour en maximiser la performance;
- élaborer des stratégies de conception écoénergétique;
- visualiser et comparer des solutions de conception;
- supporter l'analyse de coût et l'analyse de cycle de vie du projet.

### 1.2.3.3 Les enjeux des outils dans le PCI

Les environnements technologiques sont très prometteurs en lien avec la pratique de la conception intégrée, mais demandent un développement continu pour optimiser leurs utilisations. Les logiciels de modélisation et de simulation doivent subir des améliorations à plusieurs niveaux pour favoriser un environnement de création et de performance (Iordanova et al., 2010). À ce jour, les outils de simulation et de modélisation sont simplifiés, ne permettent pas de créer les formes réelles du projet et sont donc limités dans leurs géométries de bâtiments (Maile, Fischer et Bazjanac, 2007). Les logiciels de simulation ne génèrent pas de propositions de conception, et ainsi sont limités à des aspects analytiques du projet (Iordanova et al., 2010). Par ailleurs, le manque de flexibilité des fonctions de contrôle ne peut pas prédire les valeurs de consommation absolue influencée aussi par l'occupant. Une amélioration de la valeur et de la précision de la simulation énergétique doit être établie dans les nouveaux développements de logiciels (Maile, Fischer et Bazjanac, 2007). De plus, certaines technologies exigent des ressources techniques importantes, des compétences ainsi que des connaissances particulières et rares (Staub-French et al., 2011). Les outils et les technologies du bâtiment font face à un large fossé entre les architectes et les ingénieurs et devront construire un pont innovant entre ces deux professions, autrement dit, combler les déficits interdisciplinaires (Attia et al., 2011).

Les outils de visualisation se caractérisent en quatre éléments, soit : analyse, compétence, information et décision. En effet, les outils de visualisation dans le processus de conception permettent d'élaborer des stratégies de conception écoénergétique; de comparer et de sélectionner les systèmes d'enveloppe versus les matériaux alternatifs; de comprendre les domaines spécialisés du bâtiment comme le solaire passif et d'ajuster les composantes de l'enveloppe et les systèmes intérieurs; et de communiquer la séquence de construction aux acteurs qui ne connaissent pas les méthodes et les processus de construction (Korkmaz et al., 2010).

#### **1.2.4 Importance des approches de la maturité dans l'application d'un PCI**

Les approches de la maturité permettent d'identifier les pratiques courantes du PCI au Québec et d'en évaluer le taux de maturité comparativement à ce qui se fait ailleurs. En appui à une échelle de maturité, les organisations réfèrent leur pratique pour mesurer et planifier leur capacité à utiliser un processus. À cet effet, selon le « Capability Maturity Model Integration » (CMMI) la maturité d'une organisation est le degré auquel elle utilise explicitement et de façon cohérente un processus qui est documenté, géré, mesuré, contrôlé et continuellement amélioré (Champoux, 2013). Ces échelles de maturité sont des outils pour déterminer où se situe l'organisation à travers ses pratiques dans ce processus. Il existe plusieurs modèles de maturité, généralement composés de quatre ou cinq niveaux de maturité. Ces derniers correspondent à l'atteinte d'un niveau de capacité à utiliser un processus selon l'atteinte de ses objectifs pour le niveau donné. Une échelle de maturité bien connue comme la CMMI à cinq étapes s'avère essentielle à l'adoption d'une pratique adéquate de la conception intégrée. Ce modèle se définit selon l'échelle suivante: 1) initial, 2) discipliné, 3) ajusté, 4) géré quantitativement et 5) optimisé. Le guide de conception intégrée (ANNEXE II, p.119-121) s'est inspiré de cette dernière afin d'élaborer ses maturités du PCI selon les pratiques existantes, adaptées à l'industrie québécoise. La connaissance de l'échelle de maturité permet aux firmes de planifier et de contrôler leur capacité à maîtriser le processus et d'atteindre l'implication des professionnels en conception intégrée. Ainsi, l'intérêt du modèle de maturité pour les organisations est de se situer par rapport à leurs initiatives et d'identifier les prochaines étapes à réaliser. Pour ce faire, l'évolution de la culture organisationnelle doit être fixée à long terme et axée sur le travail d'équipe, le travail multidisciplinaire, le travail collaboratif. En ce sens, les organisations doivent supporter ce changement progressif de la pratique interne (Jasmin, 2013).

### 1.2.5 Approches de mesure et de vérification - Mise en service

Les approches de mesure et de vérification sont de plus en plus importantes dans un contexte intégré auquel l'optimisation des solutions de conception émerge. Le but des approches de mesure et de vérification est d'assurer que les installations et ses systèmes répondent aux exigences du projet du propriétaire (EPP). Autrement dit, ces approches servent à valider et documenter la performance des installations à l'atteinte des EPP et d'assurer au client un bâtiment avec une meilleure performance. Dans la pratique traditionnelle, les professionnels en mesurage et vérification utilisent l'expression « monitoring » (Milot, 2013). Le « monitoring » consiste en l'observation de l'usage de l'énergie pour les actions de prédiction, de budgétisation et de diagnostic : un mesurage de la consommation d'énergie et une analyse de son utilisation (Milot, 2013). Par contre, cette pratique, souvent, ne tient pas compte des changements qui peuvent se produire durant le cycle de vie du bâtiment. Un processus de mesure et de vérification des installations doit considérer l'évolution de l'ensemble du bâtiment mis en service (Reed et al., 2009). Ainsi, la vérification de la conception, de la construction, et des opérations est assurée. C'est pourquoi l'assurance et le contrôle qualité sont des dimensions importantes pour l'atteinte d'un résultat fiable du processus d'optimisation.

L'assurance qualité de la performance énergétique est une notion très importante tant dans la phase de conception que lors de celle de construction. En effet, ces phases correspondent respectivement à près de 79 % et 17 % des sources de défaillances (Burati, Farrington et Ledbetter, 1992). Ainsi, des écarts considérables peuvent survenir dû aux changements, des erreurs et des omissions. Pour ces raisons, l'industrie de la construction prend de plus en plus conscience des impacts liés à l'augmentation des problèmes de qualité en chantier. Les défaillances de construction peuvent considérablement affecter la performance du bâtiment. Elles font souvent référence aux méthodes ou aux procédures de construction erronées, aux matériaux de substitutions non équivalents ainsi qu'à des travaux, activités ou tâches omises. Ainsi, il faut souligner un manque de conformité au plan et devis. Pour les défaillances attribuées à la fabrication et au transport, celles-ci correspondent souvent à une erreur

d'assemblage ou à une non-conformité des spécifications et des dessins d'atelier. Les sources de défaillances sont présentées dans le Tableau 1.3.

Tableau 1.3 Source de défaillances en fonction du cycle de vie du bâtiment  
(Burati, Farrington et Ledbetter, 1992)

Phases : Cycle de vie du bâtiment	Sources de défaillances de la qualité
<b>Conception</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Révision, modifications, problèmes de coordination</li> <li>• Changements dus à la constructibilité des solutions conceptuelles</li> <li>• Changements dus aux conditions du site, au client, à l'opérateur, au fabricant ou fournisseur</li> <li>• Erreurs d'intégration des composantes et systèmes</li> <li>• Omissions dans les documents de construction (plans et devis)</li> </ul>
<b>Fabrication</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements, erreurs ou omissions durant la fabrication</li> </ul>
<b>Transport</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements, erreurs ou omissions durant le transport</li> </ul>
<b>Construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements dans les méthodes de construction</li> <li>• Erreurs faites durant la construction</li> <li>• Omissions faites durant la construction</li> </ul>
<b>Exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changements pour améliorer l'opérabilité</li> </ul>

L'assurance qualité de conception des bâtiments à haute performance s'appuie, d'une part, sur un processus d'optimisation à l'aide de simulation et de modélisation et est, d'autre part, soutenue par un processus de conception adapté à la résolution de problèmes. Il y a un consensus parmi la communauté de pratique et scientifique que le processus de conception

intégrée ainsi que l'application de charrette de conception seraient la bonne pratique. Cette assurance de la performance permet d'arriver à des solutions optimales à travers la synergie des systèmes passifs et actifs.

L'implantation des concepts et des mesures d'économie d'énergie, tel qu'évalué pendant le processus de conception à l'aide de la modélisation et de la simulation, doit être vérifiés lors de la construction. Dans ce contexte, l'assurance de la qualité en chantier prend tout son sens. Elle devient indispensable pour répondre aux besoins et aux exigences du client en réduisant les sources de défaillances. Ainsi, la qualité du bâtiment se traduit par sa conception, ses spécifications et sa réalisation et ce, à travers les aspects de temps, de qualité et de coût. En ce sens, l'assurance qualité doit tenir compte du cycle de vie du bâtiment (conception, construction et opération). Par conséquent, les sources de défaillances potentielles sont nombreuses et doivent être surveillées et contrôlées pour atteindre la performance ciblée. À cet effet, les professionnels utilisent habituellement un plan de contrôle de la qualité ou d'assurance qualité lors de la surveillance de chantier présentés au Tableau 1.4.

Dans le cadre des projets en optimisation énergétique, la garantie de performance énergétique (GPE) incluse dans le cadre de contrôle est primordiale en assurance qualité. Elle assure une efficacité énergétique se traduisant par l'obligation souscrite par un prestataire d'atteindre des objectifs d'efficacité énergétique fixés. Cette obligation regroupe une garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) ainsi qu'une garantie de résultats énergétiques (GRE). Ainsi, la GPE incorpore la conception, la réalisation, l'exploitation et l'usage afin d'assurer un niveau de consommation énergétique prédéterminé (Huet et Dauger, 2013).

Mettre l'emphasis sur la mise en service pour maximiser les retombées d'une conception durable s'avère une nécessité. Incluant le cycle de vie, les principes et le cadre de mise en service développés par l'ASHRAE répondent précisément à ce besoin (ASHRAE, 2013). À ce propos, l'ASHRAE propose un processus de mise en service qui reconnaît l'intégration et l'interdépendance des éléments de l'installation. Quand il s'agit de bâtiments performants intégrés, la mise en service est de la plus haute importance, car les systèmes interdépendants

doivent être installés adéquatement pour atteindre les objectifs de performance assignés au projet. En ce sens, la mise en service est un élément essentiel du processus de conception intégrée (Reed et al., 2009). À cet effet, un processus de mise en service guide les méthodes dans l'exercice de mesure et de vérification dans les phases de conception, de construction et d'acceptation. Toutefois, dans les approches de mesure et de vérification traditionnelles, la phase de l'acceptation n'existe pas. Les professionnels considèrent la période de garantie comme celle d'acceptation. Pendant cette période, la mesure et la vérification de la performance se résument au traitement des plaintes et aux défaillances prématurées. Ainsi, le processus de mise en service (MES) intentionnel est inexistant pour atteindre le plein bénéfice dû à l'efficacité opérationnelle.

Tableau 1.4 Contrôle qualité, inspection et essais (OIQ, 2011)

Surveillance de chantier – suivi et contrôle	
Plan de contrôle de la qualité	
Cadre de contrôle de qualité	Plan d'inspection et d'essais
<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan et système qualité <ul style="list-style-type: none"> <li>Plan d'assurance qualité (PAQ)</li> <li>Garantie de performance énergétique (GPE)</li> <li>Liste de suivi pour la construction</li> <li>Liste de suivi pour les tests fonctionnels</li> </ul> </li> <li>Maitrise des documents <ul style="list-style-type: none"> <li>Partage et transfert de l'information (documents de conception et construction)</li> </ul> </li> <li>Matériaux (spécifications, identification et traçabilité)</li> <li>Maitrise des processus (exploitation, risques de non-qualité ou de non-performance et actions préventives)</li> <li>Contrôles et essais</li> <li>Maitrise du produit non conforme</li> <li>Actions correctives et préventives</li> <li>Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison</li> <li>Formation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Désignation de l'activité à contrôler</li> <li>Mesures ou essais à effectuer : réglage et équilibrage (CVCA)</li> <li>Responsables de chaque activité de contrôle</li> <li>Points d'échantillonnage</li> <li>Fréquence d'inspection et d'essais</li> <li>Exigences ou critères d'acceptation (codes &amp; normes) : tolérance des spécifications (marge d'acceptation)</li> <li>Méthodes à utiliser : mesurage, arpentage, équipements spécialisés</li> <li>Instrument de mesure et l'inspecteur (expertise / expérience)</li> <li>Enregistrement et conservation des données</li> <li>Actions correctives en cas de non-conformité</li> </ul>

Tableau 1.5 Mise en service et mise en service améliorée inspirée de (ASHRAE, 2013; Reed et al., 2009)

Cycle de vie du bâtiment	Principes et aspects de mise en service
Planification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Plan de mise en service et de mise en service améliorée :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Établie les attentes et exigences du propriétaire</li> <li>○ Collecte d'information supplémentaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonctionnement théorique du bâtiment;</li> <li>▪ État des systèmes existants;</li> <li>▪ Séquences de fonctionnement et d'entretien.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Suivi de la conception des systèmes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Analyse des concepts préliminaires;</li> <li>○ Identification des correctifs à apporter;</li> <li>○ Préparation des plans et devis;</li> <li>○ Préparation des clauses à respecter par l'entrepreneur.</li> </ul> </li> <li>• <b>Révision et finalisation du plan de mise en service :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Séquence d'opérations pour la construction;</li> <li>○ Calendrier d'occupation du bâtiment;</li> <li>○ Horaires d'opérabilité des équipements;</li> <li>○ Points de contrôle pour tous les équipements de CVCA;</li> <li>○ Programmation des niveaux d'éclairage dans tout le bâtiment;</li> <li>○ Besoins en air extérieur minimal;</li> <li>○ Changements dans les horaires pour les différentes saisons, les jours de la semaine et heure de la journée;</li> <li>○ Liste descriptive des systèmes et équipements mécaniques et électriques;</li> <li>○ Plan de maintenance préventive des équipements;</li> <li>○ Programme de mise en service comprenant les exigences périodiques de mise en service, les tâches de mise en service en cours, et les tâches continues pour les installations critiques.</li> </ul> </li> </ul>
Construction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Supervision de la mise en service des systèmes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Assurance de la conformité aux spécifications des plans et devis et directives;</li> <li>○ Préparation des dessins d'atelier pour chaque équipement;</li> <li>○ Mise en condition et le balancement approprié des systèmes;</li> <li>○ Suivi et contrôle du plan de mise en service.</li> </ul> </li> </ul>
Post-occupation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mise en service des équipements nouvellement installés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Procéder : essais et simulations de fonctionnement dans différentes conditions;</li> <li>○ Produire : fiche de démarrage, liste des vérifications et manuel de fonctionnement et d'entretien;</li> <li>○ Former les opérateurs et le personnel d'entretien;</li> <li>○ Suivre et évaluer les performances des systèmes sur une période donnée.</li> </ul> </li> </ul>

Un processus de mise en service intentionnelle établit une phase d'acceptation discrète et définit des critères pour la réalisation fonctionnelle (Reed et al., 2009). Pour ce faire, seule une documentation claire, concise, complète des exigences du propriétaire du projet (EPP) permet de mettre l'accent sur la mise en service comme un processus intégré. Ainsi, la mise en service offre au client l'avantage de suivre les progrès et le coût du projet sur une base réelle de temps. Autrement dit, un processus de mise en service considérant tout le cycle de vie permet de combler le fossé de la communication entre les concepteurs et les constructeurs ainsi qu'entre les intentions abstraites et la performance réelle des bâtiments. Le processus de MES s'apparente à ceux représentés au Tableau 1.5.

Le guide sur l'optimisation énergétique réalisé par le GRIDD en 2015 aborde la mise en service du point de vue de l'optimisation énergétique et du PCI. À ce propos, le PCI présente des limitations importantes, notamment dû à l'absence de boucles de rétroaction au niveau de l'opération. À cet effet, la perspective de rétroaction de l'évaluation post-occupation atténue ces limitations. Ce mécanisme de rétroaction permet de rendre le processus décisionnel plus agile et plus performant ainsi que de réduire le gaspillage causé par des décisions tardives, ce qui permet d'aborder les futurs efforts de conception plus systématiquement et intentionnellement (Reed et al., 2009). L'évaluation post-occupation permet une rétroaction globale sur l'interrelation des systèmes et des méthodes de construction et d'opération basée sur la performance réelle mesurée en cours d'opération.

Contrairement à la pratique de M&V qui informe sur un différentiel d'énergie consommée, l'évaluation post-occupation (EPO) informe les acteurs et les intervenants sur les impacts des stratégies utilisées en plus du différentiel d'énergie consommée (efficacité énergétique, ombrage, ensoleillement, radiation, vue, etc.) pour un niveau de confort ciblé. Ainsi, l'application de l'EPO favorise l'apprentissage pour mieux comprendre les implications de leur décision conceptuelle sur le bâtiment en opération.

Selon ce qui précède, une pratique de mise en service en amont permettrait aux professionnels de vérifier ou valider les hypothèses émises lors de la conception par rapport à l'opérabilité du bâtiment. Toutefois, cet aspect fait plus ou moins partie de la définition de la MES d'ASHRAE. C'est pourquoi la MES est introduite à travers un PCI ce qui permet d'intégrer cet aspect important à l'aide de l'environnement collaboratif. L'engagement d'un agent de mise en service en amont du projet est une solution qui peut aider à pallier en tout ou en partie à ces problèmes. Outre l'expertise technique, l'agent de mise en service se doit de collaborer et de guider les professionnels vers des choix performants.

### **1.3 Synthèse de l'état de l'art**

Le développement durable s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementales, sociales et économiques des activités de développement (MDDELCC, 2015). Grâce aux prémices du développement durable paru vers les années 1980, un changement de culture s'est entamé. Ce changement se traduit par une modification progressive des pratiques professionnelles, un virage vers la durabilité des projets. Ici, le défi consiste à concevoir des bâtiments cohérents avec les préceptes de viabilité, c'est-à-dire des bâtiments qui ont pour objectifs de limiter leur impact environnemental et de réduire la consommation énergétique (Boucher, 2010; Cole et al., 2001; Lucuik et al., 2005). Ainsi, le Québec doit faire la transition vers un travail plus intégré permettant de considérer ces aspects. À cet égard, les efforts dans la réalisation des bâtiments durables concèdent une place importante à l'énergie du fait qu'elle représente 85 % des effets néfastes sur l'environnement sur le cycle de vie. C'est pourquoi, les nouvelles approches de conception doivent tenir compte du cycle de vie, des impacts à long terme sur l'environnement ainsi que de leur efficacité énergétique (Cole et al., 2001). En raison de ce qui a été mentionné, l'optimisation des solutions conceptuelles est nécessaire. À l'égard de l'optimisation énergétique, les professionnels cherchent les meilleures synergies entre les mesures passives et actives. À cet effet, la recherche et l'analyse est requise pour assurer les retombées des solutions sélectionnées (Anderson, 2014; Reed et al., 2009).

La chaîne d'approvisionnement de l'industrie de la construction est complexe et comporte un grand nombre d'intervenants. Lors de la réalisation de projets, ceux-ci doivent travailler dans un environnement hautement collaboratif et multidisciplinaire (Cormier et al., 2011). Avec les nouveaux besoins en termes de bâtiment durable (écoénergétique), cette industrie doit réaliser des projets qui exigent la résolution de problèmes de plus en plus complexe. Ainsi, selon Reed (2009) la compréhension des systèmes d'un bâtiment est devenue trop complexe pour une seule personne. D'une part, le travail collaboratif est un aspect indissociable du processus de conception intégré (PCI), d'autre part, le PCI est indispensable à la réalisation de projets complexes tels que les bâtiments écoénergétiques. Ensuite, il est à noter l'importance de la mise en service dans l'assurance qualité. Ainsi, le processus de mise en service doit s'intégrer dans le PCI afin de maximiser les retombées.

## CHAPITRE 2

### METHODOLOGIE DE RECHERCHE QUALITATIVE

Le PCI a fait l'objet de quelques recherches, études de cas et expérimentations au sein du Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable en environnement bâti (GRIDD) (Forgues et Courchesne, 2008). Ce projet offre l'opportunité de consolider l'ensemble du travail réalisé dans ce domaine par le GRIDD tout en réalisant une analyse comparative des différentes expérimentations pour en dégager les pratiques les plus porteuses. Ainsi, les méthodes adoptées pour cette recherche qualitative sont : l'analyse de contenu et de thématique ainsi que l'étude de cas suivi d'une validation par triangulation à l'aide d'un groupe de discussion (Leedy et Ormrod, 2013; Moreau et al., 2004; Paillé, 2007). Ce type de validation est retenue par plusieurs auteurs afin d'assurer la rigueur de la démarche d'analyse (Drapeau, 2004; Martel, 2007). La méthodologie de la recherche est présentée à la Figure 2.1. Les éléments considérés dans la méthode utilisée pour la cueillette de données sont présentés dans les prochaines sections.

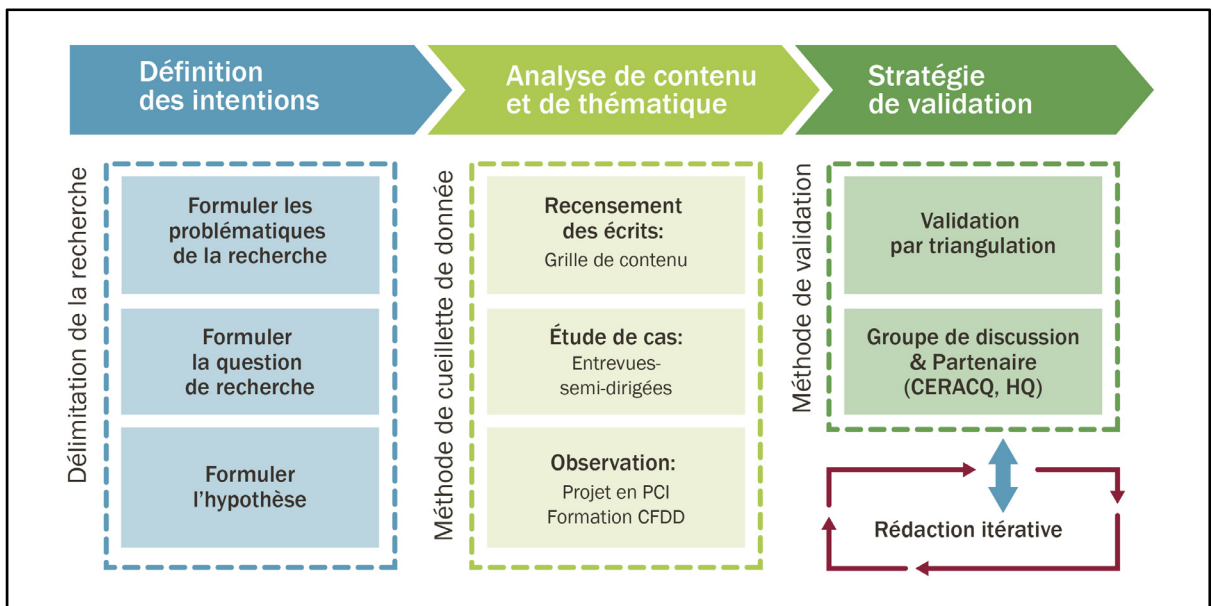


Figure 2.1 Schéma de la méthodologie de recherche

## **2.1 Analyse de contenu et de thématique**

L'étape d'analyse de contenu et de thématique consiste à compléter une revue de la littérature sur le PCI tout en y ajoutant les derniers développements visant l'intégration des pratiques, des équipes ou de la chaîne d'approvisionnement en construction. Ceci permet d'articuler un cadre théorique duquel seront dérivés les concepts, principes et méthodes qui sont proposés. Une grille d'analyse est aussi préparée pour étudier et comparer les résultats des différents scénarios utilisés dans les expérimentations de PCI au sein du GRIDD. Des entrevues et des observations ont été réalisées chez des professionnels utilisant le PCI dans certains de leurs projets. Un total de 14 entrevues semi-dirigées, d'une durée moyenne d'une heure, ont été analysées. De ce nombre, 3 entrevues semi-dirigées ont été réalisées et 11 enregistrements d'entrevues du GRIDD ont été utilisés. La méthode choisie pour ce volet est l'analyse de contenu du fait que les données se concentrent sur les écrits de la revue de littérature et sur les discours des sujets interviewés (Martel, 2007).

### **2.1.1 Recensement des écrits**

La consolidation de l'information collectée lors du recensement des écrits a été préparée à l'aide d'une grille d'analyse. Cette méthode a permis de cibler l'information de chaque document et d'évaluer leurs pertinences selon le nombre de correspondances aux variables prédéterminées. Ainsi, les documents ont été classés par pertinence par rapport au sujet de recherche et au contexte québécois. Cette grille d'analyse identifie : le contenu, les références, et le descriptif. Le descriptif correspond au type de la source et au type de document. Les éléments du descriptif de la grille incluent :

#### **Type de sources :**

Article; Journaux; Conférence; Rapport; Mémoire; Thèse; Livre.

#### **Type de documents :**

Conceptuel (Concept); Définition (Principe); Processus (Méthode).

### 2.1.2 Entrevue semi-dirigée

Le public cible des entrevues semi-dirigées est des professionnels en conception, construction et réalisation de projets. Chaque candidat a été sélectionné *a priori* selon son expérience de projet en PCI. La provenance des candidats était pour la plupart des professionnels de firmes d'architecture et d'ingénierie. D'une durée moyenne d'une heure, les entrevues ont été réalisées dans des espaces clos à l'abri des bruits et autres interférences. Pour évaluer la pratique de l'industrie, les thèmes retenus sont la définition de la conception intégrée, les barrières entre le processus traditionnel et le PCI ainsi que la portée et les retombées du PCI. Pour ce faire, une carte conceptuelle thématique ainsi qu'un recensement des questions posées par l'industrie est réalisé pour cibler les besoins en termes de collecte de données. Ces derniers ont permis d'élaborer un questionnaire de 16 questions selon un ordre précis (ANNEXE I, p.82-83). Ce questionnaire s'appuie sous l'angle des interrogations : « qui ? », « où ? », « quand ? », « quoi ? », « comment ? » et « pourquoi ? » (d'Astous, 2000; Laforest, 2009). Par ailleurs, la carte conceptuelle s'inspire de la grille d'analyse utilisée pour le cadre théorique afin d'assurer la cohésion et la véracité lors de l'analyse de données qualitatives par triangulation entre le cadre théorique et pratique (ANNEXE I, p.84). La triangulation des résultats s'est faite en combinant les données obtenues lors du recensement des écrits et les informations recueillies par les entrevues semi-dirigées et le groupe de discussion.

Une liste d'intervenants du GRIDD a permis d'identifier les répondants qui correspondent au domaine professionnel dans lequel la CI se développe et s'exerce. Des 14 professionnels de cette liste, tous ont été sollicités pour prendre part aux entrevues individuelles. Pour assurer la collecte et l'objectivité des données, une grille d'entretien est utilisée. De plus, une préparation du matériel nécessaire à l'enregistrement ainsi qu'à la retranscription des entretiens a été planifiée et réalisée. Le protocole est composé de cinq sections (ANNEXE I, p.82-83).

### Sections de la grille d'entretien :

- Description des participants
  - Nom, Prénom, Profession, Titre
- Questions et thèmes (Questionnaire et thème de la carte conceptuelle)
  - Contexte québécois
    - Processus de conception traditionnelle (PCT) ou structure actuelle
    - Chaîne d'approvisionnement
  - Processus de conception intégrée (PCI)
    - Approches, applications et pratiques (PCI), charrette de conception
    - Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités
    - Outils d'aide et technologie (TIC), modélisation & simulation
  - Optimisation et efficacité énergétique
    - Approches et processus d'optimisation
    - Simulation et modélisation
    - Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités
  - Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique
    - Synergie et collaboration
    - Méthode d'évaluation de bâtiments durables
    - Performance environnementale et efficacité énergétique

### 2.1.3 Observation en milieu professionnel

L'observation professionnelle s'est réalisée par le biais d'une formation continue sur la conception intégrée en bâtiment durable au centre de formation de développement durable (CFDD) de l'Université Laval, à Québec. Cette formation d'une durée de 21h permet l'apprentissage par la collaboration et l'intégration des nouvelles pratiques de CI. Les séances sont structurées pour que plusieurs groupes de 3 à 5 personnes soient formés afin de faciliter l'approche intégrée, la collaboration et le partage de l'information. Dans ce cadre formatif, l'observation participante explicite est appliquée afin de recueillir l'information au fur et à mesure (Moreau et al., 2004).

## **2.2 Étude de cas**

Le deuxième volet porte sur l'impact des principaux modes de réalisation utilisés au Québec pour cerner les enjeux de l'adoption d'approches intégrées à partir des études de cas publiées et celles réalisées au GRIDD. L'analyse documentaire utilisée pour le premier volet est applicable et requise pour l'étude de cas.

L'étude de cas porte sur des projets réalisés par deux firmes d'architecture et une firme d'ingénierie en conception intégrée (CI) ainsi que sur cinq projets en CI présentés par l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA). Les cas à l'étude sont de provenances multiples, ce qui diminue les risques de biais lors de la cueillette et de l'analyse des résultats (Leedy et Ormrod, 2013). Cette méthode s'appuie sur les entrevues semi-dirigées et la grille d'analyse et se concentre sur l'apport de valeur du PCI dans les projets, ses impacts dans le processus de conception et les retombées sur un projet en PCI. Pour établir un lien entre l'analyse de contenu et l'étude de cas, deux questions et trois sous-questions sont posées lors des entrevues semi-dirigées. Ces questions correspondent aux questions 5, 5a, 5b, 6 et 6a dans le protocole d'entrevue (ANNEXE I, p.82-83). Celles-ci permettent de comparer les informations recueillies de l'expérience vécue des candidats avec celles des études de cas.

## **2.3 Méthodes de validation**

Dans le troisième volet, un premier canevas du guide est préparé. Le processus de développement comporte trois itérations : (1) l'analyse des expérimentations à l'aide de la grille pour identifier les enjeux possibles par rapport aux scénarios proposés ; (2) une validation de la nouvelle version auprès des industriels; et (3) un envoi aux participants pour réception des commentaires finaux.

### 2.3.1 Stratégies d'analyse des données : Triangulation

Tout d'abord, l'analyse de contenu à l'aide des grilles permet *a priori* d'établir le cadre conceptuel théorique afin de diriger la cueillette de données. Ainsi, une première analyse est effectuée pour faire ressortir les concepts, les principes, les méthodes et les procédés en conception intégrée. Puis, une cueillette de données additionnelle est réalisée dans le cadre des entrevues, des observations et des études de cas. Une analyse indépendante pour chaque cueillette s'ensuit. Pour ce faire, l'utilisation des grilles d'entretiens et d'observations seront utiles dans le but de faire le repérage rapide des interrelations thématiques lors de la triangulation des méthodes. De plus, la retranscription des enregistrements des entretiens permet d'approfondir l'analyse. Finalement, l'analyse par triangulation est effectuée pour en dégager les pratiques du PCI les plus porteuses. L'approche de triangulation, effectuée afin d'assurer l'analyse dans un cadre qui soit le plus rigoureux possible (Berger et al., 2010; Laforest, 2009; Martel, 2007), consiste à :

- retranscrire les enregistrements des entretiens;
- procéder à la lecture globale du matériel, des retranscriptions et des notes d'observations;
- classer l'information recueillie dans une grille d'analyse croisée en fonction des thèmes;
- dégager les idées maîtresses et les relations émises pour chacun des thèmes;
- interpréter des relations (concepts, principes et méthodes) dans un discours organisé;
- procéder à l'analyse interprétative et confronter les interprétations du même cadre conceptuel.

### 2.3.2 Groupe de discussion (« Focus group »)

Le groupe de discussion vient compléter et valider l'analyse grâce à la confrontation des interprétations du cadre conceptuel. Considérant les professionnels ayant des connaissances et compétences vis-à-vis du PCI, le groupe de discussion sera composé d'un seul groupe de

cinq personnes. Le groupe de discussion est attribué au projet du Complexe environnemental de Saint-Michel à Montréal, réalisé dans le cadre d'un concours d'architecture exigeant un PCI. Cette séance s'est déroulée selon les principes d'une table ronde afin de faciliter l'ouverture et l'implication de chacun des participants. Pour assurer l'apport du groupe de discussion, une nouvelle grille d'entretien sera élaborée afin de recueillir des informations des personnes réunies comme leurs opinions et points de vue personnels sur le PCI et l'élaboration du processus proposé.

### **2.3.3 Validation interne et externe de la méthodologie**

Pour assurer la validation des résultats de recherche, une stratégie d'analyse des données par triangulation a été utilisée. La triangulation des méthodes d'analyse est l'une des mesures les plus fiables en recherche qualitative afin d'approximer la vraie valeur des résultats (Martel, 2007; Morse et al., 2002) et est identifiée comme une stratégie pour démontrer la rigueur d'une étude (Golafshani, 2003). Dans le cadre de la recherche, la technique par comparaison et l'analyse de mêmes données avec des approches différentes a été privilégiée. À ce propos, cette dernière s'appuie sur trois approches pour garantir la validité des résultats. C'est pourquoi les grilles d'analyse du recensement des écrits, des entrevues semi-dirigées et du groupe de discussion se retrouvent sous une même forme. Par ailleurs, l'utilisation de ces grilles ainsi que la retranscription des discours d'entretiens permettent de rétablir l'objectivité dans la subjectivité des recherches qualitatives (Martel, 2007; Martineau, 2005). La combinaison bien répartie des différentes techniques de recueil de données appuie l'objectivité et la variété des données. La provenance équilibrée des données ainsi qu'une bonne répartition des différentes techniques de cueillette assurent la validité des résultats et la réduction des biais de recherche. Les techniques de recueil de données (Moreau et al, 2004) incluent :

- l'observation indirecte, analyse documentaire.
- l'entretien individuel semi-structuré (Entrevue semi-dirigée);
- l'observation directe, participante explicite (Formation CFDD);
- l'entretien de groupe (Groupe de discussion);



## **CHAPITRE 3**

### **RÉSULTATS ET ANALYSES**

Le présent chapitre présente les résultats du recensement des écrits, des entrevues semi-dirigées et du groupe de discussion, suivis d'une analyse pour chacun. Les analyses sont basées sur une grille commune pour tous les résultats et permettent de démontrer la cohérence entre les différentes sources de données recueillies. Ainsi, une grille de validation par triangulation est présentée afin d'observer la corrélation entre les informations analysées et ainsi valider la teneur du bien livrable de cette recherche : le guide de conception intégrée. Les principaux aspects du guide sont présentés dans la discussion au chapitre quatre ainsi que l'intégration du processus de MES de ASHRAE.

#### **3.1 Analyse de contenu et de thématique du recensement des écrits**

L'analyse documentaire et de contenu repose sur l'étude de 128 documents afin de tracer le portrait des informations recueillies. Ces derniers ont été inscrits dans la grille d'analyse (Tableau 3.1). La grille comporte quatre segments. Le premier segment traite du contexte québécois à propos des pratiques actuelles. Le deuxième segment regroupe toutes les données qui traitent du processus de conception intégrée. Ensuite, il y a le segment sur l'optimisation énergétique, ainsi que celui sur les aspects communs entre les pratiques de PCI et l'optimisation énergétique. Cette grille a été aussi utilisée afin de cibler la pertinence de la documentation. Ainsi, le contenu des documents a été catégorisé en termes de général, spécifique et complet. En outre, les documents ont été aussi catégorisés selon le type de sources, le type de contenu et le pays de référence (Tableau 3.2 et Tableau 3.3). De ces données, il est possible d'observer que la plupart des documents sont des articles scientifiques et des rapports pour un pourcentage respectif de 40% et 34%. Dans l'ensemble des documents, 52% sont d'origine canadienne et 28% d'origine québécoise. Par ailleurs, 18% (2/11 guides) des guides existants sur le PCI sont de provenance canadienne, dont 27% (3/11 guides) ont été réalisés dans la province de la Colombie-Britannique. À cet effet, aucun guide n'a été recensé au Québec, ce qui démontre le manque à combler.

Tableau 3.1 Grille d'analyse documentaire : recensement des écrits

Grille d'analyse documentaire : recensement des écrits	Analyse documentaire		Descriptif du contenu					
	Nombre, N=128	%	Général (G)	%	Spécifique (S)	%	Complet (G&S)	%
<b>Contexte québécois</b>								
Processus de conception Traditionnelle (PCT)	44	34%	25	57%	9	20%	10	23%
Chaîne d'approvisionnement (linéaire et fragmentation)	26	20%	16	62%	3	12%	7	27%
	<b>Moyenne =</b>	<b>27%</b>	21	59%	6	16%	9	25%
<b>Processus de conception intégrée PCI</b>								
Approches, applications et pratiques intégrées (PCI)	60	47%	25	42%	6	10%	29	48%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	43	34%	18	42%	5	12%	20	47%
Charrettes de conception	27	21%	16	59%	4	15%	7	26%
Outils d'aide et Technologie (TIC) et CAD et Simulation	3	2%	1	33%	1	33%	1	33%
Guides existant sur le PCI	11	9%	4	36%	2	18%	5	45%
	<b>Moyenne =</b>	<b>23%</b>	13	42%	4	18%	12	40%
<b>Optimisation et efficacité énergétique</b>								
Approches et processus d'optimisation	6	5%	3	50%	0	0%	3	50%
Simulation et modélisation	6	5%	4	67%	0	0%	2	33%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	6	5%	5	83%	0	0%	1	17%
	<b>Moyenne =</b>	<b>5%</b>	4	67%	0	0%	2	33%
<b>Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique</b>								
Synergie et la collaboration	43	34%	27	63%	4	9%	12	28%
Performance environnementale	39	30%	25	64%	5	13%	9	23%
Efficacité énergétique	44	34%	31	70%	5	11%	8	18%
Performance du bâtiment (coûts, qualité, temps)	48	38%	34	71%	7	15%	7	15%
MEBD et processus de bâtiments durables (ex. : LEED)	41	32%	30	73%	1	2%	10	24%
Intégration de technologie (BIM, simulation, étalonnage)	39	30%	20	51%	10	26%	9	23%
	<b>Moyenne =</b>	<b>33%</b>	28	65%	5	13%	9	22%
Total des aspects traités	<b>486</b>		<b>284</b>	<b>58%</b>	62	13%	<b>140</b>	<b>29%</b>

Dans l'ensemble des documents, 66% ont un contenu général. La documentation qui traite du processus de conception intégrée correspond à du contenu général et complet pour des pourcentages respectifs de 42% et 40%. Ces derniers sont rassurants sur la pertinence et la validité des informations recueillies dû à l'équilibre des contenus analysés. Les segments d'informations de la grille sont représentés à parts égales pour l'ensemble. Cependant, le segment qui traite de l'optimisation et de l'efficacité énergétique est sous représenté, avec seulement 5%. Néanmoins, certains des éléments de ce dernier sont présents dans le segment des modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique. Dans ce segment, les sujets sont traités uniformément du fait que l'importance qui leur est accordée se situe près de la moyenne de 33%. Dans l'ensemble de la revue de littérature, 58% du contenu est général, 13% est spécifique et 29% est complet. Ces chiffres sont valides dans le cadre d'une revue de littérature, dans le but d'approfondir le sujet de recherche.

Tableau 3.2 Sources et contenus de l'analyse documentaire

Grille d'analyse documentaire : recensement des écrits	Analyse documentaire	
	N=128	%
<b>Type de source</b>		
Articles scientifiques	51	40%
Articles, Conférences	9	7%
Rapports	43	34%
Mémoires, Thèses	14	11%
Livres	11	9%
<b>Type de contenu</b>		
Conceptuel ( Concept)	64%	
Définition ( Principe)	58%	
Processus ( Méthode)	59%	
<b>Pays et Province de référence</b>		
Canada	52%	
Québec	22%	

Tableau 3.3 État et Province de référence des guides de PCI existants

Guides existants sur le PCI	Nombre	
	N=11	%
Ottawa	2	18%
Colombie-Britannique	3	27%
Michigan	1	9%
Washington	2	18%
Californie	1	9%
Vermont	1	9%
Japon	1	9%
Québec	Aucun	

### 3.2 Présentation des réponses des entrevues semi-dirigées

La présentation des résultats des entrevues semi-dirigées est divisée selon les mêmes quatre sections que celles de l'analyse documentaire. Les sections correspondent aux thématiques utilisées pour établir les paramètres du questionnaire des entrevues semi-dirigées. Ainsi, les résultats des entrevues qui traitent du contexte québécois, du processus de conception intégrée, de l'optimisation et de l'efficacité énergétique ainsi que des modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique sont présentés. La plupart des répondants sont des architectes (Tableau 3.4.). Quelques-uns de ceux-ci sont ingénieurs et consultants-spécialistes pour des projets durables. Les rôles et les responsabilités des professionnels participants sont les architectes, les ingénieurs, et les coordonnateurs environnementaux.

Tableau 3.4 Liste des intervenants en conception intégrée du GRIDD

Description des participants aux entrevues semi-dirigées		
Répondants	Titre des professionnels	Firmes
R1	Architecte senior principal, Architecte associé	Coarchitecture
R2	Ingénieur senior	Coarchitecture
R3	Ingénieur senior	Pageau Morel et Associés
R4	Ingénieur senior	Bouthillette et Parizeau
R5	Ingénieur senior	Magil Construction Corporation
R6	Architecte senior principal, Architecte associé	Provencher Roy + associés architectes
R7	Architecte senior principal, Architecte associé	UBC School of Architecture & Landscape Architecture
R8	Coordonateur environnemental (facilitateur et champion)	Sustainability Solutions Groups
R9	Architecte senior principal, Architecte associé	Perkins + Will
R10	Architecte senior principal, Architecte associé	WG Reed Architecture
R11	Coordonateur environnemental (Consultant LEED)	NA
R12	Architecte senior principal, Architecte associé	NA
R13	Architecte senior principal, Architecte associé	Courchesne et associés inc.
R14	Architecte senior principal, Architecte associé	Aedifica

### 3.2.1 Contexte québécois

Les professionnels s'entendent pour décrire le processus de conception traditionnelle comme étant un processus fragmenté et linéaire concentré sur le contrôle des coûts (R1, R5, R7, R9, R12). Ainsi, ce processus n'est pas propice à la créativité et à l'innovation (R1, R9). Elle génère des bâtiments coûteux et sous-performants du fait que le processus traditionnel favorise une mauvaise coordination des acteurs et des intervenants (R1, R4, R5, R12). Notamment, en traditionnelle, la prise de décision ralentit le processus de conception, dû à la difficulté d'obtenir des autorisations de changement, au peu de flexibilité des budgets et aux demandes d'autorisation (manque d'agilité organisationnelle – bureaucratie) (R5, R6, R8, R12). À cet effet, les répondants établissent une corrélation étroite entre l'efficacité du PCI et la présence d'un représentant du client avec la délégation de prise de décision pour endosser rapidement les orientations. Parallèlement, le respect des besoins et des exigences du client est atteint selon son niveau de connaissance faible en termes de durabilité (R1, R2, R3, R4, R9, R10, R12, R14). En raison d'un manque d'investissement ou d'omission des coûts d'opération dans l'analyse des coûts, les choix conceptuels sont sur le court terme et ce, malheureusement, autant dans les projets publics que privés (R4, R5, R8). L'investissement sur le cycle de vie n'est pas considéré, ce qui est un obstacle énorme pour la conception intégrée (R4, R5, R6, R7, R8).

Le processus traditionnel, dit linéaire et fragmenté, limite le temps de réflexion et d'analyse pour répondre aux problématiques de conception (R10, R12, R14). Ainsi, selon l'un des participants, les professionnels, souvent, ne questionnent pas le design prévu par l'architecte (R12). Il n'y a pas de place à la réflexion et à l'exploration de nouvelles façons de faire pour optimiser la performance et les coûts (R1, R2, R3, R4, R9, R10, R12, R14). De plus, le manque de considération d'exploration dans la recherche de solutions procure moins de latitude pour l'innovation (R1, R9). Par le fait même, se concentrant sur les coûts et limitant la recherche et l'analyse, il est impossible de concevoir de manière intégrée et optimale. Les risques financiers liés au changement, souvent, font en sorte que le budget initial ne peut tenir compte des aspects créatifs et innovants imprévisibles en conception.

Ainsi, la performance optimale est restreinte. Le processus de conception traditionnelle ne répond pas au changement fondamental dû aux concepts de développement durable, étant donné qu'il est un processus considéré non-humain et limitant le travail collaboratif (R1, R2, R3, R5, R6, R7, R10, R11, R12). Lors du PCI, le travail multidisciplinaire est nécessaire. Ces projets durables impliquent plusieurs parties prenantes. Tous ont un impact sur la valeur finale du produit et doivent travailler en équipe. À cet effet, la réglementation municipale correspond aux principales barrières de nature légale, puisqu'elle a été établie en fonction d'un contexte qui, souvent, n'est plus la réalité d'aujourd'hui. C'est en raison de l'omission de l'évolution du contexte qu'il est possible de concevoir autrement. Ceci est la responsabilité des professionnels en collaboration avec le responsable de la réglementation (R5, R8, R12).

Tableau 3.5 Grille synthèse des résultats : Contexte québécois

Description des répondants aux entrevues semi-dirigées														
Titre professionnel et firmes	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
	Architecte senior principal Coarchitecture	Ingénieur senior Coarchitecture	Ingénieur senior Pageau Morel et Associés	Ingénieur senior Bouthillier et Parizeau	Ingénieur senior Magil Construction Corporation	Architecte senior principal Provencher Roy + associés architectes	Architecte senior principal UBC School of Architecture & Landscape Architecture	Coordonnateur environnemental Sustainability Solutions Groups	Architecte senior principal Perkins + Will	Architecte senior principal WG Reed Architecture	Coordonnateur environnemental NA	Architecte senior principal NA	Architecte senior principal Courchesne et associés inc.	Architecte senior principal Aedifica
Contexte québécois														
Constats	Un contexte concentré sur le contrôle des coûts	✓			✓		✓		✓			✓		
	Une prise de décision inefficace				✓	✓		✓				✓		
	Un contexte non propice à la créativité	✓							✓					
	Une omission du cycle de vie		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
	Une mauvaise coordination limitant le travail collaboratif	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
	Une faible connaissance en termes de durabilité	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
	Un temps limité de réflexion et d'analyse		✓	✓	✓				✓	✓		✓		✓
	Une omission du contexte dans la réglementation				✓			✓				✓		

### 3.2.2 Processus de conception intégrée (PCI)

La compréhension du PCI n'est pas très claire auprès des professionnels. Souvent les firmes prétendent pratiquer une approche intégrée à cause de leur structure interne multidisciplinaire, mais elles n'en font pas réellement ou sont très limitées dans leur pratique (R3, R4, R5, R6, R7, R10, R14). Elles restent la plupart du temps dans les processus de coordination (R1, R3, R4, R5). Ainsi, chaque professionnel réalise son travail individuellement, ce qui s'approche beaucoup plus des pratiques traditionnelles (R6, R10, R12). En PCI, il est souligné l'importance d'éduquer et de conscientiser le client et de lui présenter l'avantage de concevoir à l'aide du PCI pour atteindre un bâtiment performant par rapport au retour sur l'investissement que procure le cycle de vie (R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R14). En complément de ce qui est dit précédemment, la feuille de route permet d'encadrer les professionnels et d'éviter qu'ils retournent dans un processus de conception traditionnelle (R8, R10). La feuille de route correspond au flux de travail des activités thématiques des ateliers et charrettes. Elle est habituellement représentée sous la forme d'un diagramme de Gantt incluant les effectifs, leurs rôles et responsabilités, la période et la durée des activités ainsi que les marges de temps permettant une certaine flexibilité. En ce sens, la flexibilité du processus de prise de décision et d'échange lors de la conception est souvent soulevée (R2, R5, R8). À cet égard, le mode d'approvisionnement suggéré est la gérance de construction. C'est en raison du fait qu'il permet d'impliquer très tôt dans le processus de conception le constructeur et parfois l'opérateur (R5). Selon les différents courants de pensée des répondants, d'une part, l'idée de la conception intégrée (CI) est d'amener les acteurs et intervenants à travailler sur un même système qualité et de partager une vision commune. Autrement dit, la CI amène une culture de travail collaboratif afin d'optimiser le potentiel d'un projet (R1, R5, R6, R7, R8). Le processus de conception intégré est en fait un processus écologique c'est-à-dire une approche régénérative profondément intégrée. La conception régénérative est une approche qui considère et accepte de nombreuses incertitudes et appuie la coévolution des systèmes naturels et humains. Par conséquent, le processus de découverte (recherche/analyse) en conception intégrée est fondamental et nécessaire (R7, R10). De plus, les professionnels concèdent une importance à la compréhension des problématiques du

projet en début de processus telles que l'énergie dans le bâtiment, l'utilisation de l'eau, l'utilisation des matériaux, les interactions de l'habitat naturel et humain (R10).

Tout compte fait, les répondants expriment à travers leurs propres définitions un changement de culture (R7, R10, R12). Comme le mentionne l'un des répondants, pour obtenir un succès réel en CI, il faut juste laisser le temps au changement de culture (R10). À cet effet, ce changement se traduit par le changement des pratiques, qui se manifeste dans l'ensemble de la profession par la conception intégrée (R7). Habitué à travailler en silo et d'être maître dans leur domaine, les professionnels ne sont pas accoutumés à se remettre en question et à être remis en question. En raison de ce manque de remise en question, l'optimisation des solutions en est affectée (R1, R3, R9, R14). Dans le même ordre d'idée, la prise de décision doit focaliser sur un choix conceptuel qui, intuitivement, semble le plus prometteur et d'accepter l'itération (R1, R5, R8, R9, R14). Cependant, les ingénieurs ont tendance à vouloir qu'une décision soit fixe dans le temps. Ainsi, ils devraient prendre conscience du processus itératif et l'accepter (R1, R6, R14). De plus, selon les pratiques recensées à l'aide des entrevues, une commande spécifique du client est souvent nécessaire pour optimiser les solutions (R2, R3, R14). Les professionnels ne le font pas par eux-mêmes. Les ingénieurs ne pratiquent pas d'itération à la demande des architectes (R1, R5, R8, R9, R14). Néanmoins, à la demande du client, les ingénieurs sont plus ouverts à itérer les solutions avancées dû au fait que le travail est facturable et chiffrable (R14).

Les outils les plus populaires mentionnés par certains répondants sont la matrice décisionnelle ou la grille forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM). Souvent, la problématique en PCI est d'ordre relationnel et de conflits d'intérêts. La dimension humaine est bien importante en PCI (R1). À ce propos, l'aspect contractuel est un mélange des deux (aspect humain et technique). En raison de ces derniers aspects, il faut être capable d'articuler les différents rôles (R1). C'est pourquoi la planification des rôles et des responsabilités des participants est essentielle pour éviter le chaos (R8, R11). C'est pour cette raison que la feuille de route est importante. Le processus doit faire preuve de souplesse selon le nombre et les thématiques abordées.

Par ailleurs, les répondants convergent sur l'importance de l'engagement et de l'implication des membres de l'équipe de conception et du client dans le processus de prise de décision (R1, R5, R6, R8, R9, R12). À cet effet, il faut penser au succès du projet avant tout et ne pas vouloir s'approprier la paternité d'une idée (R1, R7, R12, R14). Les professionnels et le client doivent être prêts à appuyer l'innovation et à être participatifs au processus créatif (R2, R3, R9, R14). En complément, la présence multiple de professionnels dans le PCI afin d'apporter la réflexion est cruciale. Celle-ci permettrait de trouver les solutions rapidement aux problèmes de conception en amont, ce qui limite les coûts liés aux modifications de changement souvent non intégrées (R12). Dans ce sens, il est important de développer la pensée critique et la pensée créatrice des professionnels pour faciliter le processus de conception intégrée (R7). À ce sujet, certains répondants traitent du fait que la responsabilité du PCI n'est pas la responsabilité d'une seule personne, mais de toute l'équipe, y compris du client (R11).

Mis à part les professionnels et le client, ont été soulignés par les répondants les rôles et les responsabilités du facilitateur, du champion et du coordonnateur environnemental ou coordonnateur de la durabilité (R6, R8, R10, R12, R13). En outre, l'un des répondants, a stipulé le « Builder designer » comme joueur important. Cependant, la description qui accompagne ce rôle s'attribue à la combinaison du facilitateur et du champion (R5). Dans la pratique courante, selon les propos des répondants, il existe deux types de facilitateurs (R10). Il y a le facilitateur fort qui agit aussi comme un champion (optionnel) et le facilitateur neutre qui facilite les interactions entre les intervenants. Le facilitateur peut agir également à titre de gestionnaire de certification LEED (R11). Le rôle du facilitateur, pour l'ensemble des répondants, est important afin de faciliter la collaboration au sein de l'équipe. Ainsi, son principal rôle est de s'assurer du bon déroulement du PCI en réconciliant les gens autour d'un objectif commun dans une ambiance de laquelle émergent des solutions innovantes et créatives (R6, R8, R10, R12, R13). Contrairement au facilitateur, le rôle du champion est beaucoup plus attiré comme défenseur de la construction verte ou, même encore, à l'expert de la construction écologique. Le champion est un chef d'orchestre multidisciplinaire capable de cibler les opportunités, les risques et d'orienter les professionnels vers les choix

conceptuels de façon désintéressée. D'ailleurs, le champion doit être sensible à l'information partagée par le cœur de l'équipe. Il est capable de la mobiliser, de trancher et de la guider à travers les réflexions de l'équipe intégrée lors de la prise de décision. À cet effet, il doit apprécier l'information et voir les impacts potentiels sur la durabilité du projet et les risques encourus de chaque direction innovante explorée. Néanmoins, un propos complémentaire définit le champion comme un agent permettant à l'équipe de donner leurs meilleures idées et d'appuyer la créativité en favorisant la collaboration (R6, R8, R12). Donc le champion ou le facilitateur fort peuvent se voir attribuer différents rôles. Comme le reflètent les discours des répondants, le facilitateur et le champion sont des rôles complémentaires et liés de très près. À cet égard, il est primordial que le processus soit impartial afin que les rôles soient effectués efficacement (R8). Ces rôles doivent être clairement définis à chaque personne afin de mieux effectuer le travail (R8, R11). En effet, il existe beaucoup de malentendus sur ce qu'est le rôle de chacun, car il peut y avoir chevauchement entre les rôles et les responsabilités puisqu'un bon gestionnaire de projet, une équipe impliquée et un champion engagé facilitera (R11). En outre, il n'est pas recommandé que l'architecte concepteur agisse à titre de PA LEED ou de facilitateur puisqu'il devient juge et partie de la conception (R12). De plus, certains répondants ont spécifié l'intérêt de la présence des spécialistes en énergie et de l'agent de mise en service (R6, R8, R9).

En ce qui concerne les charrettes de conception, les répondants ont abordé cet aspect de manières différentes et complémentaires (R1, R6, R9, R10, R12, R13). Le déroulement des charrettes ou des ateliers est orienté selon les thématiques de l'énergie, de l'eau, de l'éclairage naturel, etc. À cet effet, des consultants spécialistes sont invités par rapport aux niveaux d'expertises et d'expériences nécessaires aux charrettes. Selon l'expertise de l'équipe, on couple des consultants-spécialistes pour compenser le manque d'expertise (R10). En conception intégrée, il peut facilement y avoir de 10 à 25 personnes autour d'une table. La plupart du temps les thématiques sont abordées en équipe de 4 à 6 personnes. Selon les thèmes, les architectes et les ingénieurs sont répartis selon les compétences et leur apport.

Le nombre de charrettes varie selon l'ampleur du projet, l'intérêt du client et la volonté commune des professionnels à faire de la CI. À cet effet, certains répondants suggèrent une approche de PCI avec 1 à 4 charrettes accompagnées d'ateliers thématiques ou techniques. Selon les réponses recueillies, trois tendances de pratiques de charrettes de conception sont observables. La première consiste en une charrette pour l'élaboration des objectifs et d'une vision commune d'équipe, suivie d'ateliers techniques. Ces ateliers sont sous forme de travail coopératif plutôt que collaboratif, ce qui ressemble à la coordination retrouvée dans le processus traditionnel. La seconde pratique observée est l'application de trois charrettes avec une charrette de préparation ou pré-charrette afin d'éduquer et conscientiser le client face aux enjeux du développement durable. Finalement, la dernière observée est la pratique avec 5 charrettes. Toutes sont accompagnées d'ateliers techniques ou thématiques. En ce qui concerne le travail en atelier, les professionnels reviennent au processus plus traditionnel après la prise de décisions importantes, des réunions de travail et de coordination pour approfondir les sujets, enjeux et effectuer les prises de décision.

Pour l'ensemble des répondants, la durée d'une charrette est d'une demi-journée à trois jours. À l'aide des informations recueillies, les quatre principales étapes du PCI sont trois charrettes et une de préparation ou une pré-charrette. La pré-charrette est d'une durée d'une demi-journée et les trois charrettes, de deux jours. Dans le cas où le PCI poursuit avec des ateliers techniques, ceux-ci correspondent à une demi-journée. Le but de la série de charrettes est de commencer très large avec le contexte du site. Autrement dit, d'établir une grande vision pour se diriger vers un bâtiment défini. À la lumière des résultats recueillis, différentes approches de PCI ont été présentées dans le guide de conception intégrée (ANNEXE II, p.122-135).

Tableau 3.6 Grille synthèse des résultats : Processus de conception intégrée (PCI)

Description des répondants aux entrevues semi-dirigées														
Titre professionnel et firmes	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
	Architecte senior principal Coarchitecture	Ingénieur senior Coarchitecture	Ingénieur senior Pageau Morel et Associés	Ingénieur senior Bouthillier et Parizeau	Ingénieur senior Magil Construction Corporation	Architecte senior principal Provencher Roy + associés architectes	Architecte senior principal UBC School of Architecture & Landscape Architecture	Coordonnateur environnemental Sustainability Solutions Groups	Architecte senior principal Perkins + Will	Architecte senior principal WG Reed Architecture	Coordonnateur environnemental NA	Architecte senior principal NA	Architecte senior principal Courchesne et associés Inc.	Architecte senior principal Aedifica
Processus de conception intégrée (PCI)														
Constats	Une mauvaise compréhension du Processus de conception intégrée	✓		✓	✓	✓	✓			✓		✓		✓
	Un changement culturel qui se traduit par la conception intégrée						✓			✓		✓		
	La culture de travail collaboratif afin d'optimiser le potentiel d'un projet (Facilitateur et champion)	✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	L'Importance de conscientiser le client sur le PCI		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓
	L'Importance de l'engagement de l'équipe et du client	✓				✓	✓		✓			✓		
	L'importance du processus de découverte dû aux incertitudes de conception						✓			✓				
	L'importance d'accepter l'itération et participer au processus créatif	✓	✓	✓		✓	✓		✓					✓
	L'importance d'être orienté projet et ne pas s'approprié la paternité d'une idée	✓					✓					✓		✓
	L'importance d'appuyer l'innovation		✓	✓					✓					✓

### 3.2.3 Optimisation et efficacité énergétique

Il est observé que l'approche traditionnelle en conception est souvent utilisée lors de l'optimisation énergétique des solutions de conception. Par ailleurs, l'approche plus intégrée est utilisée lorsque le client exige des niveaux de performances supérieurs aux niveaux réglementaires (R2, R3, R14). À cet égard, la performance est plus une intention des clients qu'une réelle volonté (R2). Les clients sont davantage préoccupés par le coût initial que le coût d'opération. (R2, R4, R5, R8, R14). Les professionnels et le client doivent avoir une connaissance de base et être motivés et préoccupés par l'efficacité énergétique pour faciliter l'optimisation énergétique (R2). Par ailleurs, similaire au PCI, l'implication des occupants et du client et son niveau de compréhension en terme de performance énergétique importent pour pousser l'efficacité énergétique.

Actuellement les ingénieurs mécaniques sont peu impliqués en amont de la conception, dû au manque de données disponibles (R2, R14). Ceci résulte d'une optimisation isolée des mesures actives, telles que celles reliées aux systèmes de CVCA et d'énergie renouvelable (R6). En effet, les ingénieurs ont tendance à concevoir leurs systèmes une fois que les architectes ont déterminé leurs paramètres de manière fixe. Or, l'implication de l'ingénieur lors de la définition de projet est essentielle afin d'intégrer les notions de CVCA et les mesures actives aux mesures de conception (R14). Selon certains répondants, l'implication des ingénieurs en amont de la conception serait un apport considérable lors des choix préliminaires de conception. Ainsi, ils peuvent apporter des notions permettant d'entrevoir la variabilité des choix de conception et leurs conséquences en termes d'impact sur les systèmes CVCA, les besoins en équipement électromécanique et la consommation d'énergie (R14).

En ce qui concerne la simulation et la modélisation en PCI, elles sont généralement effectuées après le processus itératif et la prise de décision (charrette) (R9). L'expertise en simulation est essentielle pour réaliser un modèle préliminaire afin d'effectuer une prise de décision sur différentes options. À cet effet, une équipe de l'énergie permet de compléter les

analyse et comporte habituellement un spécialiste en simulation, un ingénieur en mécanique et en électricité, et puis le responsable de l'exploitation de l'édifice (R6, R8, R9). À cet égard, il est préférable d'avoir un modelleur d'énergie qui n'est pas l'ingénieur mécanique et d'avoir l'agent de mise en service qui peut jouer un rôle plus actif. Ainsi, les trois professionnels peuvent ensemble générer des bonnes idées (R8). Pour ce qui est des options, trois sont généralement modélisées pour parvenir à un consensus basé sur l'intuition et l'expérience (R11). Celles-ci doivent être chiffrées pour connaître leur poids économique et énergétique. Par contre, les mesures passives sont difficiles à chiffrer, ce qui demande une certaine compréhension de la science du bâtiment. De surcroît, les ingénieurs conçoivent dans une logique de rentabilité, ce qui nuit à l'intégration et à l'optimisation réelle entre les mesures actives et passives (R14). Bien que ce soit l'architecte qui utilise la simulation énergétique pour valider ses intuitions et ses hypothèses de conception, c'est l'ingénieur qui supporte les analyses de performance énergétique pour bâtir les scénarios de simulation des architectes. De plus, les architectes ne considèrent que les systèmes mécaniques standards dans leur recherche de solutions optimales à cause principalement du corpus de connaissances limité des architectes en mécaniques du bâtiment. Le travail exhaustif de simulation est réalisé habituellement par l'ingénieur. Dans les pratiques exprimées par les répondants, les architectes optimisent leur conception à l'aide de mesures passives. Le recours à la simulation est plutôt destiné à l'étude des aspects mécaniques et de quelques aspects architecturaux. Donc, la performance énergétique s'appuie sur les systèmes plutôt que sur l'ensemble de la conception (R14).

Tableau 3.7 Grille synthèse des résultats : Optimisation et efficacité énergétique

Description des répondants aux entrevues semi-dirigées														
Titre professionnel et firmes	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
	Architecte senior principal Coarchitecture	Ingénieur senior Coarchitecture	Ingénieur senior Pageau Morel et Associés	Ingénieur senior Bouthillette et Parizeau	Ingénieur senior Magil Construction Corporation	Architecte senior principal Provencher Roy + associés architectes	Architecte senior principal UBC School of Architecture & Landscape Architecture	Coordonateur environnemental Sustainability Solutions Groups	Architecte senior principal Perkins + Will	Architecte senior principal WG Reed Architecture	Coordonateur environnemental NA	Architecte senior principal NA	Architecte senior principal Courchesne et associés inc.	Architecte senior principal Aedifica
Optimisation et efficacité énergétique														
Constats	Le PCI est utilisé lorsque la performance exigée est supérieurs à la réglementation	✓	✓											✓
	Les clients se préoccupent par le coût initial plus tôt que le coût d'opération	✓		✓	✓			✓						✓
	Les ingénieurs mécaniques sont peu impliqués en amont dû au manque de données disponibles					✓		✓	✓					
	L'importance de l'expertise en modélisation et simulation	✓												✓
	Le modèleur énergétique et l'agent de mise en service doivent avoir un rôle plus actif					✓		✓	✓					

### 3.2.4 Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique

Les répondants abordent souvent la collaboration et par le biais même l'importance de la synergie. Ces derniers sont présents autant dans les aspects de l'intégration des solutions que de l'optimisation énergétique (R2, R5, R9, R10, R12). La collaboration et la synergie s'avèrent des aspects soutenus par l'ensemble des répondants et nécessaires au PCI. Malgré l'importance que les répondants leur accordent, la collaboration entre les architectes et les ingénieurs est très faible (R1, R3, R6, R14). Ils ont deux manières de travailler, deux manières de réfléchir (R14). Ici, l'engagement et la transparence des professionnels permettraient d'atteindre un intérêt individuel et collectif à concevoir le meilleur projet (R7).

À ce propos, le meilleur projet est équilibré en fonction des objectifs de chacun dans un esprit de collaboration. Pour ce faire, l'ouverture d'esprit, le savoir être, la communication et le partage des connaissances sont souvent mentionnés (R1, R5, R6, R7, R8). Ainsi, il importe de bénéficier du travail multidisciplinaire et de l'expertise de chacun. Pour ce faire, les professionnels doivent être ouverts et réceptifs aux nouvelles idées pour intégrer les opportunités explorées (R1). À travers la collaboration, l'intention du client face au niveau d'intégration et de synergie est importante. Parfois certaines synergies ambitieuses (synergie des systèmes) peuvent être éliminées dû à l'intention du client ou à une certaine dynamique professionnelle (intérêt individuel sur les choix de systèmes, les choix conceptuels) qui restreint la performance énergétique (R2). À cet égard, il est mentionné dans les informations recueillies qu'il est très rare que les professionnels travaillent en synergie et ce, même s'ils travaillent dans une même firme. Dans le même sens, un répondant mentionne que les professionnels sont très peu participatifs. Ainsi, le PCI est en mesure de forcer les gens à travailler étroitement en collaboration pour développer un bâtiment en synergie, au lieu de travailler en silo. À cet égard, la communication et la participation, autant pour les gens de conception que de construction, permet de faire des concepts optimaux efficaces (R5). Par exemple, les synergies possibles entre les responsables de la réglementation et l'équipe de conception peuvent permettre de repousser les limites de la réglementation et des codes et d'innover (R9). En outre, la notion de l'empathie et du partage des points de vue est soulignée. Se mettre dans la peau des autres concepteurs et comprendre les points de vue permettraient, lorsqu'ils reviennent sur leur propre domaine de conception, de mieux maîtriser et intégrer les éléments conceptuels (R6). En concordance, la réussite d'un processus intégré s'appuie sur la volonté des différents participants de comprendre les autres domaines, d'accepter les opinions et les points de vue des autres disciplines. L'idée fondamentale dans la CI est de débattre, de négocier et d'accepter les différentes positions pour atteindre un consensus en collaboration plutôt que ce soit l'architecte qui décide d'une voix unique les choix conceptuels (R7). Par contre, les professionnels sous-estiment ou n'ont pas connaissance de l'effet de la collaboration sur la synergie d'équipe et de systèmes. (R10). À cet effet, l'un des répondants s'est exprimé sur la réflexion que font la plupart des professionnels : « Pourquoi

perdons-nous du temps à parler de buts quand nous savons que nous voulons un bâtiment vert » (R10).

Plus de la moitié des répondants ont abordé le sujet des méthodes d'évaluation de bâtiments durables par l'utilisation de la certification LEED. Tous admettent que les systèmes d'évaluation peuvent aider à guider le choix des cibles de performance dans un langage commun pour toutes les parties prenantes mais, utilisées comme liste de contrôle dès le début du projet, elles risquent de nuire au processus créatif (R6, R7, R8, R9, R10, R12, R13). LEED est une norme technique qui pousse à rechercher les solutions en fonction des éléments les moins coûteux de la liste et non de manière synergique. À cet égard, les professionnels oublient les synergies entre les différents critères et leur importance dues à la pondération des points LEED. Il est préférable de parler plutôt de développement durable et de fixer des objectifs environnementaux, et d'utiliser la liste de contrôle LEED pour valider la pertinence des choix plus tard dans la conception (Coles, 2002) (R7,12,13). Réaliser un projet de développement veut essentiellement dire « comment être au service de l'activité humaine, comment intégrer tout le côté social dans un projet de développement » et donc, un projet qui serait au service de la vie (R12). Avant l'utilisation de MEBD, les professionnels doivent avoir un concept efficace et respectueux des notions du développement durable.

Sans diminuer le support des technologies et des outils à la conception de bâtiments innovants, la plupart des répondants traitant du sujet restent perplexes face à leur utilisation. Certains d'entre eux vont même jusqu'à ne voir aucun outil sur la table lors de charrettes. Ainsi, dans le contexte où les concepts doivent répondre à des ensembles beaucoup plus larges (les flux d'énergie, de matières, de l'eau, financier, humains, etc.) les outils n'ont pas raison d'être (R7). Par ailleurs, certains professionnels minimisent l'utilisation d'outils d'aide à la conception par rapport aux outils d'approximation, en raison du temps limité consacré à la prise de décision. C'est pourquoi les professionnels n'ont pas le temps de déployer une armada de logiciels. C'est probablement pour cette raison que la plupart des répondants donnent plus d'importance aux outils favorisant la collaboration plutôt qu'aux outils technologiques, comme le BIM et autres. Ainsi, l'équipe de conception est formée de

plusieurs intervenants ayant leurs propres façons d'interagir. Alors, les outils collaboratifs mécaniques (tableaux blancs, papier, crayons, post-it, etc.), ou informatiques (tableaux interactifs, télévotants, tablettes, etc.), ou une combinaison des deux, viennent faciliter les interactions entre les intervenants. En ce qui concerne les outils de simulation et de modélisation, ceux-ci sont généralement attribués à l'énergie lors des ateliers ou des charrettes de conception (R6 et R10).

Dans le cadre des entrevues semi-dirigées, plusieurs répondants ont traité de l'intégration du « Building Information Modeling » (BIM). À cet effet, il y a un accord du fait que l'efficacité du BIM dépend du processus de conception. À ce propos, les professionnels qui utilisent le BIM devraient comprendre le PCI d'abord. Certains répondants s'accordent pour dire que le BIM doit être utilisé après le processus de conception intégrée (R1, R5, R9). Comme le BIM est plus technique, il faut préalablement avoir pensé au concept. (R9). Autrement dit, le PCI n'a pas besoin du BIM, mais le BIM a besoin du PCI. Le PCI sert à concilier les valeurs des gens autour d'un objectif commun et, ensuite, le BIM est utilisé pour supporter l'intégration des acteurs. Ainsi, tous travaillent sur le même système qualité à l'aide d'une maquette virtuelle qui va démontrer la qualité du bâtiment avant la construction réelle. Cette approche permet, en quelque sorte, de tenir compte de l'intégration des aspects humains et techniques dans l'ensemble de la réalisation de bâtiment optimal (R1).

Tableau 3.8 Grille synthèse des résultats : Modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique

Description des répondants aux entrevues semi-dirigées														
Titre professionnel et firmes	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Architecte senior principal Coarchitecture	Ingenieur senior Coarchitecture	Ingenieur senior Pageau Morel et Associés	Ingenieur senior Bouthilllette et Parizeau	Ingenieur senior Magil Construction Corporation	Architecte senior principal Provancher Roy + associés architectes	Architecte senior principal UBC School of Architecture & Landscape Architecture	Coordonnateur environnemental Sustainability Solutions Groups	Architecte senior principal Perkins + Will	Architecte senior principal WG Reed Architecture	Coordonnateur environnemental NA	Architecte senior principal NA	Architecte senior principal Courchesne et associés inc.	Architecte senior principal Aedifica	

[illegible]

### 3.3 Analyse des entrevues semi-dirigées

Les résultats des entrevues semi-dirigées recueillis sont aussi présentés dans une grille similaire à la grille d'analyse précédente. Cette dernière comporte les même quatre segments. Les résultats des entrevues ont été inscrits dans la grille d'entrevue, de même que dans un inventaire descriptif. Ce dernier permet de tracer un portrait des informations recueillies. Ainsi, le pourcentage de convergence, de complémentarité et de divergence entre les discours des 14 participants a été ciblé (Tableau 3.9).

Tableau 3.9 Grille d'analyse : Entrevues semi-dirigées

Grille d'analyse: Entrevues semi-dirigées	Entrevues semi-dirigées		Les éléments et aspects du contenu					
	Nombre, N=14	%	Convergent	%	Complément	%	Divergent	%
<b>Contexte québécois</b>								
Processus de conception Traditionnelle (PCT)	9	64%	5	36%	6	43%	0	0%
Chaîne d'approvisionnement (linéaire et fragmentation)								
	<b>Moyenne =</b>	<b>64%</b>	5	<b>36%</b>	6	<b>43%</b>	0	<b>0%</b>
<b>Processus de conception intégrée PCI</b>								
Approches, applications et pratiques intégrées (PCI)	11	79%	9	39%	13	57%	1	4%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	10	71%	11	38%	18	62%	0	0%
Charrettes de conception	8	57%	5	42%	7	58%	0	0%
Outils d'aide et Technologie (TIC) et CAD et Simulation	5	36%	2	33%	3	50%	1	17%
Guides existants sur le PCI	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	<b>Moyenne =</b>	<b>49%</b>	5	<b>30%</b>	8	<b>45%</b>	0	<b>4%</b>
<b>Optimisation et efficacité énergétique</b>								
Approches et processus d'optimisation	3	21%	1	33%	2	67%	0	0%
Simulation et modélisation	8	57%	3	30%	7	70%	0	0%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	4	29%	0	0%	4	100%	0	0%
	<b>Moyenne =</b>	<b>36%</b>	1	<b>21%</b>	4	<b>79%</b>	0	<b>0%</b>
<b>Modalités commune au PCI et à l'optimisation énergétique</b>								
Synergie et la collaboration	8	57%	3	27%	8	73%	0	0%
Performance environnementale	3	21%	3	38%	5	63%	0	0%
Efficacité énergétique	6	43%	3	38%	5	63%	0	0%
Performance du bâtiment (coûts, qualité, temps)	8	57%	6	67%	3	33%	0	0%
MEBD et processus de bâtiments durables (ex. : LEED)	5	36%	5	100%	0	0%	0	0%
Intégration de technologie (BIM, simulation, étalonnage)	3	21%	3	100%	0	0%	0	0%
	<b>Moyenne =</b>	<b>39%</b>	4	<b>61%</b>	4	<b>39%</b>	0	<b>0%</b>
Total des aspects traités	<b>142</b>		<b>59</b>	<b>41%</b>	<b>81</b>	<b>57%</b>	<b>2</b>	<b>2%</b>

Les aspects et éléments traités par la totalité des participants démontrent une cohérence du discours. À cet effet, il y a 41% de convergence entre les éléments traités, 57% de complémentarité et 2% de discours divergent. Les propos les plus fréquents s'attribuent au contexte actuel soit : le processus de conception traditionnelle et sa chaîne

d'approvisionnement avec 64% des sujets traités. Ensuite, il y a le processus de conception intégrée avec 49%, l'optimisation et l'efficacité énergétique avec 36% ainsi que les modalités communes au PCI et à l'optimisation énergétique avec 39%. Notamment, il est observé que les sujets les plus traités en PCI sont les approches et les pratiques, les acteurs et les intervenants, ainsi que les charrettes de conception. Ceux-ci représentent respectivement 79%, 71% et 57% des sujets abordés. En ce qui a trait au PCI, comme le démontre le Tableau 3.9, le contenu des entrevues semi-dirigées correspond à des informations complémentaires pour la plupart de ces aspects. Ceux-ci soutiennent un apport substantiel. Par ailleurs, la simulation et la modélisation sont les aspects de l'optimisation énergétique les plus soulignés avec 57% des sujets traités. Encore une fois, ceux-ci sont à 70% des discours complémentaires. Pour ce qui est des aspects communs entre les pratiques de PCI et l'optimisation énergétique, la synergie et la collaboration sont des thèmes fréquemment soulignés, tout comme la performance des bâtiments avec 57%. Puis, en ordre d'importance, il y a l'efficacité énergétique et les MEBD et les processus de bâtiments durables avec 43% et 36%, respectivement. Au niveau de la synergie et de la collaboration, les propos mentionnés sont complémentaires à 73%. Pour ce qui est des autres aspects mentionnés, ceux-ci représentent des informations convergentes avec un taux de 67% et 100%.

### **3.4 Analyse des résultats du groupe de discussion**

Les informations recueillies dans le cadre du groupe de discussion réalisé par le GRIDD ont été analysées et classées selon la grille d'analyse ou d'entretien utilisée pour évaluer les entrevues semi-dirigées, ainsi que la revue de la littérature (l'analyse de contenu et de thématique). Les participants ont traité particulièrement du processus de conception intégrée dans le cadre de charrettes de conception (Tableau 3.10). Toutefois, ils n'ont pas omis les sujets reliés à l'optimisation et à l'efficacité énergétiques ainsi que les modalités attribuées au PCI et à l'optimisation énergétique. Ceux-ci représentent respectivement 100%, 20% et 33% des réponses obtenues sur les thématiques utilisées lors des entrevues semi-dirigées. Les pourcentages, dans l'ensemble, assurent la fiabilité des données. Ils sont balancés entre les données convergentes et complémentaires. Ces dernières représentent respectivement 48% et 51%. De compte fait, les données recueillies ajoutent un niveau de cohérence.

Tableau 3.10 Grille d'analyse : Groupe de discussion

Grille d'analyse: Groupe de discussion	Groupe de discussion		Les éléments et aspects du contenu					
	Nombre: N = 5	%	Convergent	%	Complément	%	Divergent	%
Contexte québécois								
Processus de conception Traditionnelle (PCT)								
Chaîne d'approvisionnement (linéaire et fragmentation)								
Processus de conception intégrée PCI								
Approches, applications et pratiques intégrées (PCI)	5	100%	14	58%	10	42%	0	0%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	5	100%	3	25%	9	75%	0	0%
Charrettes de conception	5	100%	6	40%	9	60%	0	0%
Outils d'aide et Technologie (TIC) et CAD et Simulation	5	100%	5	33%	9	60%	1	7%
Guides existants sur le PCI								
	Moyenne= 100%		7	39%	9	59%	0	2%
Optimisation et efficacité énergétique								
Approches et processus d'optimisation	0	0%	1	33%	2	67%	0	0%
Simulation et modélisation	3	60%	3	100%	0	0%	0	0%
Acteurs/Intervenants : rôles et responsabilités	0	0%	0	0%	4	100%	0	0%
	Moyenne= 20%		1	44%	2	56%	0	0%
Modalités commune au PCI et à l'optimisation énergétique								
Synergie et la collaboration	5	100%	7	88%	1	13%	0	0%
Performance environnementale	0	0%	3	38%	5	63%	0	0%
Efficacité énergétique	0	0%	3	38%	5	63%	0	0%
Performance du bâtiment (coûts, qualité, temps)	2	40%	4	100%	0	0%	0	0%
MEBD et processus de bâtiments durables (ex. : LEED)	1	20%	2	100%	0	0%	0	0%
Intégration de technologie (BIM, simulation, étalonnage)								
	Moyenne= 32%		4	73%	2	28%	0	0%
Total des aspects traités	106		51	48%	54	51%	1	1%

### 3.4 Validation des résultats par triangulation

Pour faciliter le repérage des interrelations thématiques lors de la triangulation des méthodes, une autre grille a été utilisée (Tableau 3.11). Cette grille représente le classement sommaire de l'information recueillie dans une grille d'analyse croisée en fonction des thèmes. Les informations recueillies dans le cadre du recensement des écrits forment le corps du développement de la recherche. Ce cadre conceptuel établit la référence dans le but d'effectuer l'analyse croisée des données. Les pourcentages établis correspondent au cumulatif de chaque aspect observé lors de l'analyse, par rapport au total des aspects observés.

Tableau 3.11 Validation par triangulation

Grille d'analyse synthèse : Recensement des écrits	Répartition moyenne	Descriptif du contenu					
	N=128	Général (G)	%	Spécifique (S)	%	Complet (G&S)	%
Total des aspects du recensement des écrits	486	284	58%	62	13%	140	29%
Contexte québécois	27%	21	59%	6	16%	9	25%
Processus de conception intégrée (PCI)	23%	13	42%	4	18%	12	40%
Optimisation énergétique (O&É)	5%	4	63%	0	0%	2	32%
Modalités communes du PCI et de l' O&É	33%	28	65%	5	13%	9	22%
Grille d'analyse synthèse : Entrevues semi-dirigées (ESD) et Groupe de discussion (GD)	Répartition moyenne	Descriptif du contenu					
	ESD, N=14 GD, N=5	Convergent	%	Complément	%	Divergent	%
Total des aspects (ESD)	142	59	41%	81	57%	2	2%
Contexte québécois	64%	5	36%	6	43%	0	0%
Processus de conception intégrée (PCI)	49%	5	30%	8	45%	0	4%
Optimisation énergétique (O&É)	36%	1	21%	4	79%	0	0%
Modalités communes du PCI et de l' O&É	39%	4	61%	4	39%	0	0%
Total des aspects (GD)	106	51	48%	54	51%	1	1%
Contexte québécois							
Processus de conception intégrée (PCI)	100%	7	39%	9	59%	0	2%
Optimisation énergétique (O&É)	20%	1	44%	2	56%	0	0%
Modalités communes du PCI et de l' O&É	32%	4	73%	2	28%	0	0%

Comme le démontre le Tableau 3.11, les aspects abordés lors des entrevues semi-dirigées sont à 41% des informations convergentes et à 57% complémentaires avec ceux retrouvés dans le cadre conceptuel. Pour apporter une précision, le terme complémentaire comprend également les informations qui apportent des précisions sur le sujet traité. En ce qui concerne les propos avancés lors du groupe de discussion, ceux-ci représentent, une fois de plus, un haut pourcentage de convergence et de complémentarité des données avec respectivement 48% et 51%. Le cadre conceptuel, les entrevues semi-dirigées ainsi que le groupe de discussion reflètent les concepts, les principes et les méthodes dans lesquels s'implante la conception intégrée. Selon la stratégie par triangulation, le taux de convergence et de complémentarité assure la validité des données. En plus, le faible taux de divergence des données vient appuyer la validité des données avec un pourcentage maximal de 2%. Cette représentativité démontre une cohérence entre les informations recueillies ainsi qu'une bonne répartition des sujets traités. Compte tenu des pourcentages de convergence et de complémentarité, la véracité des données est en partie vérifiée.

## **CHAPITRE 4**

### **DISCUSSION**

De par la recherche et la convergence des données, il apparaît que le PCI offre une bonne opportunité de mieux intégrer les aspects environnementaux et énergétiques lors de la conception de bâtiments. Par ailleurs, les résultats de recherche convergent vers une pratique selon une approche intégrée avec 3 ou 5 charrettes, selon l'ampleur du projet. Toutefois, les professionnels, souvent, ne considèrent pas le retour sur l'investissement sur le cycle de vie. La compréhension des acteurs et des intervenants sur l'effet de levier du cycle de vie permettrait probablement l'ouverture d'esprit nécessaire à la réflexion et à l'exploration de solutions optimales. En effet, les clients omettent souvent le long terme dans leurs prises de décision. En ce qui concerne l'implication des résultats, en plus de refléter l'omission du cycle de vie dans la prise de décision, les résultats démontrent une compréhension partagée de la définition du PCI. À cet égard, un résultat inattendu dans l'ensemble des données analysées est observable, l'attribution du titre de « Builder designer ». Celui-ci est attribué à la définition des rôles et des responsabilités. L'ensemble des répondants s'accorde pour discuter du facilitateur et du champion comme d'intervenants supportant le PCI. Dans la compréhension partagée, un répondant a mentionné le rôle de « Building designer », qui correspond aux rôles combinés de facilitateur et de champion. De plus, la plupart des résultats confirment que la conception intégrée est réalisée souvent à travers un processus qui correspond plus à un processus traditionnel qu'intégré. Cela peut s'expliquer en partie par le manque de normes ou de guide de la pratique et par une mauvaise organisation du PCI au Québec.

Un autre résultat inattendu démontre l'absence de logiciel dans les charrettes de conception. Les professionnels sont perplexes face à leur utilisation due au temps alloué à la conception et mettent de l'avant l'aspect humain plutôt que l'aspect technologique. En complément, les résultats présentés démontrent l'importance de l'ouverture d'esprit et d'une bonne écoute dans les échanges entre les acteurs et les intervenants, de la rigueur et de l'effort en recherche

et en analyse ainsi que de la créativité et de l'innovation tout en considérant les contraintes du projet. Ces facteurs critiques de succès d'un PCI sont présentés dans le guide de CI (ANNEXE II, p.149).

L'analyse des résultats à l'aide de la méthode par triangulation a permis de développer le guide de conception intégrée en s'assurant de répondre en tous points aux éléments pertinents à la réalisation de bâtiments durables intégrée par le PCI. En appui au guide, le cadre conceptuel assure une définition adéquate pour référer les professionnels. Ainsi, une fois la rigueur et la validation des données confirmées, les résultats engendrés par la méthodologie de recherche ont permis de développer le Guide de conception intégrée en partenariat avec le GRIDD et le CERACQ (ANNEXE II, p.85). Autrement dit, le contenu du guide est l'aboutissement des entrevues semi-dirigées ainsi que du recensement des écrits qui ont permis d'exercer un contrôle qualité sur le contenu. La technique d'analyse choisie pour appuyer la préparation du guide s'est avérée appropriée du fait que le document produit a été qualifié de document de grande qualité par le responsable de la commercialisation d'Hydro-Québec Distribution. En ce sens, Hydro-Québec a endossé le guide comme référence pour son programme d'incitation à la conception intégrée.

Le guide traite de l'efficacité énergétique des bâtiments et de la réduction des impacts sur l'environnement, le tout intégré par le PCI. Le but de cet ouvrage est de faciliter la transition du travail des professionnels de l'industrie vers un processus de conception adapté à la réalisation de bâtiments durables. Le guide contient cinq sections qui décrivent les pratiques de conception intégrée (CI), leurs applications et bénéfices, ainsi que leurs modalités d'application dans l'industrie québécoise. En plus des sections du guide, deux segments offrent un sommaire récapitulatif afin d'assurer la compréhension des conditions fondamentales pour réussir un PCI, ainsi que les facteurs critiques et de succès (ANNEXE II, p.118 et 149).

La première section permet au lecteur de saisir le contexte de l'industrie de la construction ainsi que les aspects impondérables du processus de conception traditionnelle. À cet égard,

elle traite du contexte québécois et donne un portrait global des pratiques traditionnelles et de ses problématiques reliées à la complexité de l'industrie, notamment le processus linéaire et fragmenté de conception, qui conduit à des solutions sous-optimales. Par la suite, une brève définition et un historique de la conception intégrée aident à la compréhension du lecteur au changement que peut apporter une transformation des pratiques, et ce à quoi l'industrie doit faire face pour entamer le virage vers la durabilité de ses projets. Ainsi, cette section démontre bien les différences entre le processus de conception traditionnelle (PCT) et le processus de conception intégrée (PCI).

La deuxième section du guide établit les bases de la conception intégrée. Pour ce faire, le guide présente et explique les principes et bénéfices de ce processus afin d'assurer sa conduite et d'optimiser ses retombées. Axée sur le PCI dans le cadre de charrettes de conception, cette section décrit les rôles et les responsabilités des intervenants propices et indispensables au déroulement d'un PCI efficace. De plus, les éléments distinctifs du PCI tels que le levier du cycle de vie, les boucles de rétroaction, l'équipe de conception, la gestion des charrettes et les cibles de performances sont abordés afin d'introduire l'essence du PCI. En résumé cette section présente la justification du PCI en démontrant ses principaux apports.

La troisième section survole les outils et les technologies de soutien collaboratifs ainsi que ceux des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette section permet de comprendre l'importance de l'apport de ces outils ainsi que ce à quoi ils font référence. À ce propos, le PCI comprend l'aspect humain et l'aspect technique à travers un processus de conception. Ainsi, les outils collaboratifs, de simulation et modélisation sont abordés. Autrement dit, la troisième section présente la contribution des outils et technologies ainsi que leurs implications dans un PCI.

La quatrième section traite des approches de conception intégrée dérivées des résultats de la recherche et des rares guides développés par l'industrie. Elles permettent d'établir les paramètres indispensables à la conduite d'un projet en CI et fournissent des arguments pour en justifier l'adoption. Grâce à la recherche, trois approches de PCI adaptées au contexte

québécois ont émergé. À l'aide d'approches reconnues par les professionnels, dont celle de Larson (2009), Busby (2007) et Reed (2009), cette section comporte une courbe de maturité comportant cinq niveaux, tous présentés et expliqués. À cet égard, le guide supporte la compréhension des professionnels à l'effet des pratiques actuelles en PCI. Celles-ci sont basées sur les meilleures pratiques et la maturité de l'industrie face au processus. Ainsi, elles servent de référence afin d'améliorer les pratiques des professionnels à l'aide de structures du PCI actuelles et proposées.

La dernière section propose une feuille de route simplifiée pour les professionnels afin de faciliter la conduite du processus, son application et son intégration. La feuille de route contient sept jalons, dont cinq charrettes de conception. Ainsi, les éléments et les aspects importants à l'application adéquate du PCI sont soulignés. Les éléments et aspects contenus dans le guide sont présentés dans l'ordre respectif axé sur un PCI dans le cadre de charrettes de conception. C'est à partir de la feuille de route présentée dans le guide que le processus de mise en service de ASHRAE est introduit (ASHRAE, 2013).

La feuille de route se base sur le processus de mise en service développé par ASHRAE (ASHRAE, 2013). Elle propose une approche rigoureuse d'assurance et de contrôle qualité pour vérifier et mesurer l'atteinte des exigences de projet du propriétaire (EPP). Transposés dans le processus de conception intégrée proposé dans le guide de PCI (ANNEXE II, p.136-148), les points de contrôle inscrits dans le guide de ASHRAE correspondent aux phases de préconception (de préparation et d'évaluation), de conception conceptuelle, de documentation de construction. Le processus de MES introduit dans le PCI proposé dans le guide de conception intégrée (Voir ANNEXE III, p.153) représente les sept jalons existants dans le guide de CI, avec un jalon supplémentaire pour les phases de construction et d'opération. Ce dernier correspond au jalon de mise en service : phase de construction et d'opération. Les sections grises du processus de MES introduits dans le PCI concordent avec les sections du guide non attribuables à l'agent de mise en service.

En ce qui a trait aux outils et technologies de la section trois du Guide de conception intégrée, l'ensemble des professionnels ont traité du processus Building Information Modeling (BIM) comme un outil. À travers les résultats, il est évident de constater que la collaboration est un aspect indispensable au processus de conception intégrée, autant que le PCI en est un pour le BIM. Cependant, considérant le cadre conceptuel de recherche, ces données ont été exclues de l'analyse. Cette décision a été prise afin de concentrer les efforts de recherche sur un seul processus. Ceci permet d'accentuer la compréhension des lecteurs à l'atteinte des contributions souhaitées. Toutefois, la compréhension de la collaboration est un aspect indissociable au processus de conception intégrée (PCI) et au processus du Building Information Modeling (BIM). Ainsi, il serait pertinent d'infirmer ou de confirmer l'hypothèse illustrée à la Figure 4.1 et la Figure 4.2, qui propose un schéma de liaison entre le travail collaboratif, le PCI et le BIM, et ce, dans un contexte de réalisation de projet complexe tel un bâtiment écoénergétique.

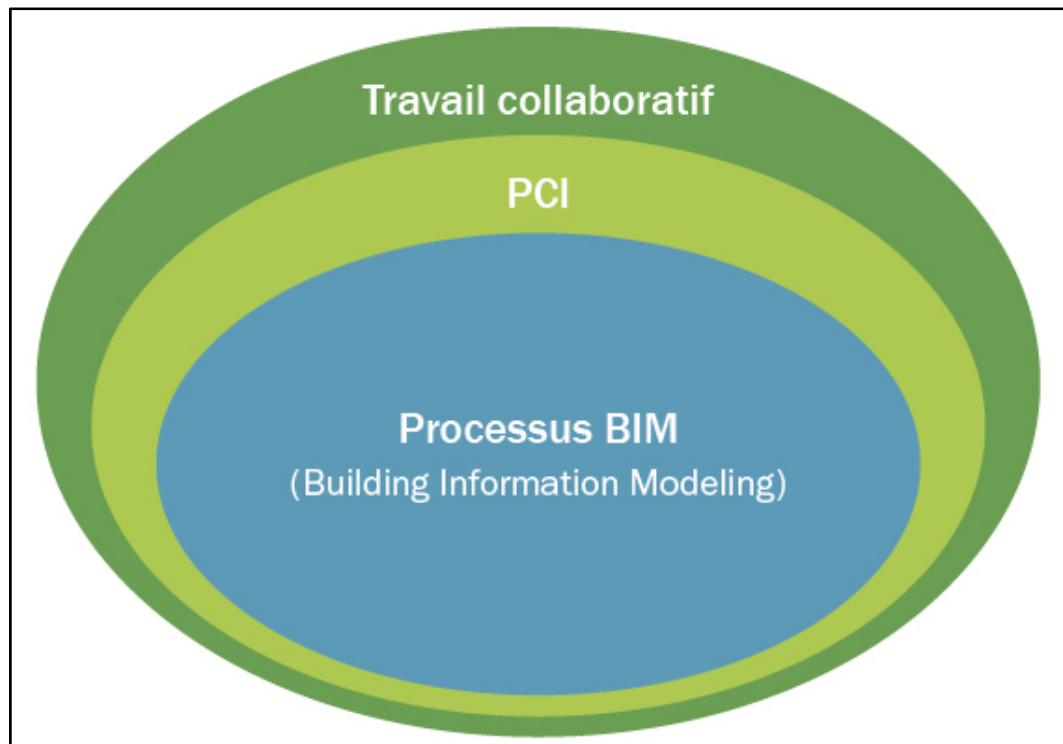


Figure 4.1 Schéma des aspects nécessaires à la réalisation de projet complexe

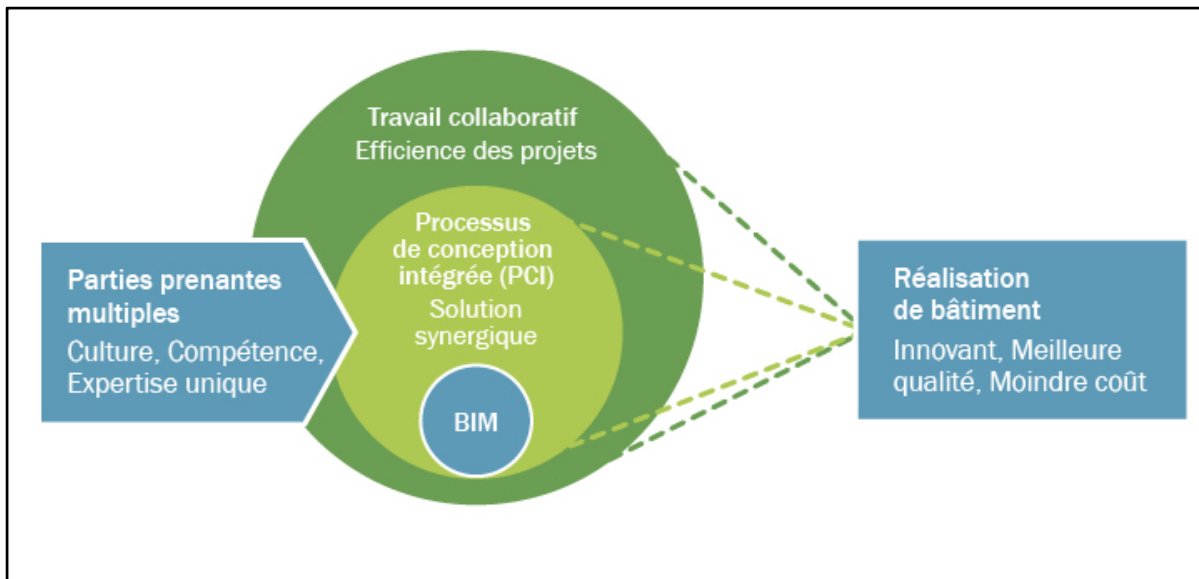


Figure 4.2 Schéma synthèse de la réalisation de projet complexe intégrant le BIM

À cet égard, plusieurs auteurs proposent le BIM comme processus technologique pour soutenir la résolution de problèmes et la prise de décision lors de la conception. En effet, le BIM est souvent adopté tel un outil utile pour aider à la résolution de problèmes complexes, notamment ceux reliés à la coordination de la mécanique, de l'électricité et de la plomberie (Dossick et Neff, 2011). Par ailleurs, selon une étude présentée par Hiyanna et Kato (2011), plusieurs professionnels reconnaissent la contribution du BIM comme outil de conception assistée par ordinateur (CAO) facilitant l'optimisation et l'intégration des fonctionnalités de conception (Hiyama et Kato, 2011). À cet effet, le BIM est souvent présenté comme la réponse technologique à la réalisation de solutions intégrées (Reed et al., 2009). Toutefois, cet outil technologique peut à la fois soutenir comme entraver les aspects de la collaboration tels que la communication, l'apprentissage collaboratif, la création de connaissances et l'échange (Dossick et Neff, 2011). Ainsi, l'étude de cas présentée par Paavola et al. (2012) démontre la nécessité de résoudre les questions à la fois techniques, sociales et de collaboration dans l'utilisation du BIM.

## CONCLUSION

L'adoption du concept de développement durable (DD) dans l'industrie de la construction s'avère un défi de taille. L'équilibre des prémisses du DD telles que l'économique, l'environnement et le social demande de tenir compte du cycle de vie dans la réalisation de bâtiments durables. Celles-ci se traduisent via la réduction des impacts sur l'environnement et l'efficacité énergétique des bâtiments.

Un processus efficace doit tenir compte de la complexité de l'industrie de la construction. Celle-ci a trait à sa chaîne d'approvisionnement fragmentée et linéaire, aux interrelations entre les acteurs et les intervenants, ainsi qu'à la complexité des systèmes. De plus, considérant les nouveaux enjeux découlant des multiples critères relatifs au développement durable, les professionnels doivent résoudre des problèmes additionnels avec une plus grande étendue en conjuguant avec la complexité de l'industrie. Ceci ramène à un changement profond dans le travail des professionnels. La revue de littérature aborde le changement de culture porté par les bâtiments durables correspondant à un saut significatif important. Ce changement de culture se traduit par une transformation des pratiques professionnelles. Ainsi, la conception intégrée est le reflet de ces changements. Les résultats des entrevues semi-dirigées confirment cette assertion. La réalisation de bâtiments durables devrait s'appuyer sur un processus de conception intégrée (PCI). Ainsi, le virage obligé de l'industrie de la construction vers la durabilité des projets remet en question son processus de conception traditionnelle. En effet, la recherche démontre que les pratiques traditionnelles de coordination entre les professionnels affectent la synergie entre les divers intervenants ainsi que dans le choix des assemblages et des systèmes. Contrairement à la pratique traditionnelle, la réalisation de bâtiments ne tient plus seulement à l'atteinte de solutions fonctionnelles selon un budget fixe, mais cherche en plus l'optimisation des solutions par l'atteinte d'une synergie d'équipe et des systèmes. Les modes contractuels traditionnels sont un obstacle à cette synergie, notamment du fait qu'ils favorisent le travail par disciplines, le travail en silo. Par contre, le cadre de la recherche, est limité à l'étude du processus de conception et non aux arrangements contractuels. La gestion des contrats de construction lors

d'un projet en conception intégrée n'a pas été sujette à l'étude. Néanmoins, la gérance de construction est un mode contractuel pouvant limiter ou atténuer une mauvaise collaboration due au travail fragmenté. Par ailleurs, le processus de gestion d'un projet de réalisation de bâtiment devra être assujéti au processus de conception intégrée. Cette partie pourrait être abordée dans une autre recherche, en plus d'intégrer la gestion de l'innovation et du changement provenant du processus itératif de CI.

La synergie d'équipe et des systèmes répondent en grande partie à la question soulevée en introduction : comment obtenir des solutions optimales et en assurer la performance attendue pendant le cycle de vie du bâtiment? Ce propos est amplement souligné dans la revue de littérature ainsi que dans les résultats des entrevues semi-dirigées. À cet effet, ces informations traitent d'engagement, de participation, de collaboration, de communication et d'échange d'idées, de synergie d'équipe (expertise, compétence et complémentarité) et de systèmes (passifs et actifs). Ces synergies sont indispensables à l'atteinte de performance. Cependant, la performance n'est pas assurée que par l'atteinte de synergie. À cet effet, le travail de recherche démontre l'importance des intentions du client face à ses objectifs et des exigences clairement définies. L'équipe de conception doit se rallier à la vision du client, d'où l'importance d'établir un consensus entre les intervenants. La vérification et le contrôle des cibles de performance doivent s'effectuer simultanément avec le processus de conception pour en assurer l'atteinte. En outre, la simulation et la modélisation sont des outils peu ou pas utilisés dans la validation des solutions performantes. Conséquemment, l'industrie de la construction doit progresser dans les niveaux de maturité du PCI afin d'y intégrer un processus de simulation énergétique et un processus de vérification et de contrôle des exigences du propriétaire du projet (EPP). Par le fait même, les travaux de recherche proposent l'intégration du processus de mise en service dans le PCI. En réponse à ces réflexions, les résultats de recherche conduisent à un guide de conception intégrée adapté au Québec et considérant les acteurs clé du cycle de vie (client, concepteur, constructeur et opérateur) intégré par le processus de mise en service de l'ASHRAE. Ce guide s'inscrit comme la retombée d'une réflexion sur les résultats compilés auprès des acteurs.

De ce constat, les acteurs et les intervenants doivent travailler dans un environnement hautement collaboratif et multidisciplinaire pour rechercher les opportunités d'optimisation de la performance réalisable. Conséquemment, le processus de conception n'est plus adéquat à la réalisation de bâtiments durables et innovants. La nature de cette problématique amène une réorganisation du travail des professionnels. Ceci amène un questionnement sur la façon d'intégrer la participation et l'apport des professionnels, et quels sont les rôles et responsabilités des acteurs et des intervenants dans cette réorganisation. En réponse à cette problématique et à la lumière de la recherche, le processus de conception intégrée appuyé d'une feuille de route pour cadrer le processus s'avère être la solution idéale. À cet effet, le PCI s'accompagne de charrettes et d'ateliers de conception. Grâce aux résultats de recherche et au guide de CI proposé, les contributions souhaitées sont confirmées. Les contributions de ce travail permettent de :

- combler les besoins de référence et de cohérence des approches intégrées sans délimiter leur portée;
- faciliter la transition des pratiques de la construction vers une approche de conception centrée sur la réduction de l'empreinte écologique et vers l'optimisation énergétique du cadre bâti;
- proposer les étapes de mise en place de ces approches;
- introduire le processus de mise en service parallèlement au PCI.

À la lumière de la recherche, plusieurs autres pistes pourraient être explorées. De celles-ci, il y a les interrelations du PCI avec les différents processus impliqués dans l'optimisation énergétique d'un projet. Ainsi, certains processus devront être couplés avec le PCI soit ceux de gestion, de simulation et de BIM. Le fait que la recherche s'est limitée au PCI n'a aucune conséquence sur la validité des interprétations proposées, puisque le PCI est le processus mère dans la gestion efficace des processus.

Hypothétiquement, un travail collaboratif efficace avec le BIM doit tenir compte de la collaboration interdisciplinaire dans un cadre humain, d'où le processus de conception intégrée. Dans ces circonstances, l'étude de la gestion efficace de processus entre le PCI et le BIM serait pertinente dans la réalisation de projets durables d'envergure comme travaux futurs.

## ANNEXE I

### FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT : PROTOCOLE D'ENTREVUE SEMI-DIRIGÉE

« Guide de conception intégrée, processus facilitant pour l'efficacité énergétique du bâtiment »

#### IDENTIFICATION

Responsable du projet : Daniel Forgues

Groupe de recherche : GRIDD (Groupe de recherche en intégration et développement durable en milieu bâti)

Site web : <http://www.batimentsdurables.etsmtl.ca/gridd/>

Adresse postale : 1100 Notre-Dame Ouest.

Adresse courriel : [Daniel.Forgues@etsmtl.ca](mailto:Daniel.Forgues@etsmtl.ca), [Danielle.Monfet@etsmtl.ca](mailto:Danielle.Monfet@etsmtl.ca), [jean-philippe.dionne.1@ens.etsmtl.ca](mailto:jean-philippe.dionne.1@ens.etsmtl.ca), [jean-francois.fortin-tam@etsmtl.ca](mailto:jean-francois.fortin-tam@etsmtl.ca)

Membres de l'équipe (incluant les étudiants) :

Daniel Forgues, Ph.D, Pmp arch, PA LEED,

Danielle Monfet, ing., M.Sc.A., Ph.D.

Jean-Philippe Dionne, B.Sc. ing., étudiant à la maîtrise ÉREÉ, spécialisé en PCI.

Jean-François Fortin Tam, B. Sc. Psy., DESS en gestion, agent de recherche.

#### BUT GÉNÉRAL DU PROJET

L'objectif du projet est de développer un guide de conception intégrée (GCI) adapté à l'industrie qui permettra de faciliter la transition du marché de la construction vers l'atteinte d'objectifs de conception durable. Le développement du guide sera réalisé dans le but de combler le manque de connaissance et d'expertise dans la conduite de projet de bâtiments écoénergétiques. Pour ce faire, le GCI établira un cadre des meilleures pratiques de PCI favorisant la synergie et la collaboration entre les professionnels pour optimiser les mesures de conception. Ainsi, le but premier du guide est de définir les pratiques de conception intégrée (CI), leurs applications et bénéfices, ainsi que leur modalité d'application dans l'industrie québécoise.

Les fonds utilisés pour mener à bien ce projet sont issus d'un MITACS.

## PROCÉDURE(S) de l'entretien

L'entrevue durera de 45 minutes à une heure, environ.

L'entrevue sera enregistrée pour faciliter la retranscription et l'analyse du contenu des réponses.

L'entrevue se base sur un questionnaire de 20 questions (Annexe-Questionnaire) qui s'appuie sur une carte conceptuelle thématique (Annexe-Questionnaire).

## AVANTAGES, RISQUES ET INCONVÉNIENTS

Les avantages auxquels vous serez exposés :

- L'avancement des connaissances en conception intégrée
- Assurer la validité et la fiabilité du futur guide de CI

Les inconvénients :

- Un possible inconfort lié au fait d'être observé durant l'entretien
- L'utilisation de votre temps lors des entrevues

## CONFIDENTIALITÉ

La confidentialité des documents, vidéos et informations recueillis sera assurée en protégeant les données **sous clé** dans un local à accès restreint. Les données originales seront codées afin d'éviter votre identification si vous le désirez. Dans cette éventualité, la clé de ce code sera conservée séparément durant dix ans pour références et publications futures, après quoi elle sera détruite. Les données originales qui permettent (s'il y a lieu) d'identifier les participants seront accessibles uniquement aux membres de l'équipe mentionnés ci-haut.

## PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche. Dans ce cas, les renseignements recueillis jusqu'au moment du retrait seront détruits. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée.

## DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

L'étude est réalisée par Daniel Forgues, disponible aux coordonnées mentionnées en entête. Jean-François Fortin-Tam est disposé à répondre à vos questions relativement aux grilles d'entretien utilisées. Le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'ÉTS a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour toute autre question concernant vos droits en tant que sujet de recherche, vous pouvez contacter le président du Comité d'éthique de l'École de technologie supérieure au (514) 396-8829.

## REMERCIEMENTS

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

## SIGNATURES :

Je, soussigné(e) (lettres moulées) \_\_\_\_\_ reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais avoir disposé de suffisamment de renseignements et du temps nécessaire pour réfléchir à ma décision. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Le cas échéant, je m'engage à prévenir le responsable du projet.

En signant le présent formulaire, je ne renonce aucunement à mes droits ni ne libère le(s) chercheur(s) de leurs responsabilités légales et professionnelles

\_\_\_\_\_  
Signature du participant

\_\_\_\_\_  
Date

**S.V.P. nous fournir une carte d'affaires que nous brocherons à ce formulaire pour référence future.**

Je, soussigné(e) \_\_\_\_\_ certifie avoir expliqué au signataire intéressé les termes du présent formulaire, avoir répondu à ses questions et lui avoir clairement indiqué son droit de mettre fin à son engagement en tout temps. Je lui transmettrai une copie signée du présent formulaire de consentement.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet ou de sa  
délégué(e)

\_\_\_\_\_  
Date

## Annexe - Questionnaire

### Question thématique : Participant à l'entrevue

1. Quel est votre nom?
2. Titre professionnel?
3. Rôle au sein de l'organisation X?
4. Expérience en PCI?

### Question thématique : Définition du PCI

5. Qu'est-ce que le PCI et quelle est son utilité?
6. Quelles approches sont priorisées lors de la réalisation de vos projets en CI ?  
(collaboration/intégration)
7. Quels sont les systèmes et solutions techniques les plus présent dans vos projets en CI ? (stratégies et combinaisons techniques fréquemment utilisées)

### Question thématique : Processus de travail traditionnel et PCI

8. Quels sont les impacts, les barrières, du PCI/PCT et du PCT/PCI ?
9. Comment le processus d'appel d'offre est réalisé lors d'une CI? Et quelles en sont les difficultés?
10. Comment s'effectuent les relations contractuelles : type de contrat, paiement des honoraires, partage des bénéfices?

### Question thématique : Processus du PCI

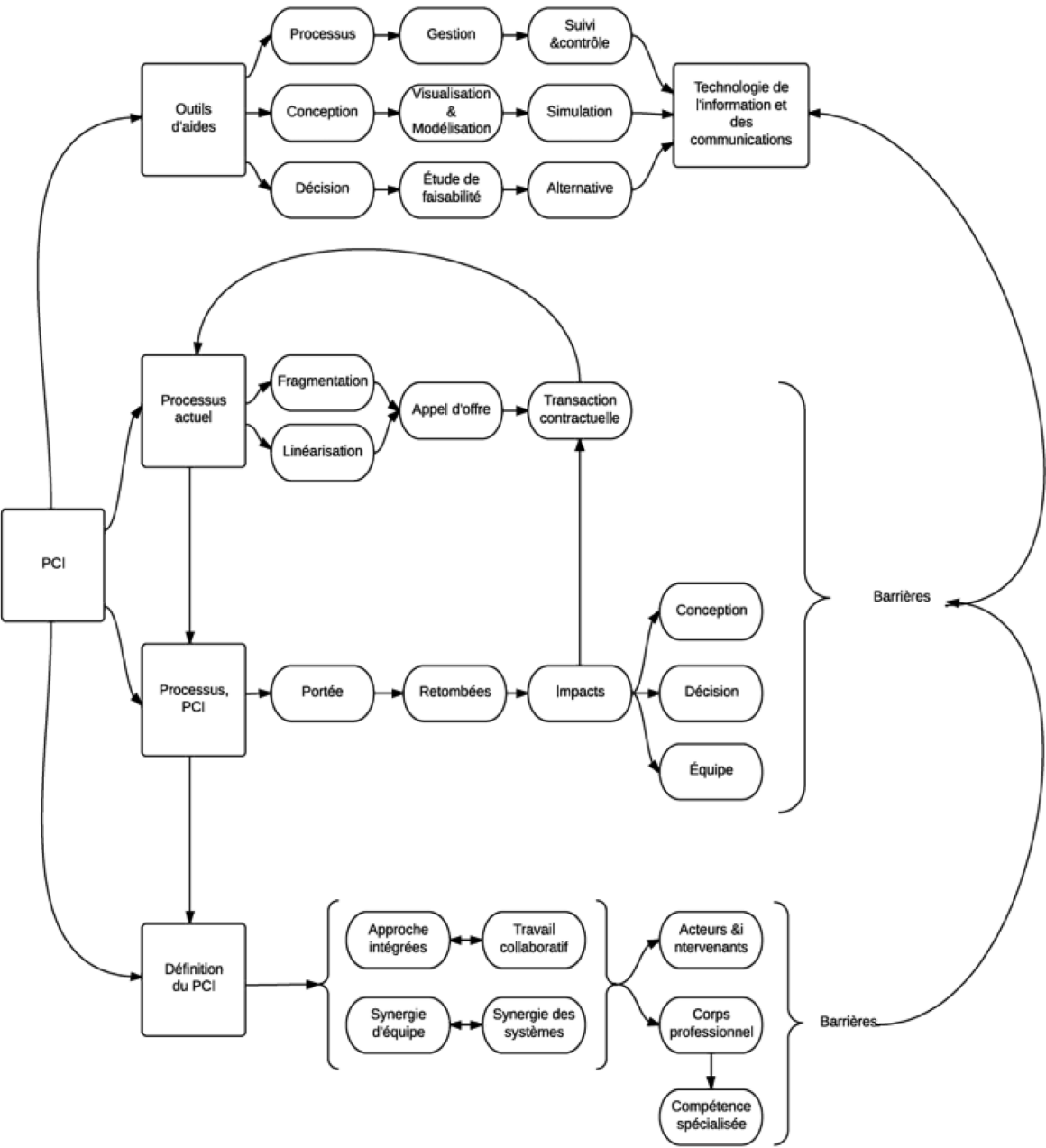
11. À quel moment le processus de CI commence et s'arrête?
12. Donnez-moi un exemple de projet en conception intégrée réussi?  
« *qui ?* », « *où ?* », « *quand ?* », « *quoi ?* », « *comment* » ? et « *pourquoi ?* »
  - a. Quels ont été les facteurs ou les éléments clés de cette réussite ?
  - b. Quelles ont été les retombées du projet (budget, l'échéancier, valeur)?

13. Donnez-moi un exemple d'un projet en conception intégrée moins bien réussi (ou d'un échec)?  
*« qui ? », « où ? », « quand ? », « quoi ? », « comment » ? et « pourquoi ? »*
- Quels sont les plus grandes difficultés rencontrées dans ce projet?
  - Selon vous, qu'est-ce qui aurait pu être amélioré?
14. Typiquement, comment est conduit le PCI dans vos projets?
- (structure et acteurs du PCI)
  - Quelles sont les expertises et compétences les plus fréquentes dans les équipes intégrées ?
15. Où sont les points de prise de décision clés ?
- Quels sont les moments critiques d'un projet de PCI où des décisions majeures sont prises?
16. Quelles sont les cibles de performances prioritaires dans vos projets ?
- Habituellement, les cibles sont-elles plus Environnementales ou Énergétiques?
  - Visez-vous le maximum de points LEED en fonction de leur coût?
  - Quels outils de mesure utilisez-vous (LEED ou autre)?

### **Question thématique : Outils d'aides**

17. Es-ce que les TIC ont contribué au succès de vos projets de CI? Si oui, lesquels et comment?
18. Quels sont les outils et technologies pertinents pour aider la conduite (suivi & contrôle) du PCI?
19. Quels sont les outils et technologies pertinents pour la conception des solutions?
20. Quels sont les outils et technologies pertinentes pour aider la prise de décision lors du processus?

« Carte conceptuelle »



## **ANNEXE II**

### **GUIDE DE CONCEPTION INTÉGRÉE (PCI) : L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ET RÉDUCTION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT**



# Processus de conception intégrée (PCI)

L'efficacité  
énergétique  
des bâtiments  
& Réduction  
des impacts sur  
l'environnement

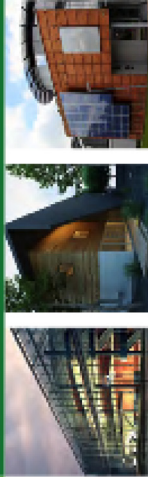


GRIDD  
CHAIR INDUSTRIELLE  
POWERLEAU

**CERACQ**

Centre d'expertise et de recherche  
pour l'écobâtiment au Québec

# REMERCIEMENTS



## CERACQ

Centre d'études et de recherches  
pour l'avancement de la construction au Québec

École de technologie supérieure

Département de la construction

1100, rue Notre-Dame Ouest | Montréal (Qc) H3C 1K3

Téléphone : (514) 608-1833 | Courriel : [info@ceracq.ca](mailto:info@ceracq.ca)

## GRIDD

Groupe de recherche en intégration  
et développement durable en milieu bâti

## CHAIRE INDUSTRIELLE POMERLEAU

**Daniel Forgues** | Professeur, Ph.D

**Jean-Philippe Dionne** | Ing. jr. Étudiant à la maîtrise

Département de génie de la construction

École de technologie supérieure | 1100, rue Notre-Dame Ouest | Montréal (Qc) H3C 1K3

Tél. : 514 396-8800, poste 8668 | Télécopieur : 514 396-8584 | Bureau A-1586 | [www.etsmtl.ca](http://www.etsmtl.ca)

L'ÉTS est une constituante du réseau de l'Université du Québec

[www.etsmtl.ca/Unites-de-recherche/gridd](http://www.etsmtl.ca/Unites-de-recherche/gridd)

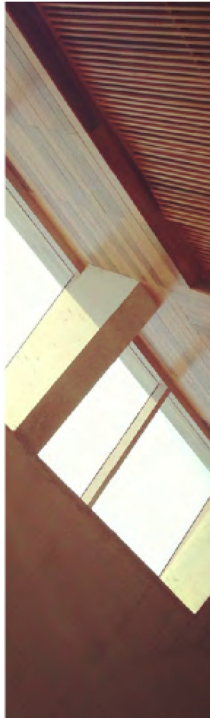
[info-gridd@etsmtl.ca](mailto:info-gridd@etsmtl.ca)

# TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	IV
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	V
<b>GRIDD &amp; CERACQ</b> .....	1
<b>SECTION 1 : Contexte de l'industrie de la construction</b> .....	2
<b>Approche traditionnelle et intégrée</b> .....	2
Contexte de la pratique actuelle.....	2
Pratique traditionnelle type (4) : .....	2
Relation contractuelle.....	3
Obstacles du processus traditionnel .....	3
Définition de la conception intégrée.....	4
Historique du processus de conception intégrée.....	5
Processus itératif.....	7
Approche intégrée versus traditionnelle .....	7
Conception intégrée : coopérative, collaborative et participative .....	8
Cycle de vie du bâtiment .....	9
<b>SECTION 2 : Processus de conception intégrée (PCI)</b> .....	10
<b>Les principes et les bénéfices du PCI</b> .....	10
Le levier du cycle de vie .....	10
Boucles de rétroaction.....	11
Évaluation (EPO) .....	11
Pratique de mesure et vérification (M&V) .....	12
Méthodes d'évaluation de bâtiment durable (MEBD) .....	13
MEBD & Certification .....	13
<b>La gestion du PCI : Planification et organisation</b> .....	14
Charrette de conception .....	14
L'organisation de charrette.....	14
Cibles de performance .....	14
1) Éléments de planification et d'organisation de charrette : .....	15
2) Éléments inclus dans la logistique : .....	15
3) Exemple de séquence des charrettes : .....	15

Formation de l'équipe .....	17
Rôles et responsabilités .....	18
Client : .....	18
Gestionnaire de projet et de charrette : .....	18
Professionnel accrédité (PA) LEED : .....	18
Facilitateur : .....	19
Champion (Optionnel) : .....	19
Professionnels : .....	19
Consultants-spécialistes (Experts) : .....	20
Constructeur et opérateur : .....	20
Résumé - Rôles et responsabilités : .....	21
<b>Le PCI et les Outils</b> .....	22
Outils de gestion et processus.....	22
<b>SECTION 3 : Outils et technologies de soutien</b> .....	23
<b>Collaboration-Modélisation-Simulation</b> .....	23
Outils collaboratifs .....	23
Technologies de l'information et de communication (TIC) .....	24
Logiciels de modélisation et de simulation.....	24
Contributions des outils à l'atteinte des objectifs de performance : .....	25
Critères de sélection des outils : .....	25
Exemples d'usage du BIM : .....	25
<b>Conditions fondamentales pour réussir un processus de conception intégrée (PCI)</b> .....	26
La compétence et la motivation .....	26
Confiance et respect .....	26
Conflits d'objectifs .....	26

# TABLE DES MATIÈRES



Le partage des informations .....	26
<b>Maturité et approches</b> .....	27
Niveaux de maturité 1 à 5 .....	27
Approches du PCI au Québec .....	30
Approche 1 (maturité 1) .....	31
Approche 2 (maturité 2) .....	31
Approche 3 (maturité 3) .....	31
Approche du PCI de Nils Larsson (maturité 4) .....	35
Approche du PCI inspirée de Busby et Reed (maturité 5) .....	39
<b>SECTION 5 : Matériel complémentaire :</b> .....	44
Conception intégrée - Charrette & Processus .....	44
Phase exploratoire- Préparation et évaluation des alternatives .....	45
Phase de conception - Optimisations des alternatives .....	45
Mode d'approvisionnement en conception intégrée .....	45
Les 7 Jalons proposés - Charrette & Processus .....	47
Phase exploratoire- Préparation et évaluation des alternatives .....	47
Jalon 1 - Recherche et analyse préparatoire .....	47
Jalon 2 - Charrette préparatoire et d'évaluation .....	47
Jalon 3 - Charrette 1 (Visioning) : Établir et aligner les cibles et objectifs de performance .....	50
Jalon 4 - Charrette 2 : Développement des options .....	51
Phase de conception - Optimisations des alternatives .....	52
Jalon 5 - Charrette 3 : Développement des concepts schématiques .....	52
Jalon 6 - Charrette 4 : Développement de la conception et de la documentation .....	53
Jalon 7 - Charrette 5 : Rétroaction et leçons apprises .....	56
<b>CONCLUSION/RÉSUMÉ : FACTEURS CRITIQUES ET DE SUCCÈS</b> .....	57
Bibliographie .....	58

LISTE  
DES  
TABLEAUX

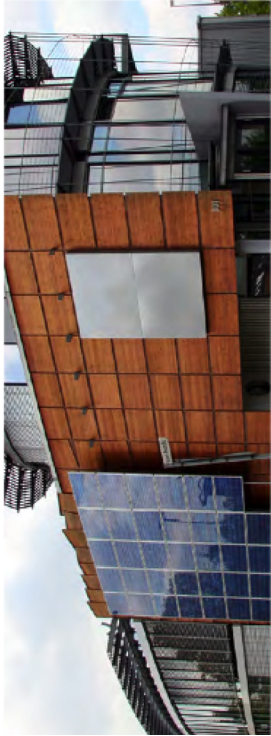


Tableau 1 : Caractéristique du PCI et du processus traditionnel  
inspiré de Busby (3) ..... 7

Tableau 2 : Distinction entre les différentes situations de conception  
inspiré de Ben Rajeb (19) ..... 8

Tableau 3 : Exemple de feuille de route de charrette (28) ..... 16

Tableau 4 : Fonctionnalités et logiciels (33) ..... 24

Tableau 5 : Les 5 niveaux référentiel interne de maturité en PCI inspiré du  
modèle de Louis-René Champoux ..... 28

Tableau 6 : Cadres d’approvisionnement (39) ..... 46

Tableau 7 : Facteurs critiques et de succès, principes et stratégies ..... 57



# LISTE DES FIGURES



Figure 1 : Processus itératif inspiré de Task 23 (16) .....	4
Figure 2 : Répartition des coûts de construction (21) .....	9
Figure 3 : Impacts (effort/effet) des décisions prises en fonction du cycle de vie (25) .....	10
Figure 4 : Boucles de rétroactions conventionnelles et globales (4) .....	11
Figure 5 : Exemple: Exercice "Touchstones" (4) .....	15
Figure 6 : Formation et interaction d'une équipe intégrée à travers un PCI (16) .....	17
Figure 7 : Partage de contenu d'un Tableau interactif .....	23
Figure 8 : Maturité en fonction du temps et du niveau de processus .....	27
Figure 9 : Description sommaire de la maturité en fonction du temps et du niveau de processus .....	29
Figure 10 : Diagramme du PCI au Québec inspiré des recherches de l'auteur .....	30
Figure 11 : Approche 1 du PCI au Québec inspiré des recherches de l'auteur .....	32
Figure 12 : Approche 2 du PCI au Québec inspiré des recherches de l'auteur .....	33
Figure 13 : Approche 3 du PCI au Québec inspiré des recherches de l'auteur .....	34
Figure 14 : Diagramme du PCI inspiré par Larsson (38) .....	35
Figure 15 : Approche du PCI inspirée par Larsson 1/3 .....	36
Figure 16 : Approche du PCI inspirée par Larsson 2/3 .....	37
Figure 17 : Approche du PCI inspirée par Larsson 3/3 .....	38
Figure 18 : Modèle d'apprentissage divergent-convergent (3) .....	39
<b>Figure 19 : Extrait d'un plan de travail du projet : Villages of Loreto Bay (Time Line and Scope Matrix) .....</b>	<b>40</b>
Figure 20 : Diagramme du PCI inspiré par Busby et Reed (3, 4) .....	40
Figure 21 : Approche du PCI inspiré par Busby et Reed 1/3 (3, 4) .....	41
Figure 22 : Approche du PCI inspiré par Busby et Reed 2/3 (3, 4) .....	42
Figure 23 : Approche du PCI inspiré par Busby et Reed 3/3 (3, 4) .....	43
Figure 24 : Arrangements contractuels-Imprévisibilité .....	46
Figure 25 : Modèle de la conception inspirée de Darses 97 (32) .....	52
Figure 26 : Processus au début de la conception de l'analyse énergétique (46) .....	55



MONSIEUR  
YVES FORTÉ, INC.

Le Centre d'études et de recherche pour l'avancement de la construction au Québec (CERACQ) s'est donné comme mission de faire avancer les façons de faire dans l'industrie de la construction et du bâtiment par la recherche de bonnes pratiques ici ou à l'étranger.

Ce *Guide de conception intégrée* est un exemple typique du type de projets que le CERACQ accepte de financer en vue de diffuser ensuite l'information recueillie au plus grand nombre. L'information contenue dans ce guide a été recueillie pour aider notre industrie et tous ses intervenants en leur permettant de se comparer ou d'avancer dans leur démarche. Le CERACQ ne s'implique que dans des dossiers qui peuvent ainsi aider notre industrie à progresser dans un environnement québécois, canadien mais aussi mondial de plus en plus compétitif.

Le CERACQ est un organisme à but non lucratif, administré par un conseil d'administration composé de membres individuels représentatifs de l'ensemble de l'industrie du bâtiment. Fondé en 1987, il gère un fonds de près de 1 million de dollars, constitué à la création de l'organisation par une vaste campagne de financement menée auprès de divers partenaires de l'industrie de la construction et du bâtiment. Une saine gestion de cet actif, et des placements diversifiés, garantissent la préservation du capital. Seule une partie des intérêts générés chaque année est réinvestie

dans des projets soumis à l'analyse de l'ensemble du conseil d'administration, votés et jugés après à faire avancer notre industrie. Un droit de diffusion des résultats des études et projets menés est toujours exigé.

Le CERACQ n'aurait pu réussir tout le chemin parcouru sans la complicité et le savoir-faire de plusieurs partenaires qui nous ont accompagnés dans notre démarche.

Dans le présent dossier, et dans plusieurs autres réalisés au cours des dix dernières années, le professeur Daniel Forques a été la bougie d'allumage qui nous a aidés à identifier les préoccupations de notre industrie. Ce *Guide de conception intégrée* de ce que nous pouvons réaliser et de ce qui nous motive à continuer notre mission.

Merci au MITAC qui a également soutenu ce projet et permis sa réalisation.

Bonne lecture mais surtout bonne utilisation; c'est la raison d'être du CERACQ

Yves Forté, ing.,  
Président

# Introduction : Guide de PCI

## GRIDD & CERACQ

La société demande de plus en plus à l'industrie de construire dans une perspective de durabilité (5-7). Ainsi, un virage important doit être orchestré dans la façon de concevoir et de construire des bâtiments éco-énergétiques (8). À ce propos, l'adoption de la conception intégrée (CI) est une voie reconnue dans l'évolution des pratiques de l'industrie de la construction ainsi qu'une bonne opportunité de mieux intégrer les aspects environnementaux et énergétiques (5). Cependant il n'existe pas, à proprement dit, de normes ou de guides de la pratique concernant la CI au Québec. C'est pourquoi le Centre d'Études et de Recherches pour l'Avancement de la Construction au Québec (CERACQ) a contribué à travers une bourse MITACS au financement de ce guide de conception intégrée en partenariat avec le Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable (GRIDD). L'objectif de ce guide de CI est de faciliter la transition des pratiques de la construction vers une approche de conception centrée sur la réduction de l'empreinte écologique du cadre bâti. Le guide contient cinq sections qui décrivent les pratiques de conception intégrée (CI), leurs applications et bénéfices, ainsi que leur modalité d'application dans l'industrie québécoise.

- 1) La première section traite du contexte québécois et donne un portrait global des pratiques traditionnelles et ses problématiques reliées à la complexité de l'industrie, notamment le processus linéaire et fragmenté de conception qui conduit à des solutions sous-optimales. L'objectif de cette section est de présenter les différences entre la conception conventionnelle et celle du PCI.

- 2) La deuxième section traite des principes et des bénéfices du processus de conception intégrée (PCI) afin d'assurer sa conduite et d'optimiser ses retombées. Cette section présente la justification du PCI en démontrant ses principaux apports.
- 3) La troisième section présente la contribution des outils et des technologies ainsi que leurs implications dans un PCI. À cet effet, cette section présente un survol des outils collaboratifs, des outils technologiques et ceux des technologies de l'information et de la communication (TIC).
- 4) La quatrième section traite des approches de conception intégrée (PCI) dérivées des rares guides développés par l'industrie et adaptés au contexte québécois. Elles ont été élaborées à partir de recherches, d'entrevues semi-dirigées et d'une recension des écrits sur le sujet. Elles permettent d'établir les paramètres indispensables à la conduite d'un projet en CI et fournissent des arguments pour en justifier l'adoption. Cette section présente certaines approches du PCI, basées sur les meilleures pratiques et la maturité de l'industrie face au processus.
- 5) La dernière section contient du matériel supplémentaire en appui au guide pour faciliter la conduite du processus, son application et son intégration. Elle représente enfin une feuille de route simplifiée.

## SECTION 1 : Contexte de l'industrie de la construction

### Approche traditionnelle et intégrée Contexte de la pratique actuelle

L'industrie de la construction fait face à un défi de taille, tant dans la méthode de réalisation de projet que dans les relations entre les intervenants et acteurs afin de répondre au concept de développement durable (5-7). Cette industrie est l'une des plus polluantes. En effet, le cycle de vie d'un bâtiment, de la conception à la mise en opération, représente au Canada près de 30 % de la consommation d'énergie, 38 % des émissions de gaz à effet de serre et 40 % des sources de déchets à travers le monde (9). Ainsi, les besoins de conception de bâtiment écologique sont de plus en plus criants. Un virage important doit être établi, afin de tendre vers la durabilité des projets.

Le problème avec les pratiques traditionnelles de coordination entre les architectes et les ingénieurs pour la conception est qu'elles ne sont pas adaptées à cette nouvelle réalité de penser le cadre bâti de façon holistique dans une perspective d'optimisation continue pour en réduire l'empreinte écologique. Ces pratiques ne mettent pas l'emphasis sur la collaboration et la multidisciplinarité des équipes de conception, principe essentiel dans un contexte de projet durable. En ce sens, le processus de conception traditionnel se concentre sur l'optimisation de la conception par discipline, ce qui réduit les opportunités de synergie dans le choix des assemblages et des systèmes. Sans ces réflexions, les professionnels créent des solutions conceptuelles considérées comme sous-optimales. C'est pour cette raison qu'on s'intéresse pour la réalisation des bâtiments durables à une nouvelle approche de conception adaptée à ce besoin d'optimisation continue, le processus de conception intégrée (PCI).

#### Pratique traditionnelle type (4) :

##### 1) Programme fonctionnel et technique (PFT) :

L'architecte ou autre spécialiste discute avec le propriétaire du programme de construction et détermine les espaces nécessaires, leurs superficies et leurs fonctions.

##### 2) Conception schématique :

L'architecte produit une série de croquis et d'esquisses jusqu'au moment où le propriétaire donne son approbation. L'architecte finalise la conception schématique.

##### 3) Développement de la conception :

Les dessins et le PFT sont envoyés aux ingénieurs des systèmes mécanique, électrique, plomberie et incendie; à l'ingénieur civil et structure, ainsi qu'à l'architecte paysagiste. Chaque discipline conçoit et optimise chacun de leur côté leur système selon les règles de l'art.

##### 4) Coordination des solutions conceptuelles :

L'architecte coordonne l'assemblage des solutions conceptuelles et s'assure que les composantes concordent de manière cohérente. Par exemple, l'architecte s'assure que les plans de tuyauterie, de conduits de ventilation et de structure ne se chevauchent pas et s'intègrent à l'ensemble de l'enveloppe.

##### 5) Documents de construction et appels d'offre :

Tout d'abord, l'architecte produit les plans et devis préliminaires. Par la suite, l'estimation des coûts est établie. Le montant estimé doit respecter le budget du client, et donc, les professionnels ont souvent recours à l'ingénierie de la valeur qui se traduit par la réduction d'éléments conceptuels attribués à la durabilité du projet. Lorsque le budget du client est respecté, l'architecte produit les documents de construction tels que les plans et devis pour soumission.

#### Empreinte écologique (1, 2) :

Selon l'économiste Williams E. REES : « L'empreinte écologique est la surface correspondante de terre productive et d'écosystèmes aquatiques nécessaires à produire les ressources utilisées et à assimiler les déchets produits pour une population définie, à un niveau de vie spécifique. » Autrement dit, c'est la mesure de la pression exercée par l'être humain sur la nature.

## Relation contractuelle

Pour créer un contexte favorable au PCI, il faut une certaine latitude dans les relations entre les intervenants et acteurs. Cette flexibilité est essentielle pour favoriser l'implication de ceux-ci afin de répondre aux problèmes de conception durable avec les contraintes de coût, de temps et de qualité. Cependant, les codes de déontologie professionnels qui régissent les pratiques, ainsi que les contrats normatifs utilisés au Québec pour la réalisation de projet, encouragent une conception linéaire et fragmentée, instaurant une rigidité dans les relations entre les parties prenantes. À cet effet, certains modes de réalisation sont plus favorables que d'autres à la collaboration et à l'innovation. Le mode de gérance de construction, le "design-build" ainsi que le clé-en-main favorisent l'apport en amont du constructeur et parfois des opérateurs autour de la table de conception. Ces modes de réalisation créent un environnement favorable à la collaboration entre les parties prenantes indispensables à la création de solutions optimales.

## Obstacles du processus traditionnel

Le but du PCI est de briser la principale barrière à la conception de bâtiments performants, soit une organisation de la conception et de la construction fragmentée et linéaire. Cette dernière amène les professionnels à travailler en silo et réduit les opportunités de synergie d'équipe entre les intervenants impliqués. La division du travail en lots par spécialité, empêche d'établir clairement les interrelations entre les assemblages et les systèmes, ce qui nuit à l'optimisation des solutions au niveau des systèmes et des composantes. Aussi, les frontières culturelles et organisationnelles qu'engendre cette formule ont tendance à réduire la communication et la collaboration entre l'ensemble des parties prenantes (10) et par le fait même, elles restreignent l'atteinte d'efficacité et d'innovation dans un processus de conception (11). La fragmentation est donc un obstacle à la synergie d'équipe, tandis que le travail séquentiel est plutôt un obstacle dans la synergie des systèmes.

D'ailleurs, ces facteurs se résument souvent à une diminution de la valeur attendue du bâtiment en termes de durabilité et de performance des mesures de conception sélectionnées (12). En effet, l'atteinte des objectifs de performance est généralement réduite (12), due en partie au partage limité des hypothèses et des décisions de conception entre les professionnels dans le processus de conception classique (3). Par ailleurs, non seulement la valeur du bâtiment est affectée, mais les besoins fonctionnels et techniques du client sont parfois négligés (4). Certains autres problèmes de l'approche traditionnelle sont reconnus, notamment ceux présentés dans l'encadré « Problèmes de l'approche séquentielle » ici-bas (13).

### Problèmes reconnus de l'approche séquentielle :

- Manque d'itérations dans le processus;
- Manque de considération des contraintes dans l'ensemble du cycle de vie du projet;
- Les frontières culturelles et organisationnelles;
- Travail en silo affectant la synergie entre les divers intervenants;
- Partage limité des hypothèses et des décisions de conception ;
- Adoption de mesures sous-optimales.



Définition de la conception intégrée

La conception intégrée est une approche remettant en cause le fondement même des pratiques traditionnelles de conception. Elle exige d'abandonner la pratique de coordination des lots de travail de chacune des disciplines et de s'engager dans un processus de conception collaborative et multidisciplinaire. Le processus de conception n'est plus linéaire. Il utilise des boucles d'itérations axées sur l'analyse de problèmes et l'optimisation des solutions de conception (voir la figure 1) (12, 14). Ainsi, la conception intégrée s'appuie sur quatre principes : 1) la collaboration continue entre les intervenants (consultants et autres parties prenantes), 2) les itérations en amont, 3) l'innovation et 4) la prise de décisions orientées par des objectifs de performance. La définition formelle du PCI présentée dans l'encadré ici-bas est dérivée de celles proposées par IISBE (15), Busby (3) et Reed (4).

Définition du processus de conception intégrée :

Nous avons retenu cette définition dans le présent guide. « Le processus de conception intégrée (PCI) est une méthode pour réaliser des bâtiments de haute performance qui contribuent à un cadre bâti durable. Il s'agit d'un processus de collaboration qui couvre le cycle de vie complet (conception, construction, exploitation et occupation d'un bâtiment). Le PCI est conçu pour aider le client et autres intervenants à rencontrer plus efficacement et avec une meilleure efficacité leurs buts et objectifs fonctionnels, environnementaux et économiques clairement définis et innovants. Le PCI nécessite une équipe de conception multidisciplinaire qui comprend ou acquiert les compétences nécessaires pour résoudre tous les problèmes de conception découlant des objectifs. Le PCI résulte d'un ensemble synergique de stratégies de système de construction, agissant sur différentes thématiques (énergie, eau, matériaux, l'habitat humain et naturel), afin de réaliser des solutions intégrées et optimales. »

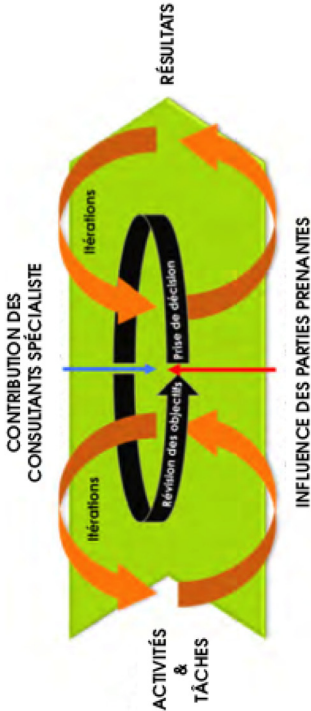


Figure 1 : Processus itératif inspiré de Task 23 (16)

**Itération :** « La conception est développée progressivement, permettant à l'équipe de profiter de ce qui a été appris au cours de versions antérieures de la conception. À chaque itération, des modifications sont apportées, de nouveaux aspects sont ajoutés et l'équipe évalue les progrès accomplis par rapport à leur vision et leurs objectifs (17) »

« Seules la synergie et la collaboration entre les professionnels permettent de créer des systèmes qui se soutiennent entre eux et d'optimiser les mesures sélectionnées (9) »

## GUIDES DE PCI :

- Sustainability Solutions Group. « Integrated design process facilitation resource guide », p. 78.  
<http://www.sustainabilisolutions.ca/sites/default/files/SSG%20IDP%20Facilitation%20Resource%20Guide.pdf>
- Relations, British Columbia Buildings Corporation Ministry of Finance and Corporate. 2001. Guide to Value Analysis and the Integrated Green Design Process. British Columbia Buildings Corporation Ministry of Finance and Corporate Relations, 34 p.  
[http://www.tbooke.com/sustain\\_casestudies/RAIC\\_201/Support/6-1.pdf](http://www.tbooke.com/sustain_casestudies/RAIC_201/Support/6-1.pdf)
- Zimmerman, Alex. 2006. Guide sur le processus de conception intégrée. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 18 p.  
[http://192.197.69.107/prin/coco/toenha/peinar/upload/Integrated\\_Design\\_GuideFRE.pdf](http://192.197.69.107/prin/coco/toenha/peinar/upload/Integrated_Design_GuideFRE.pdf)
- Löhnert, Günter, Andreas Dalkowski et Werner Sutter. 2003. « Integrated Design Process, A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design ». In Task 23. IEA : Berlin / Zug, 62 p.  
[http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide\\_internal.pdf](http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_internal.pdf)

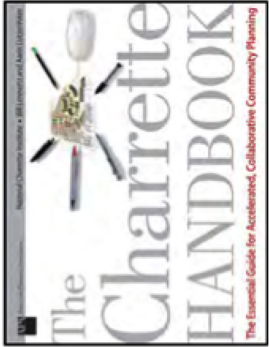
## Historique du processus de conception intégrée

Le concept de PCI a été introduit au début des années 1990 dans le cadre du programme C-2000 de Ressources naturelles du Canada pour soutenir la conception de bâtiments commerciaux éco-énergétiques (11). L'existence du programme était une réduction de la consommation énergétique de 50% par rapport au code modèle national du bâtiment du Canada. Pour ce faire, l'accès à la subvention était conditionnel au respect d'une nouvelle organisation de la conception exigée par le programme et qualifiée de PCI. Le cœur du PCI était la conduite de charrettes de conception. C'est aussi dans ce contexte qu'a été introduit le rôle de facilitateur pour agir comme animateur dans le cadre de ces ateliers multidisciplinaires. Cependant, l'impact du programme a été malheureusement très limité, avec moins de 20 projets réalisés. La procédure gouvernant le PCI a toutefois été récupérée par le International Initiative for a Sustainable Built (ISBE) et intégré à l'outil d'étalement SBTools (voir Approche du processus de conception intégrée de Nils Larsson p.35). Elle a aussi été adoptée par Travaux Publics et Services Gouvernementaux Canada. C'est le Conseil du bâtiment durable (CBD) qui a popularisé avec sa norme LEED l'idée de la conception intégrée<sup>1</sup>. Malheureusement, le concept n'était pas expliqué dans la norme. Le chapitre Cascadia du CBD a été un pionnier dans la production de guides pour décrire comment réaliser une conception intégrée, en supportant la production de trois documents clés. Le premier décrivant les principes de la CI de R.Cole, le second proposant différentes étapes (voir : Approche du processus de conception intégrée inspiré de Busby et Reed p.39) et le troisième portant sur le processus de facilitation durant les charrettes de L.Cole : « Integrated Design Process Facilitation Resource Guide » (17).

<sup>1</sup> La conception intégrée (CI) est à distinguer du PCI proposé par Larsson dans C2000 et SBTools.

**GUIDES DE PCI (Suite) :**

- Larsson, Nils. 2004. « The integrated design process (ISBE) », p. 7.  
[http://ilisbe.org/download/gbc2005/Other\\_presentations/IDP\\_overview.pdf](http://ilisbe.org/download/gbc2005/Other_presentations/IDP_overview.pdf)
- Busby, Perkins et Will. 2007. Roadmap for the Integrated design process Bc green building Roundtable Vancouver., 87 p.  
<http://www.greenspacencr.org/events/IDProadmap.pdf>
- Whole System Integration Process (WSIP), 2007. Institute for market transformation to sustainability, 18 p.  
<http://www.delvingdeeper.org/pdfs/wsip.pdf>
- Manitoba Green Building Program: Building for a Greener Future, 2013. Manitoba Government, 84 p.  
<http://www.gov.mb.ca/mit/greenbuilding/pdf/gbpmanual.pdf>



Lennertz, Bill, et Arin Lutzenhiser. 2006.  
The Charrette Handbook. 188 p.



Boecker, John, Scot Horst, Tom Keiter, Andrew Lau, Marcus Sheffer, Brian Toevs et Bill Reed. 2009. The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 397 p.

Processus itératif

Le processus itératif vise à s'assurer que les décisions prises reflètent les connaissances collectives de l'équipe, que les interactions entre les différents éléments et systèmes sont prises en compte dans une vision holistique (globale) du bâtiment, et que les solutions passent par les étapes nécessaires à l'optimisation de celles-ci (17). Comme le montre la figure 1 à la page 4, les itérations sont représentées par des boucles continues. Tout d'abord, il y a une première itération réalisée pour aligner les objectifs préétablis avec les problèmes spécifiques à résoudre (énergie, eau, matériaux, habitat). Par la suite, les parties prenantes et les consultants-spécialistes interviennent et contribuent aux idées conceptuelles en fonction de leurs expertises et connaissances. À ce stade, les intervenants et les acteurs sont en mode de résolution de problèmes et explorent les possibilités. Finalement, une dernière itération s'effectue lors de la prise de décision. Ce processus itératif continu est répétitif durant toute la phase de conception.

Approche intégrée versus traditionnelle

Selon les informations présentées dans le tableau 1, on constate que le processus de conception intégrée (PCI) et le processus de conception traditionnel (PCT) sont très différents l'un de l'autre. La distinction entre les deux processus se situe au niveau de l'optimisation des solutions de conception, d'une part afin de réduire l'inefficacité des bâtiments tant dans la réalisation que dans les opérations et d'autre part, afin d'améliorer la qualité de vie des occupants. La majorité des décisions influenceront la performance et le bien-être des occupants se prennent au début de la conception. Dès lors, il est dès lors essentiel que les acteurs-clés dans la planification et la construction du projet soient parties prenantes dès le début de ce processus. Ceci implique la participation de l'ensemble de l'équipe et des parties prenantes dès le début du processus de conception. En plus du PCT qui vise généralement l'atteinte de solutions fonctionnelles selon un budget fixe, le PCI cherche en plus l'optimisation des solutions par l'atteinte d'une synergie d'équipe et des systèmes. Pour y

parvenir, l'équipe de conception doit considérer et comprendre l'interrelation des systèmes de manière globale et non isolée. La compréhension des systèmes et de leurs effets croisés (interrelations) est favorisée et facilitée par la participation d'un grand nombre d'intervenants et de quelques consultants-spécialistes lors d'ateliers de travail itératif (ateliers thématiques ou charrettes). Le PCI se caractérise par la résolution de problèmes de conception en amont afin d'obtenir une conception optimale considérant le cycle de vie complet du bâtiment à l'opposé du PCT qui se définit simplement par la conception fonctionnelle.

Tableau 1 : Caractéristiques du PCI et du processus traditionnel inspiré de Busby (3)

Processus de conception intégrée (PCI)	Processus de conception traditionnelle (PCT)
Participation de l'ensemble de l'équipe dès le début.	Participation seulement des membres essentiels (déterminés).
Le temps et l'énergie investis tôt en amont de la conception.	Minimum de temps et d'énergie en amont de la conception. Peu de collaboration.
Prise de décision influencée par un grand nombre d'intervenants (acteurs).	Un grand nombre de décisions prises par peu d'intervenants (acteurs).
Processus itératif.	Processus linéaire.
Considérer les systèmes comme un ensemble.	Considérer les systèmes isolément.
Permet l'atteinte de solutions optimales.	Permet l'atteinte de solutions fonctionnelles.
Cherche la synergie (équipe, systèmes).	Possibilité de synergies quand inexistante.
Considère le coût global du cycle de vie.	L'accent sur les coûts initiaux sans considérer les coûts d'opération.
Processus continu. Intervient jusqu'à la post-occupation.	Processus terminé lors de la construction.

Conception Intégrée : coopérative, collaborative et participative

Une première caractéristique du processus de conception intégrée (PCI) est l'implication en amont d'un cercle plus large d'experts et d'intervenants de domaines variés tels que : simulation énergétique, gestion des eaux, décontamination des sols, réglementation, aménagement urbain, écologie, etc.. Une seconde caractéristique est la participation de l'ensemble de ces intervenants avec les représentants des futurs occupants dans le but de réaliser des synergies dans la recherche de solutions innovantes. La conduite de travail d'équipe doit donc tenir compte de plusieurs parties prenantes ayant une culture, des compétences et une expertise multiples (14). Ainsi, à travers un PCI, les membres de l'équipe de conception sont amenés à travailler sous différentes structures telles que celles présentées dans le tableau 2. Lors du processus de conception, les acteurs et intervenants devront travailler dans des contextes différents (collaboratif, coopératif et participatif) durant les charrettes définies dans la section 2. **Le travail participatif** facilite l'obtention d'un consensus et la validation des choix conceptuels avec toutes les parties prenantes du projet, tandis que **le travail collaboratif** se restreint à l'équipe de conception intégrée afin d'effectuer et la résolution des problèmes et la prise de décision. Pour ce faire, entre chaque prise de décision, **le travail coopératif** prend place afin de partager chaque solution proposée par l'équipe. Ceci se fait habituellement en sous-groupes dans des ateliers thématiques ou individuellement selon les disciplines attribuées pour travailler sur les aspects spécifiques tel que : l'efficacité énergétique, la gestion des eaux, l'urbanisme et la réglementation du site, etc. Contrairement à la collaboration, la coopération représente une conception distribuée

et une mise en commun à l'aide d'un facilitateur. Par contre, **le travail coopératif** dans le processus itératif revient toujours sous une base collaborative pour la mise en commun et la prise de décision finale. Comme le montre le tableau 2, le processus traditionnel linéaire attribue à une seule personne la responsabilité de la conception. Autrement dit, il s'agit de coordination tout simplement.

La coordination en PCT/PCI :

« Parfois certains professionnels pensent faire de la conception intégrée, mais ils n'en font pas réellement car ils restent la plupart du temps dans les processus de coordination. Ainsi, chaque professionnel réalise leur travail individuellement. Dans ces cas, c'était plus de la coordination que de la conception intégrée ce qui s'attribue beaucoup plus aux pratiques traditionnelles. » Jacques Lagacé

Tableau 2 : Distinctions entre les différentes situations de conception inspirée de Ben Rajeb (19)

Acteur(s)	Concevoir seul (en silo) Processus linéaire (traditionnel PCT)		Concevoir ensemble Processus intégré (conception intégrée, PCI)		
	Conception	C. Collaborative (Co-conception)	C. Coopérative (Conception distribuée)	C. Participative	
Fonction (officielle)	Architecte	Architectes, Ingénieurs, Spécialiste	Architectes, Ingénieurs, Spécialiste	Architectes, Ingénieurs, Spécialiste, Utilisateurs	
Rôle (acteur de la conception)	Le concepteur	Un groupe de concepteur (s)	Plusieurs concepteurs (s), Un coordinateur	Le Concepteur (L'ensemble)	
Validation (choix de la conception)	Le concepteur	Un groupe de concepteur (s)	Le coordinateur	Consensus (L'ensemble)	

## Cycle de vie du bâtiment

Lors de l'établissement des stratégies de conception, les clients omettent souvent les coûts d'opération et de maintenance dans leur prise de décision. Pourtant, la répartition des coûts du bâtiment sur son cycle de vie (figure 2) démontre clairement l'impact de ceux-ci et l'importance de considérer ces coûts très tôt dans la prise de décision. Les études préliminaires, la conception ainsi que la construction représentent respectivement seulement 3%, 2% et 5 % du coût global, tandis que le coût d'opération, d'entretien et maintenance représente environ 75 % de ces coûts.(14) Alors, investir en amont pour réduire les coûts d'opération, d'entretien et de maintenance d'un bâtiment devient très intéressant pour un client. La difficulté est que les budgets de construction et de gestion de l'équipement sont habituellement séparés, ce qui réduit l'opportunité d'introduire des systèmes plus performants mais plus coûteux. Pourtant, concevoir un projet avec une vision globale implique l'intégration des phases de construction et d'opération dans les réflexions et les prises de décision. D'ailleurs, considérer l'évaluation de cycle de vie et l'analyse du coût global permet de générer un levier considérable sur la rentabilité en capital des solutions, le retour sur l'investissement (RI) ou le délai de récupération actualisé (DRA). À cette fin, les éléments typiques du PCI soutiennent le RI.

### Évaluation du cycle de vie :

« Une compilation et une évaluation des intrants et extrants, ainsi que des impacts potentiels sur l'environnement d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (Norme internationale : Référence no ISO 14040 : 1997(F))

« L'évaluation du coût global est une méthode qui a été développée en réaction aux méthodes de comptabilité traditionnelles. Elle permet un calcul plus exact des coûts de production et permet de rendre les coûts environnementaux plus explicites et visibles. (20)

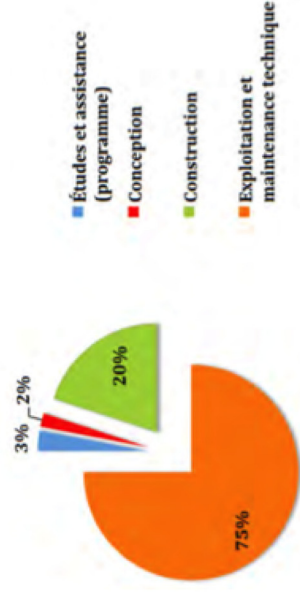


Figure 2 : Répartition des coûts de construction (21)

### Analyse du coût global :

Méthode d'analyse économique qui ramène en valeur actuelle la somme des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance sur une période déterminée dans le but d'optimiser le retour sur l'investissement (RI) ou le délai de récupération actualisé (DRA) selon les objectifs du client (22, 23).

### Éléments typiques du PCI :

- Les objectifs de performance et les stratégies;
- La réduction des charges de chauffage et de climatisation;
- L'optimisation à l'aide de simulation de la performance via la synergie des systèmes, et par l'utilisation d'énergie renouvelable ou de solutions passives;
- L'itération entre alternatives pour obtenir le meilleur développement conceptuel;
- Évaluation du cycle de vie et analyse du coût global.

## SECTION 2 : Processus de conception intégrée (PCI)

### Les principes et les bénéfices du PCI

#### Le levier du cycle de vie

L'important levier que procure le cycle de vie s'explique par les impacts de la relation effort/effet selon les phases du projet. Ceci est bien illustré à la figure 3 qui montre les caractéristiques attribuées à la réalisation de projet de construction. Ces caractéristiques sont : la capacité de l'équipe à influencer les coûts et les éléments fonctionnels, (courbe 1) ainsi que les coûts de modifications de conception (courbe 2). Dans le mode traditionnel, les efforts et les ressources sont majoritairement consommés lors de la production de la documentation de construction (courbe 3). L'effort investi en amont pour définir la solution en amont est nettement insuffisant. Les décisions se prennent donc sur des hypothèses fréquemment erronées, entraînant une série d'actions correctives durant tout le projet (24). Par conséquent, ceci affecte la prise de décision à cause du manque d'information en amont. Contrairement au processus de conception traditionnel (PCT), la conception intégrée concentre les efforts plus tôt dans le processus (courbe 4). D'ailleurs, c'est en amont de la conception que l'équipe a le plus d'influence afin de créer la meilleure valeur. Ainsi, l'avantage du processus de conception intégrée, comparativement au processus traditionnel, est qu'il permet de proposer des solutions complètes et ce en début de projet pour la prise de décision tôt dans le processus, (courbe 1) ainsi que d'optimiser la solution en amont à moindre coût (courbe 2). Dès lors dans le PCI, lorsque l'équipe de conception entame les documents de construction (DC), la conception devrait être optimale, réaliste et finale (4).

« 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 initiale, correction de leurs concepts élaborés sur de mauvaises décisions initiales, comme c'est le cas avec le processus de conception traditionnelle linéaire (1). »

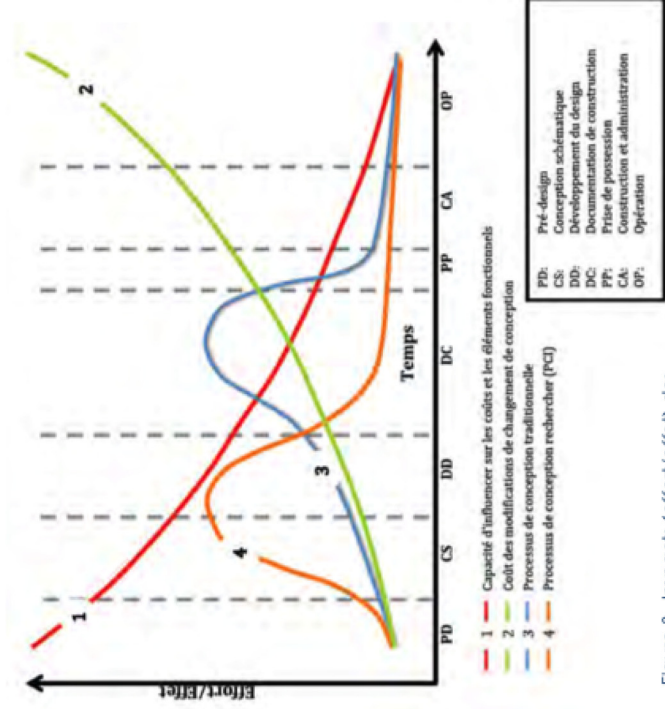


Figure 3 : Impacts (effort/effet) des décisions prises en fonction du cycle de vie (25)

## Boucles de rétroaction

Tout au long du cycle de vie du bâtiment, les itérations sont complétées par plusieurs boucles de rétroactions pour assurer la validité des solutions proposées et ajuster les paramètres du projet au besoin. Le processus de conception intégrée est évolutif et peut bénéficier des boucles de rétroactions qui visent à amplifier les aspects positifs ou d'atténuer les aspects négatifs des solutions conceptuelles. La rétroaction en conception traditionnelle se limite souvent aux points de contrôle imposés par le client pour l'approbation des livrables et l'autorisation des paiements, tandis qu'en conception intégrée elle vise à questionner l'adéquation des solutions par rapport aux objectifs dans le but de stimuler la recherche continue d'optimisation des solutions (4). Une autre perspective de la rétroaction est celle de l'évaluation post-occupation comme le montre la figure 6, l'évaluation post-occupation (EPO) prend en considération les occupants afin de mieux comprendre comment les systèmes conçus performant. Ainsi l'EPO, nous informe sur l'impact de la conception sur la performance des opérations, du maintien et de l'entretien du parc immobilier ainsi que sur la qualité de vie des occupants. Elle est une voie de rétroaction que les clients-propriétaires peuvent utiliser pour l'optimisation continue du processus de conception, de la performance et de la durabilité des projets. Autrement dit, ces mécanismes de rétroactions permettent de rendre le processus décisionnel plus agile et plus performant ainsi que de réduire le gaspillage causé par des décisions tardives, ce qui nous permet d'aborder les futurs efforts de conception plus systématiquement et intentionnellement (4).

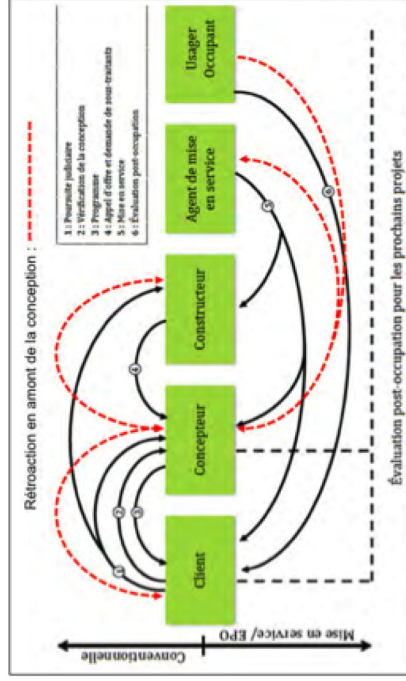


Figure 4 : Boucles de rétroactions conventionnelles et globales (4)

## Évaluation (EPO)

L'évaluation post-occupation permet une rétroaction globale sur l'interrelation des systèmes et des méthodes de construction et d'opération basée sur la performance réelle mesurée en cours d'opération (voir figure 6). L'EPO consiste à recueillir des informations sur la manière dont les systèmes se comportent et comment les occupants interagissent avec les caractéristiques du bâtiment : condition intérieure, espace, matériaux et assemblages. Dans la pratique, seule la performance est mesurée en examinant des facteurs tels que le coût relié à la consommation d'énergie et de maintenance (« mise en service » et « mise en service améliorée »). Cependant, certaines organisations utilisent aussi l'EPO pour mesurer la satisfaction des occupants. Elle est un ingrédient essentiel dans une stratégie d'amélioration continue du processus et des méthodes de conception intégrées.

### Pratique de mesure et vérification (M&V)

Les professionnels en mesurage et vérification utilisent l'expression "monitoring" à cet effet (30). Le « monitoring » consiste en l'observation de l'usage de l'énergie pour les actions de prédiction, de budgétisation et de diagnostic : un mesurage de la consommation d'énergie et une analyse de son utilisation (30). Dans le plan de mesure et vérification (M&V) (4), on compare la consommation réelle avec celle planifiée pour établir la quantité d'énergie réellement économisée. Contrairement à la pratique de M&V qui nous informe sur un différentiel d'énergie consommée, l'évaluation post-occupation (EPO) informe les acteurs et les intervenants sur les impacts des stratégies utilisées en plus du différentiel d'énergie consommée (efficacité énergétique, ombrage, ensoleillement, radiation, vue, etc.) pour un niveau de confort ciblé. Ainsi, l'application de M&V comparée à l'EPO génère une minime partie de l'information que les concepteurs et autres intervenants doivent acquérir dans leur apprentissage pour mieux comprendre les implications de leur décision conceptuelle sur le bâtiment en opération. Pour appuyer l'EPO, le Center for Building Performance and Diagnostics aux États-Unis, en a déterminé les principes et les lignes directrices (voir encadré de droite).

### Documents sur le M&V pertinents (26) :

- PIMVP (Protocole international de Mesure et de Vérification de la Performance énergétique);
- Directive 14 de l'ASHRAE;
- Guide US DOE FEMP M&V;
- Guide California Energy Efficiency Evaluation Protocols : Technical, Methodological, and Reporting Requirements for Evaluation.

### Principes et lignes directrices de l'EPO (4) :

- 1) Aller au-delà des définitions du développement durable pour justifier la performance des matériaux et des assemblages;
- 2) Comprendre les coûts d'acquisition pour justifier la performance des composants et des systèmes de construction;
- 3) Économies de coûts de la gestion des installations;
- 4) Économies de coûts de la productivité individuelle;
- 5) Économies de coûts via le rapport coûts/bénéfices;
- 6) Réduction des coûts de la santé (travailleur, occupant, communauté);
- 7) Renouvellement de l'espace (bureau locatif) : économies de coûts des désabonnements;
- 8) Accès à l'environnement naturel : lumière naturelle et la ventilation naturelle;
- 9) Équipement à haute performance;
- 10) Intégration de systèmes innovants.



<sup>2</sup> Pour plus d'information sur le M&V voir les différents documents dans l'encadré ici-bas.

## Méthodes d'évaluation de bâtiment durable (MEBD)

Les MEBD sont plus que de simples outils d'évaluation écologique. Elles permettent aux intervenants d'établir des cibles de performance alignant les objectifs et les stratégies de conception avec les principes de développement durable. La méthode d'évaluation prédominante au Canada et au Québec est le système de certification Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (27). Ces systèmes d'évaluation, (en anglais « benchmarking »), définissent la performance environnementale des bâtiments à l'aide d'exigences référentielles et de listes de vérification. Les cibles de performance convenues par l'équipe de projet peuvent s'appuyer sur ces exigences et être vérifiées à l'aide des listes. Cependant, les exigences présentes dans les systèmes d'évaluation réfèrent souvent à des exigences réglementaires qui correspondent à une pratique minimale acceptable(27). Par exemple, dans la catégorie performance énergétique minimale de l'outil d'évaluation LEED, le code modèle national de l'énergie pour les bâtiments (CMNÉB) et les normes de l'American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (28) sont utilisés dans les voies optionnelles (option 1.2.3) à l'atteinte de performance. Par conséquent, le client et les professionnels sont tentés dans ces systèmes de rechercher d'abord les points les moins coûteux plutôt que les solutions optimales. À cet effet, les professionnels peuvent être tentés d'utiliser les listes de contrôle sans considérer les effets croisés entre les systèmes ce qui nuit à l'optimisation et à l'atteinte des résultats escomptés. Autrement dit, les équipes de conception élaborent des concepts non cohérents, ne contribuant plus à la durabilité du projet. Pour ces raisons, les professionnels qui ont fait de la construction durable leur spécialité préchent pour l'utilisation des systèmes d'évaluation comme de simples outils d'aide à la conception plutôt que comme cibles environnementales (17). Le risque attribué à ces systèmes basés principalement sur l'étalement réside dans la pratique qu'en font les professionnels.

## MEBD & Certification

En résumé, dans le cadre d'un PCI, les systèmes d'évaluation peuvent aider à guider le choix des cibles de performance dans un langage commun pour toutes les parties prenantes, mais utilisés comme liste de contrôle dès le début du projet, ils risquent de nuire au processus créatif car ils poussent à rechercher les solutions en fonction des éléments les moins coûteux de la liste et non de manière synergique. Il est préférable au début du projet de fixer des objectifs environnementaux ou de développement durable et utiliser la liste de contrôle LEED pour valider la pertinence des choix plus tard dans la conception(17). La valeur des MEBD réside dans la vérification que les cibles soient respectées dans le détail des solutions développées dans les documents de construction (plan et devis).

*« Sur tous les projets sur lesquels je travaille, je leur dis : "lâchez-moi la liste d'épicerie et parlez-moi de développement durable, parlez-moi de conception intégrée puis parlez-moi d'architecture, mais je ne veux pas voir de liste d'épicerie". La liste doit arriver tard dans le processus pour laisser place à la création et l'innovation dans un contexte de développement durable. Pensez développement durable (DD), pensez conception, et LEED va fonctionner s'il a fonctionner!" La liste des crédits LEED n'est qu'un rappel des choses à faire dans un bâtiment durable. »*

**Joël Courchesne**

### Bénéfices d'une pratique adéquate du PCI :

- Synergie d'équipe/ synergie des systèmes / création d'innovation;
- Amélioration de la performance et réalisation de solutions durables;
- Meilleures perspectives et alternatives;
- Meilleur ajustement au milieu;
- Atténuation des risques conceptuel;
- Évaluation du cycle de vie et analyse du coût global.

## La gestion du PCI : Planification et organisation

### Charrette de conception

Une charrette est une concentration des efforts créatifs d'acteurs et d'intervenants qui permet d'aborder et de résoudre des problèmes complexes de façon synergique à l'intérieur d'une session intensive de travail. Ainsi, la charrette de conception est une rencontre qui vise à réunir des synergies multidisciplinaires, telles les parties prenantes influentes, l'équipe de conception intégrée et les consultants-spécialistes pour résoudre ces problèmes. Les rencontres sont habituellement de quelques heures à quelques jours, très ciblées, et utilisent une approche collaborative pour créer des solutions innovantes. Pour ce faire, le facilitateur se sert d'une planification stratégique pour surmonter le risque de chaos dans un environnement complexe. De cette manière, les participants sont invités à parvenir efficacement à une entente de collaboration pour des objectifs précis, ainsi que des stratégies et des priorités particulières au projet. Le nombre de charrettes pour un projet peut varier de 3 à 7 et plus, tout dépendamment de la complexité du projet et du degré d'engagement au PCI.

### L'organisation de charrette

En guise d'introduction aux charrettes, le gestionnaire de projet, le facilitateur ou l'architecte convoque les membres de l'équipe de projet incluant les expertises requises pour établir les bases d'un programme de charrettes. L'élaboration d'un programme de charrettes est primordiale pour chercher l'efficacité du temps alloué en atelier et maximiser les contributions des participants selon la nature des charrettes. Ainsi, le succès d'une charrette exige une organisation et une logistique favorisant la collaboration et la participation de chaque intervenant invité. Chaque charrette doit être

soigneusement planifiée, les objectifs et résultats attendus prédéfinis, un agenda décrivant les activités, les intrants à produire et les responsabilités assignées partagé et endossé par les membres de l'équipe de conception intégrée. Il faut s'assurer que les bons intervenants et les bonnes informations soient disponibles et il faut s'assurer que chacune des séances rencontrent les objectifs et livrent les résultats attendus. Dans les encadrés à la page 13 sont présentés les aspects clés pour faire un bon programme de charrette. Le guide de facilitation de L. Cole fournit une description détaillée de la planification et la conduite des charrettes (17).

### Cibles de performance

Dans le meilleur des cas, les cibles correspondent aux objectifs à rencontrer par rapport aux grands ensembles du développement durable : économique, environnemental et social. L'élaboration des cibles se fait en début de projet lors de la phase exploratoire afin de générer les priorités, les valeurs fondamentales internes individuelles et collectives, les objectifs de performance de l'équipe en lien avec les exigences du client (Programme fonctionnel et technique). Le choix des cibles peut débiter avec le développement d'une vision commune, notamment à l'intérieur d'un atelier de « visioning ». L'équipe de projet dispose d'outils de développement de la vision, par exemple des ateliers techniques, des visites dans le quartier, des conférences, des présentations visuelles et des lectures (29). Dans le même ordre d'idée, le « The Touchstones Exercises » est l'un des exercices connus et utilisés pour établir les cibles de durabilité du projet (Voir figure 4). Cet exercice permet la réflexion sur les enjeux environnementaux autour des besoins fonctionnels et techniques énoncés dans le PFT avant même d'entamer la conception. Le visioning s'amorce avec le questionnement à travers un remue-méninge sur les valeurs de l'équipe en utilisant, par exemple, le prisme des cinq impératifs clés environnementaux soit : les changements climatiques, l'eau potable, la destruction des ressources, la destruction de l'habitat et la pollution, et les toxines (4).

...

...

Par ailleurs, comme il est mentionné dans la section des méthodes d'évaluation de bâtiment durable (MEBD), on peut choisir comme cible divers niveaux de performance dépendant de l'engagement du client et de l'équipe à rechercher les solutions les plus durables. Par exemple, 30 % d'économies d'énergie selon la réglementation de l'ASHRAE procure 10 points pour la certification LEED Canada nouvelle construction. Le cumulatif du pointage des cibles atteintes résulte d'un niveau de performance LEED (Performance LEED Canada 2009 : Certifié (40-49 pts.); Argent (50-59 pts.); Or (60-79 pts.); Platine (80 pts. et plus)).

EXERCICE DE "TOUCHSTONES"

Nom du projet:

	Éléments/enjeux (Valeur/Aspiration)	# de vote
1	L'efficacité de l'énergie et des ressources	56
2	Obtenir la certification LEED Platine	52
3	Établir des connexions catalyseurs pour la circulation des gens du quartier	44
4	Beau point de repère, de rencontre	43
5	Espace vert	40
6	Meilleure condition de vie pour les visiteurs/résidents/employés( Qualité de vie)	40
7	Facilité l'accès et la vie des piétons	38
8	Conception/participation/partenaireat inclusive pour la communauté	37
9	Lieu sûr et sécurisé	35
10	Le bâtiment comme un outil d'enseignement pour la durabilité	32
11	Inspirer le développement responsable	28
12	Esthétique visuel du paysage urbain	24
13	Production d'énergie renouvelable	1

Figure 5 : Exemple :Exercice "Touchstones" (4)

1) Éléments de planification et d'organisation de charrette :

- Établir les objectifs, les stratégies et les mesures (OSM);
- Analyser les parties prenantes potentielles et évaluer la complexité du projet;
- Établir un plan de contenu thématique (Liste des enjeux et liste des parties prenantes);
- Établir les règles de conduite des charrettes (règles de prise de décision);
- Établir une feuille de route avec un programme de charrettes incluant le nombre, la séquence ainsi que les agendas spécifiques.

2) Éléments inclus dans la logistique :

- Outils de support à la collaboration;
- Le matériel, l'espace de travail et la nourriture;
- Temps de repos, de réflexion et d'échanges entre les intervenants;
- Transport de l'équipe;
- Lieu de charrette stimulant favorisant la synergie et la créativité.

3) Exemple de séquence des charrettes :














Phase exploratoire - Préparation et évaluation des alternatives :

- Réunion de planification (Charrette de préparation et d'évaluation);
- Charrette 1 : Établir et aligner les cibles et objectifs de performance;
  - o Exercice de visioning
- Charrette 2 : Développement des concepts alternatifs.

Phase de conception et de construction - Optimisation des alternatives :

- Charrette 3 : Développement des concepts schématique;
- Charrette 4 : Développement de la conception et de la documentation;
- Charrette 5 : Rétroaction et les leçons apprises

Tableau 3 : Exemple de feuille de route de charrette (29)

Activité / Phase	Phase 1 : Recherche, Éducation, Charrette préparatoire						Phase 2 : Charrette 1, 2, 3, 4 et 5				
	Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5	Mois 6					
Rencontre de l'équipe de gestion de projet											
Sensibilisation des parties-prenantes											
Analyse et consolidation de l'information de projet											
Rencontre de démarrage de projet											
Entretiens avec les parties-prenantes											
Atelier technique											
Pré-charrette-préparation du projet											
Charrette											
Ajustement des stratégies et des concepts											
Rencontre publique – présentation du projet final											
Approbations du client et autres acteurs et intervenants											



Rencontre interne



Tâches permanentes

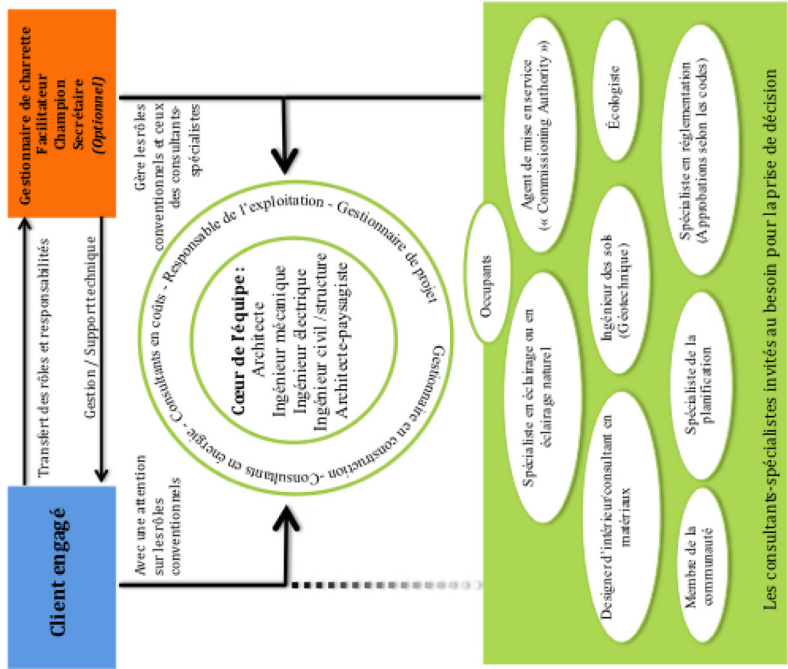


Rencontres publiques

Formation de l'équipe

La sélection d'une équipe intégrée dédiée à la conception de bâtiments à haute performance implique plusieurs particularités en ce qui concerne la structure de l'équipe, les compétences et les relations formelles ou informelles. Une exigence fondamentale est de former une équipe composée de membres ayant des compétences et des expertises selon les enjeux et les cibles du projet. Dans le meilleur des cas, les membres potentiels de l'équipe devraient également être sélectionnés en fonction de leur volonté, leur intérêt, leur engagement ainsi que leur complémentarité. Par ailleurs, l'engagement des parties prenantes varie en fonction de la difficulté de conception spécifique, le contexte du projet et la vision (17, 23). Pour bien réussir le travail collaboratif, la mobilisation de l'équipe doit correspondre aux quatre E « Everybody; Engaging; Everything; Early » (4). Ainsi, une culture de collaboration et une approche interdisciplinaire exigent que tous ceux qui ont une influence sur la direction du projet soient impliqués dès le début dans une atmosphère de confiance et de respect. Malgré la multidisciplinarité des compétences de chacun, il faut que les professionnels respectent non seulement leurs rôles et responsabilités respectifs, mais encore faut-il qu'ils développent des compétences transdisciplinaires pour être en mesure de remettre en question des idées proposées par les différentes expertises. Des recherches le démontrent, le choc des idées entre les perspectives de différentes spécialités est générateur de solutions innovatrices et permettent d'obtenir de meilleurs résultats. C'est pourquoi, il est conseillé de s'entourer d'un ingénieur mécanique et d'un spécialiste en modélisation énergétique dans le volet de l'efficacité énergétique du projet, au lieu d'avoir que l'ingénieur mécanique, puisque la conception mécanique et l'analyse de l'énergie sont des compétences complémentaires (30).

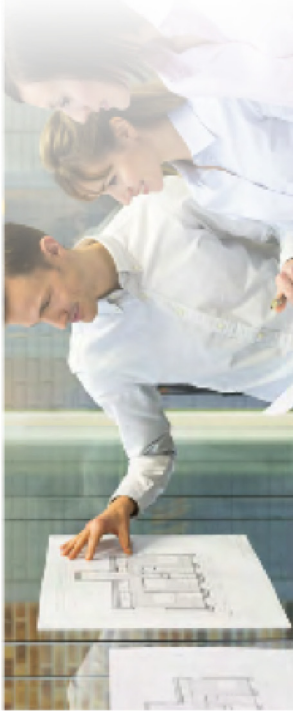
Figure 6 : Formation et interaction d'une équipe intégrée à travers un PCI (16)



Rôles et responsabilités

Client :

L'engagement du client face au PCI est le plus important des éléments. À cet effet, il se doit d'être informé et conscientisé sur le PCI et chercher avec le cœur de l'équipe l'innovation dans les solutions. La sélection de l'équipe est souvent sous sa responsabilité car il mandate les consultants. Le rôle premier du client est d'élaborer clairement ses préoccupations, ses exigences et ses attentes en matière de développement durable pour orienter l'équipe de conception dès le début du processus et se donner les moyens pour sélectionner les experts avec les profils correspondants à ses attentes (expertises, compétences et complémentarité). S'il veut maximiser les retombées du PCI, le client doit être prêt à accepter une remise en cause de certains éléments du programme fonctionnel et technique (PFI) pour favoriser la recherche de la compacité ou une disposition plus stratégique des espaces afin de profiter des solutions passives. Ainsi, par sa démonstration d'ouverture, il encourage les échanges et la recherche de solutions synergiques. Un facteur crucial de la performance de l'équipe est l'agilité dans la prise de décision. Pour ce faire, le client s'assure lors des chartes et tout le long du processus d'avoir un représentant de son organisation ayant la délégation d'autorité nécessaire pour la prise de décisions et pour mobiliser les ressources internes clés (opérateurs, cadres intermédiaires) à participer au processus lorsque requis. Il est aussi essentiel pour le client d'encourager la participation active de ces derniers. Les usagers peuvent être d'excellentes sources de solutions innovatrices, notamment dans la réévaluation du PFI.



Gestionnaire de projet versus facilitateur :

Le gestionnaire de projet se trouve souvent responsable des rôles de gestion et de facilitation. Dans le cas contraire, le facilitateur sera responsable de la planification des chartes. Ces derniers travaillent en étroite collaboration. (28). Dans la pratique habituelle, ces rôles sont distincts et ceux-ci sont accompagnés par un professionnel accrédité LEED (PA LEED). À ce sujet, il est suggéré que le client mandate une firme indépendante pour faire la gestion des volets LEED et de la facilitation avant même de mandater les consultants formant le cœur de l'équipe de conception comme il se fait dans l'Ouest canadien (voir figure 5, page 15). L'avantage est que ces firmes spécialisées proposent un cadre normalisé de PCI éprouvé. Au Québec, c'est souvent la firme d'architecture mandatée pour la conception qui fournit les deux services, ce qui les place dans une position dominante qui peut réduire le potentiel de synergie. Dans ce cas, il n'est pas recommandé que l'architecte concepteur agisse à titre de PA LEED ou de facilitateur puisqu'il devient juge et partie de la conception. Cela risque de freiner encore plus la créativité et l'innovation au sein de l'équipe intégrée due à l'influence prédominante de l'architecte dans le processus de prises de décision.

Professionnel accrédité (PA) LEED :

Le client exigera d'avoir un PA LEED lorsqu'il requiert une certification. Le PA LEED peut être un consultant externe ou un membre de l'agence d'architecture. Un modèle populaire dans l'Ouest est que la firme de consultation offre le service combiné d'un PA LEED et d'un facilitateur. Il n'est pas souhaitable que le PA LEED agisse comme facilitateur, ce rôle d'assurance qualité est peu compatible avec celui de catalyseur de la dynamique d'équipe.

Les rôles et responsabilités du PA LEED se doivent donc d'être bien déterminés pour assurer la qualité du travail du professionnel et éliminer l'ambiguïté au sein des membres de l'équipe. L'ambiguïté dans les rôles attribués peut causer des conflits entre les professionnels. Souvent l'architecte, le gestionnaire de projet, le propriétaire ou le client ont tendance à prendre une partie du rôle de facilitateur. C'est l'une des raisons pour lesquelles les rôles doivent être clairement établis. Autrement, les professionnels en conception intégrée peuvent devenir confus dans le chevauchement interdisciplinaire ce qui se traduit par une diminution de l'engagement qui nuit au processus de conception intégrée (PCI).

#### Facilitateur :

Le rôle de facilitation est important afin de générer et de maintenir la synergie d'équipe. D'ailleurs, le facilitateur doit faciliter : la collaboration, le partage de l'information, la communication et le respect au sein de l'équipe. Son principal rôle est de s'assurer du bon déroulement du PCI en réunissant les gens autour d'un objectif commun dans une ambiance de laquelle émerge des solutions innovantes et créatives. Pour ce faire, il doit jauger les personnalités de chacun, comprendre les différentes vues inhérentes à chacune des spécialités, encourager les participants et s'assurer que tous participent. Dans la pratique courante, il existe deux types de facilitateur. Il y a le facilitateur fort qui agit aussi comme un champion (optionnel) et le facilitateur neutre qui facilite les interactions entre les intervenants. Le facilitateur peut agir également à titre de gestionnaire de certification LEED, mais le risque d'utiliser le système d'établissement comme liste d'éciperie dans ce cas est très élevé.

#### Champion (Optionnel) :

Son rôle et sa responsabilité sont de porter la vision du développement durable du projet. Il doit être un passionné de la construction écologique. Autrement dit, le champion est un chef d'orchestre multidisciplinaire capable de cibler les opportunités, les risques et d'orienter les professionnels vers les choix conceptuels de façon désintéressée. D'ailleurs, le champion doit

être sensible à l'information partagée par le cœur de l'équipe, être capable de mobiliser, de trancher et de guider à travers les réflexions de l'équipe intégrée lors de la prise de décision. À cet effet, il doit apprécier l'information et voir les impacts potentiels sur la durabilité du projet et des risques encourus de chaque direction innovante explorée. Dans la pratique, le champion provient de l'organisation du client ou de la firme externe agissant comme le représentant du client. Donc le champion ou le facilitateur fort peut se voir attribuer différents rôles. Le rôle et les responsabilités du facilitateur peuvent ressembler à ceux du champion, au sens où ils mobilisent et guident l'équipe à travers le processus de conception intégrée.

#### Rôles possibles du champion :

- Facilitateur fort;
- Architecte;
- Représentant du client.

#### Professionnels :

L'un des facteurs critiques de succès du PCI est l'ouverture et l'engagement communs du client et des professionnels à trouver la solution la plus durable à l'intérieur des contraintes du budget et du programme. Le PCI demande un changement d'attitude important des professionnels. Ces derniers doivent accepter que d'autres parties prenantes, experts ou occupants, puissent remettre en question les solutions qu'ils mettent de l'avant, et aussi de sortir du confort de leur spécialités pour faire de même avec les autres disciplines ou avec les représentants du client. Par exemple, l'architecte doit considérer les idées des ingénieurs qui affectent ses choix de conception et maîtriser les concepts de base de la science du bâtiment afin de remettre en question les solutions proposées par les ingénieurs. Par conséquent, les professionnels doivent développer un langage commun, et ce, via une vision partagée établie en début de processus. Aussi, chaque professionnel doit focaliser sur les choix conceptuels les plus prometteurs et accepter l'itération du processus, c'est-à-dire d'envisager plusieurs essais avant d'obtenir un résultat optimal.

### Consultants-spécialistes (experts) :

Les rôles et responsabilités des experts ou des consultants-spécialistes sont de participer à la résolution de problèmes lors des charrettes pour orienter le cœur de l'équipe vers les meilleures solutions. La question est de déterminer quelles expertises doivent être requises quand et pour quelle fin. Les cibles et objectifs de durabilité sont un bon point de départ pour faire ces choix. Si la performance énergétique est l'objectif dominant, un expert en simulation sera essentiel pour valider les propositions des professionnels. La combinaison avec un expert en coût pour évaluer le coût-bénéfices des solutions est aussi recommandée. Ce rôle peut être donné au gérant de construction s'il est intégré à l'équipe dès la conception. Aussi, il faut s'assurer que le contexte soit favorable pour valoriser la contribution de ces experts. Divers autres spécialistes peuvent être greffés au projet au besoin sur des aspects spécifiques comme l'éclairage naturel, l'analyse du cycle de vie ou autres. Pour ce faire, le choix d'experts se base entre autres sur la réputation et la notoriété des personnes mandatées pour assurer un climat de confiance et de respect entre l'équipe de conception, les invités et leur interprétation des résultats. Par ailleurs, la présence de certains experts assure une cohérence à l'atteinte des cibles et objectifs puisqu'ils représentent les principales contraintes d'un projet telles qu'un économiste de coûts, un professionnel accrédité LEED (PA LEED) et un modèleur énergétique. Ceux-ci peuvent aider à l'alignement de l'équipe vers l'atteinte des objectifs par une validation ou une vérification de la valeur des options ou des solutions proposées. Ainsi, ils facilitent et orientent la recherche et l'analyse essentiel en PCI.

Voici des exemples de spécialistes que certains projets ont requis : consultant en milieux humides, un acousticien, un spécialiste en muséologie, un spécialiste scénographie, etc. Les consultants-spécialistes les plus couramment demandés se retrouvent à la figure 5, page 15.



### Constructeur et opérateur :

L'implication des constructeurs et des opérateurs est importante dans la conception d'un bâtiment. De leur participation peut émerger des bonnes idées et permettre la conception d'un bâtiment optimal à moindre coût, facile à réaliser et à opérer, tenant compte du passage des travaux à la mise en service. Aussi, le fait de les impliquer augmente sensiblement leur adhésion aux solutions préconisées et offrira une meilleure garantie de leur collaboration pour faire de la mise en service un succès. Leur implication permet aussi d'obtenir une meilleure information pour l'équipe de concepteurs pour l'évaluation de cycle de vie et l'analyse du coût global. Encore ici, une participation des opérateurs avec la collaboration d'un économiste de coûts facilitera la préparation de l'analyse du coût global pour valider les choix affectant les coûts d'opération et d'entretien. L'apport de ces deux intervenants réunis facilite la prise de décision en questionnant les valeurs des options ou solutions par la mise en commun de leur expertise de gestion d'immeuble et d'estimation des coûts.



### Résumé - Rôles et responsabilités :

Comme il a été démontré dans la présente section, le PCI apporte en amont de la conception une équipe multidisciplinaire ce qui complexifie la structure de l'équipe et les relations entre les professionnels. Plusieurs rôles et responsabilités s'ajoutent à l'équipe traditionnelle de conception. Parmi ceux-ci, on retrouve le PA LEED, le facilitateur (gestionnaire de charrette), le champion (optionnel) ainsi que de nombreux intervenants. Les rôles et responsabilités entre le PA LEED, le facilitateur et le champion s'entrecroisent et peuvent créer une certaine ambiguïté. Conséquemment, ceux-ci doivent être définis de manière distincte et complémentaire et ces rôles doivent être bien expliqués à l'ensemble de l'équipe. Une charte de projet comprenant une matrice de responsabilités est un bon outil pour le faire. En outre, le nombre accru d'intervenants autour d'une même table impose une analyse et une recherche préparatoire avant de sélectionner les membres de l'équipe. Ainsi, le gestionnaire de projet ou de charrette a la responsabilité d'identifier les besoins en ressources selon les exigences et les objectifs du client. La formation de l'équipe doit considérer la compétence, la complémentarité des expertises et l'attitude. Lors du travail en charrette, le facilitateur doit s'assurer que les professionnels ne forment pas un sous-groupe dans l'ensemble du groupe (aussi connu sous le terme de « in-group »). Ce phénomène nuit à la collaboration et les synergies dans l'équipe. Il est causé entre autres du fait qu'il est difficile pour les professionnels de briser le patron de comportement de la pratique traditionnelle, avec le risque que l'architecte domine le processus de conception et le rôle du client soit relégué à l'acceptation des solutions proposées ce qui limite les échanges (mauvaise communication) entre les participants. Donc, à travers cette section, nous pouvons comprendre l'importance de l'équipe multidisciplinaire à travers le processus de conception intégrée (PCI). En d'autres termes, l'équipe de conception intégrée se définit par son interdisciplinarité, son ouverture, son écoute, son engagement et sa participation vers la réalisation de bâtiments innovants et durables.

Le PCI et les outils

Globalement, les outils servent à soutenir les aspects essentiels de la collaboration et appuient le processus de conception intégrée (PCI). Il existe plusieurs groupes d'outils dont ceux utilisés pour aligner le corps professionnel sur le PCI, ceux pour faciliter la visualisation des projets et les outils des technologies de l'information et de la communication (TIC). Ces groupes d'outils sont utilisés afin de favoriser l'interaction entre les membres de l'équipe multidisciplinaire grâce à l'amélioration de la communication (31), du partage des connaissances et de la compréhension de la portée et des objectifs du projet (32). Le PCI implique une synergie d'équipe, mais aussi des outils de modélisation et de simulation qui supportent une synergie des systèmes (15).

Outils de gestion et processus

Les outils de gestion et de suivi et contrôle des processus sont simples mais très pertinents pour assurer la finalité de la conception dans le respect des demandes du client et des contraintes du projet. Les feuilles de route, les agendas, les listes de vérification et les minutes de réunion sont tous des outils essentiels à la bonne conduite du PCI. Ceux-ci contribuent à l'aspect de continuité et d'alignement des objectifs de performance et servent à planifier et suivre la production des intrants et des extrants pour supporter le PCI. Un autre outil utile est la production de cartes heuristiques ou conceptuelles qui permettent de représenter les liens logiques entre les différentes idées ou concepts étudiés. Plusieurs logiciels facilitent la production de ces cartes.

Continuité (Assurance qualité) :

Il est suggéré que toutes les modifications, les changements de concept ou systèmes ainsi que toutes les prises de décisions soient notées dans un rapport de suivi des changements itératifs durant le processus de conception intégrée, et ce, dans toutes les charrettes. Ces rapports ou notations de continuité permettent d'assurer la bonne pratique du processus intégré du fait qu'ils gardent en mémoire le cheminement itératif parcouru par l'équipe (réflexion, consultation, la négociation et la prise de décision).

Exemple d'outils :

- La méthode SMART est souvent utilisée dans la gestion de projet au stade de la définition des objectifs afin d'évaluer leurs compatibilités avec le projet.
- **Définition de SMART :**
  - ✓ S = Spécifique
  - ✓ M = Mesurable
  - ✓ A = Atteignable
  - ✓ R = Réaliste
  - ✓ T = "Temporel" (Inscrit dans le temps)
- La liste de « Touchstones » est une autre bonne méthode. Elle est utilisée afin de faciliter l'établissement un consensus au sein de l'équipe de conception dans l'élaboration des exigences de projet du propriétaire (« Owner's Project requirements » (OPR)) et dans la définition des cibles de base de conception (« Basis of Design » (BOD)) (4).
- Certaines certifications comme la certification LEED Canada proposent leur propre liste afin de procéder à la vérification et validation des stratégies de conception durable. Ces documents servent, entre autres, à effectuer une analyse de faisabilité LEED.

## SECTION 3 : Outils et technologies de soutien

### Collaboration-Modélisation-Simulation

#### Outils collaboratifs

Dans le cadre d'un PCI, l'équipe de conception est formée de plusieurs intervenants ayant leurs propres façons d'interagir. Ainsi, chaque individu a un médium avec lequel il est plus à l'aise de s'exprimer. Alors les outils collaboratifs viennent faciliter les interactions entre les intervenants dans le but d'obtenir leur meilleur apport lors des charrettes. Pour ce faire, le facilitateur peut avoir recours à des outils mécaniques (tableaux blancs, papier, crayons, post-it, etc.) ou informatiques (tableaux interactifs, téléviseurs, tablettes, etc.), ou une combinaison des deux. A ces outils s'ajoutent des techniques afin de faciliter le processus, la dynamique et la participation de l'équipe, ainsi que l'idéation et la créativité dans le groupe. Le guide de Lindsey Coles : « The Integrated Design Process Facilitation Resource Guide » (17) est une excellente source pour en connaître plus sur ces techniques.

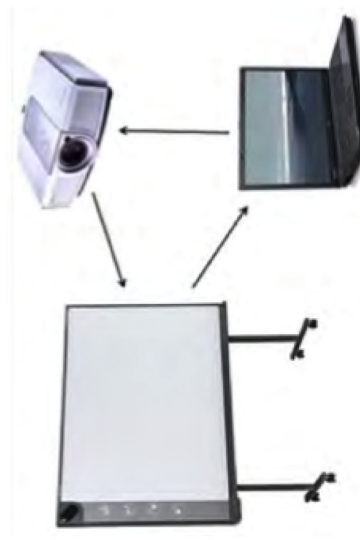


Figure 7 : Partage de contenu d'un tableau interactif

#### Tableau interactif :

Cette technologie aide à créer un environnement collaboratif avec la flexibilité nécessaire pour maximiser l'efficacité des activités de charrette. Le tableau favorise la participation des intervenants via de nombreuses possibilités d'activités interactives et d'évaluation numérique par le biais, notamment du couplage technologique du tableau interactif avec des téléviseurs. Les participants peuvent contribuer aux idées de façon plus efficace à travers les interfaces du tableau interactif comme l'illustre la figure 7. Cet outil permet également une collaboration intuitive de l'équipe de conception par le visionnement et le partage de contenu informatique tel que des courriers électroniques, des maquettes numériques, échéancier numérique, etc. (voir figure 7). Ce type de tableau facilite grandement la communication, le partage de l'information et la collaboration et peut être utilisé dans le cadre des activités d'idéation et de créativité. Pour ces raisons, le laboratoire du GRIDD est équipé de ces équipements.

#### Le téléviseur :

Le logiciel des téléviseurs permet de valider rapidement les préférences au niveau des choix offerts par une réaction immédiate des participants lors d'une charrette. Efficace et rapide, il permet de recueillir les opinions des parties prenantes à l'aide de questions à choix multiples de manière anonyme et d'afficher les résultats sous forme graphique (histogramme ou autres). Ce système permet à la fois de savoir ce que les participants pensent réellement et d'observer les tendances.

#### Techniques de synergie pour stimuler la créativité :

- Check-in
- Brise-glace
- « Open forum »
- World Café
- Prise de décision
- Six chapeaux de réflexion
- « Brainstorming »
- Cartographie des consensus

« Nous utilisons une panoplie de logiciels selon les besoins de conception et les problèmes à résoudre, mais au début de la conception, l'outil le plus efficace demeure le dessin à la main levée. Nous avons réalisé que l'opération de logiciels, aussi performants soient-ils, ralentit notre démarche créative initiale qui vise essentiellement à saisir les opportunités à notre portée pour ajouter de la valeur au projet. Lorsque les idées principales sont sur papier et que nous sommes en mesure d'obtenir l'adhésion des intervenants clés, principalement le client, nous sommes prêts à mettre à l'appui les différents logiciels pour pousser plus loin ces idées et optimiser le rapport qualité/prix. »

**Normand Hudon**

**Technologies de l'information et de communication (TIC)**

Le but de l'utilisation des TIC est de faciliter ou de supporter l'analyse et d'aider la prise de décision. Les maquettes numériques, des logiciels de simulation ou d'analyse de coûts et parfois même des téléviseurs permettent l'évaluation ou la validation des options de conception et notamment la synergie des systèmes et permettent une prise de décision éclairée. Les logiciels d'analyse sont essentiels pour concevoir un bâtiment à haute performance et ce, avec un surcoût en capital moindre et des coûts d'exploitation réduits(15). On recommande de faire l'évaluation des options selon deux à trois critères dont la performance, les coûts (capital et global), ou une analyse du cycle de vie (Voir l'approche de Larsson p.35). Pour ce faire, l'industrie peut s'appuyer sur une panoplie de logiciels de modélisation et de simulation.

**Logiciels de modélisation et de simulation**

Dans les outils de modélisation et de simulation, on retrouve plusieurs types de logiciels permettant d'analyser et d'optimiser l'interaction entre de nombreux systèmes, sous-systèmes et composantes (tableau 4). Parmi ceux-ci, on retrouve les fonctionnalités suivantes : modélisation énergétique (enveloppe, CVCA, etc.), simulation de lumière naturelle et d'éclairage, analyse du coût global, analyse de cycle de vie (ACV), calcul de l'émission de GES, analyse de CFD, (Étude de la dynamique des fluides) ainsi que la comparaison de scénarios pour un bâtiment des systèmes ou sous-systèmes (4, 33). Les logiciels les plus complets ont été surlignés en bleu dans le tableau 4. Les plus utilisés sont eQuest, EE4, SIMEB, Open Studio, Design Builder et Athéna (ACV). Il existe d'autres types de logiciels gratuits comme Sketchup et Radiance qui peuvent être utilisés pour évaluer l'ensoleillement ou l'apport en éclairage naturel. Néanmoins, dans tout type de logiciel, il faut s'assurer d'avoir les connaissances nécessaires en science du bâtiment et en mécanique (voir tableau 4, échelle de 1 à 5) et une bonne dose d'expérience pour procéder à une bonne simulation et interpréter les résultats adéquatement. Autrement dit, ces outils demandent des connaissances telles que la simulation énergétique, les processus thermiques et connaître les limites des outils afin d'en tirer les bonnes conclusions et les bénéfices recherchés (34).

Tableau 4 : Fonctionnalités et logiciels (33)

Logiciel	SIMEB	eQuest	Design Builder	TRNSYS	Ecotect Analysis	TRACE 700	IES	ESP-r	Open Studio
<b>Général</b>									
Type de logiciel: Simplifié, Complet, Spécialisé	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Niveau de connaissance en science du bâtiment et en mécanique (1 faible, 2 élevé)	2	3	3	5	2	2	3	5	2
<b>Fonctionnalités</b>									
Modélisation énergétique (CVAC)	x	x	x	x			x	x	x
Simulation d'éclairage naturelle	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Analyse du coût global		x					x		
Analyse de cycle de vie (LCA)							x		
Calcul de l'émission de GES			x		x		x	x	
Analyse CFD (Étude de la dynamique des fluides)			x				x	x	
Comparaison de bâtiment et/ ou d'un système	x	x				x	x		

### Contributions des outils à l'atteinte des objectifs de performance :

- Fournir un soutien au processus de prise de décision du projet (PCI);
- Établir les analyses croisées et mieux interpréter les données;
- Ajuster les composantes du bâtiment pour en maximiser la performance;
- Élaborer des stratégies de conception écoénergétique;
- Visualiser et comparer diverses solutions de conception;

### Critères de sélection des outils :

- Ergonomie et gestion de l'interface;
- Interopérabilité avec les bases de données des logiciels de conception;
- Capacité de simuler une construction détaillée et complexe avec précision;
- Intégration avec le processus de conception.

### Exemples d'usage du BIM :

- Programmation
- Analyse du site
- Planification de l'échéancier du chantier
- Estimation des coûts
- Simulations
- Modélisation des conditions existantes
- Conception
- Revue de conception et production de dessin

L'application des TIC supporte le développement d'environnements virtuels intégrés, ce qui permet aux membres de l'équipe d'être plus créatifs et innovants (14). Cependant, l'utilisation de TIC comme les outils de simulation et le « Building Information Modeling » (BIM) dans le contexte d'une charrette de conception demande une préparation soignée pour éviter les pertes de temps dans la manipulation des logiciels et la recherche des données.

### Building Information Modeling (BIM) :

Le BIM permet de visualiser, de modéliser et de simuler en 3D sur une maquette numérique. Le BIM est d'abord et avant tout un processus itératif et intégré de conception. Les technologies associées au BIM facilitent la résolution de problèmes complexes, notamment ceux reliés à la coordination de la mécanique, de l'électricité et de la plomberie (MEP) (10). Ce processus permet donc l'optimisation et l'intégration des fonctionnalités de conception (35). Le but du BIM est d'intégrer l'information des intervenants et experts qui travaillent traditionnellement dans différentes phases de construction, c'est-à-dire la conception, la construction et l'opération (36). Autrement dit, il peut être utilisé à la fois pour la coordination, la simulation, l'estimation des coûts et la gestion des équipements (37). L'implication du BIM dans le processus de conception intégrée dépend de son usage. Selon le CIC Penn State, il y a près de 35 usages différents du BIM. Il est donc important d'élaborer un plan de gestion BIM afin de déterminer les usages utilisés et leurs spécifications techniques pour la création de la maquette numérique (37). Certains de ces usages sont présentés dans l'encadré de gauche.

## Conditions fondamentales pour réussir un processus de conception intégrée (PCI)

### La compétence et la motivation

La motivation et la compétence contribuent à teinter le projet des valeurs de l'équipe de conception. Alors, l'esprit d'équipe devient l'esprit du projet (4). La qualité d'un projet est la responsabilité individuelle et collective des acteurs impliqués.

### Confiance et respect

La confiance et le respect entre les membres d'une équipe sont essentiels pour créer le niveau de collaboration et d'engagement requis pour un PCI réussi.

### Conflits d'objectifs

Les conflits d'objectifs concernent les intentions de conception qui peuvent se contredire et nuire à la réalisation de la performance recherchée en raison de la complexité d'un projet. Par exemple, l'éclairage naturel pourrait augmenter la charge de climatisation en été et aller à l'encontre d'une réduction de la consommation énergétique. Un exercice de *visioning* lors de l'établissement des cibles et des objectifs, une communication efficace, ainsi qu'un échange d'information continu lors du développement des concepts peuvent minimiser le risque de conflits entre les solutions proposées selon chacune des disciplines. Cela pourrait perturber grandement l'atteinte des objectifs, étant donné que les objectifs individuels ne sont pas totalement alignés avec les objectifs du projet.



### Le partage des informations

Le partage efficace de l'information vise à ce que la bonne information parvienne à la personne appropriée au bon moment. Ainsi, les décisions critiques peuvent être prises rapidement sans trop impacter le processus de conception.

### Alignement des objectifs de performance avec l'équipe :

L'efficacité de l'ensemble du projet dépend de la capacité de l'équipe de conception à concentrer ses efforts sur les buts et les objectifs de performance afin d'éviter de réaliser un concept non cohérent dans les interrelations entre les systèmes. L'équipe doit travailler ensemble vers des objectifs communs afin d'établir une cohésion des choix de conception (14). Les objectifs sont définis à partir de cibles de performance déterminées par le client et le cœur de l'équipe de conception lors de la charrette de préparation selon les valeurs de l'ensemble de l'équipe intégrée et les exigences et les attentes du client présent dans le programme préliminaire.

## SECTION 4 : La structure du PCI actuelle et proposée

### Maturité et approches

Cette section est le résultat de plusieurs recherches, analyses et itérations afin d'identifier les pratiques courantes au Québec et d'en évaluer le taux de maturité comparativement à ce qui se fait ailleurs. Cela a permis d'établir une échelle de maturité de 1 à 5<sup>3</sup> et de présenter les différentes méthodes et procédés pour réaliser des bâtiments durables, c'est-à-dire moins énergivores et plus respectueux de l'environnement.

#### Niveaux de maturité 1 à 5

Les niveaux de maturité illustrés dans le tableau 5 (voir page suivante) tracent un portrait global sur l'avancée de la PCI au Québec à travers les pratiques courantes. Ce tableau présente sommairement les applications et les modalités du PCI selon les niveaux de maturité. Le niveau 1 de maturité (Initial) s'avère être une mauvaise compréhension du PCI car elle ne permet pas d'établir des solutions optimales. Ce niveau correspond à un processus traditionnel basé sur la coordination. Le niveau 2 (Discipliné), commence à intégrer certains principes de PCI comme la collaboration entre les acteurs et intervenants du projet à travers un plan de projet dans le but d'aligner les objectifs de conception (plan de charrettes). Par contre, le principe de continuité et de cycle de vie est absent dans le processus et ne tient pas compte de l'implication du constructeur. Les niveaux 3 et 4 (ajusté et géré

quantitativement), représentent ce qui se fait de mieux en conception intégrée (CI) au Québec. Toutefois, il ne tient pas compte de la mise en service et des opérations dans la plupart des cas, ce qui est primordial pour obtenir un bâtiment optimal en tenant compte son cycle de vie. Au niveau 4, la notion de performance est prise en compte, mais l'optimisation des relations entre les systèmes est absente. Le niveau 5 (Optimisation) correspond aux meilleures pratiques de la conception intégrée, puisqu'il tient compte de la synergie des systèmes pour l'efficacité énergétique des bâtiments et de la réduction de ses impacts environnementaux. En plus, cette maturité cherche l'optimisation et l'évolution constante du processus. Ainsi, la rétroaction nécessaire en PCI est incluse dans ce niveau de maturité tel que l'évaluation post-occupation (EPO).

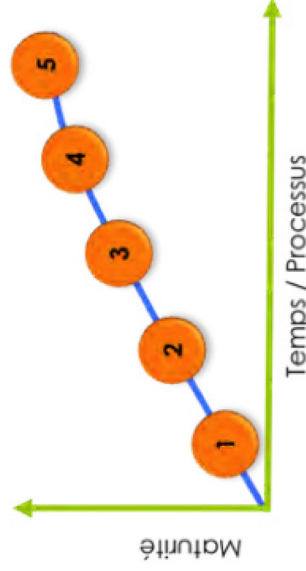


Figure 8 : Maturité en fonction du temps et du niveau de processus

<sup>3</sup> Voir la figure 8 à la page 27, la figure 9 de la page 29, ainsi que le tableau 5 à la page 28.

Tableau 5 : Les 5 niveaux référentiels internes de maturité en PCI inspirés du modèle de Louis-René Champoux

Niveau de maturité	Description	Processus
1) Initial	Pas de grand pilier directionnel, aucune façon de faire ou standard ne sont établis.	<ul style="list-style-type: none"><li>Alignement des objectifs de performance au lancement du projet. L'atteinte des résultats repose sur l'engagement et la bonne volonté des professionnels et non sur l'application disciplinée de bonnes pratiques du PCI.</li></ul>
2) Discipliné	Une discipline est établie pour chaque projet et se matérialise essentiellement par des plans de projet.	<ul style="list-style-type: none"><li>L'alignement des objectifs de performance au lancement du projet est suivi à travers quelques charrettes;</li><li>La planification du processus est établie : la gestion des exigences, le suivi de projet, l'utilisation de métriques tels que LEED Canada, l'assurance qualité avec la simulation énergétique finale.</li></ul>
3) Ajusté	Standardisation adéquate du processus de conception intégrée, une capitalisation centralisée et une maîtrise du référentiel interne.	<ul style="list-style-type: none"><li>Le processus de conception intégrée implique d'autres parties prenantes, comme le constructeur, essentiel à l'intégration de la construction dans la phase de conception;</li><li>La prise de décision est mieux organisée pour faire place à l'intégration par le biais de la collaboration;</li><li>L'expression des besoins du client est mieux établie. Ceux-ci sont atteints par une meilleure structuration du processus au niveau des charrettes (programme de charrette);</li><li>Meilleur suivi et contrôle.</li></ul>
4) Gérer quantitativement	Les projets sont pilotés sur la base de mesures quantitatives de l'atteinte des objectifs.	<ul style="list-style-type: none"><li>Performance du PCI et gestion quantitative de l'atteinte des cibles de performance grâce à plusieurs simulations. Spécifiquement, l'utilisation du BIM à l'aide de l'interopérabilité de logiciel de simulation.</li></ul>
5) Optimisation	Les processus sont optimisés en continu afin d'anticiper les évolutions prévues.	<ul style="list-style-type: none"><li>Innovation à travers le processus conception intégrée (PCI), intégrée (PCI). Le client cherche à innover avec l'équipe de conception;</li><li>Les intervenants et les acteurs cherchent à définir un développement durable au sens large;</li><li>Optimisation continue en conception et construction du bâtiment dans son ensemble : énergie, environnement (eau, habitat humain et nature);</li><li>Application de l'évaluation post-occupation afin de faire évoluer PCI.</li></ul>

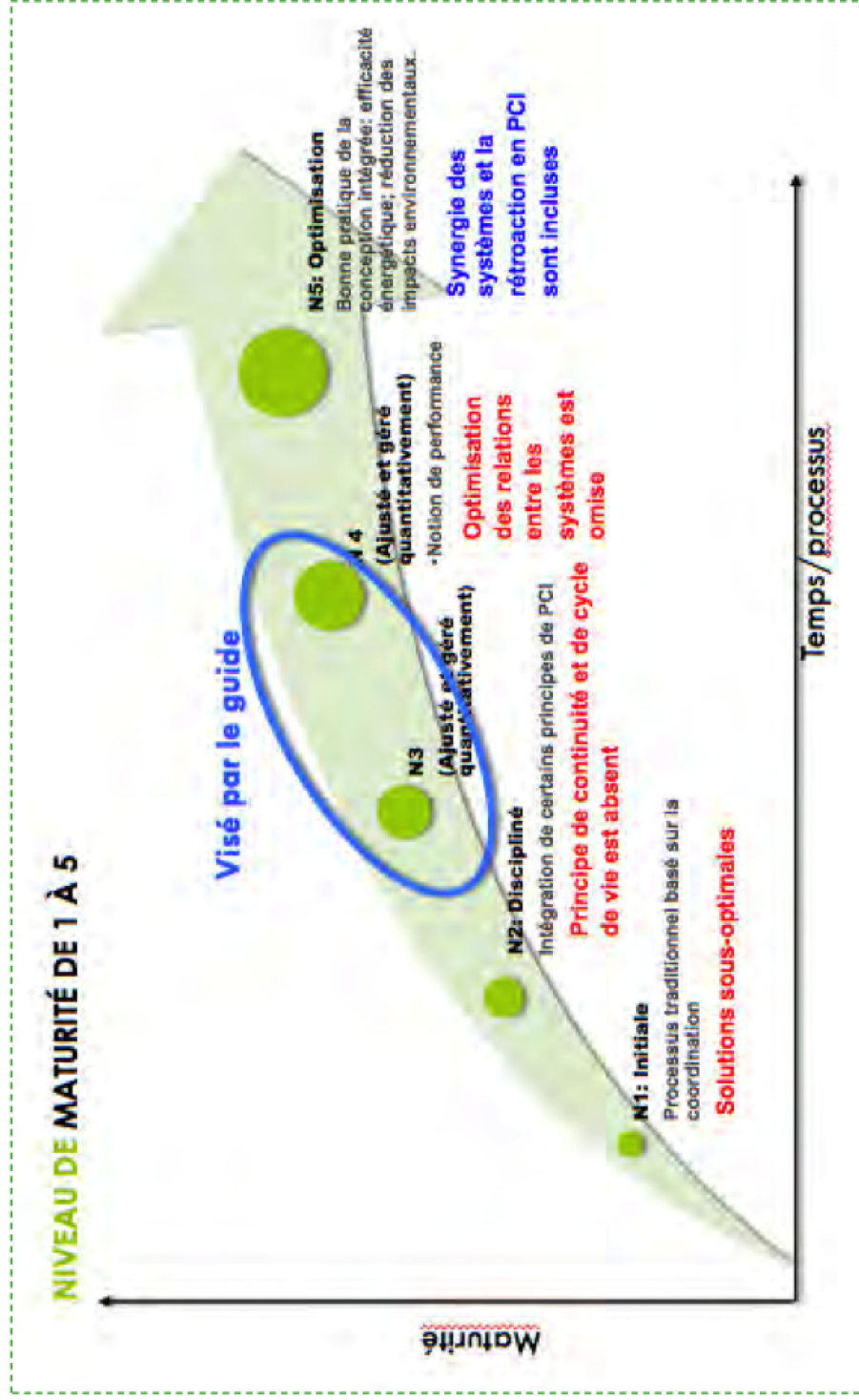


Figure 9 : Description sommaire de la maturité en fonction du temps et du niveau de processus

## Approches du processus de conception intégrée au Québec

### Approches du PCI au Québec

Par l'entremise de nos recherches, un constat a pu être établi sur les différentes pratiques de la conception intégrée au Québec. Ces différentes approches s'appuient habituellement sur le système d'évaluation LEED Canada afin d'établir les stratégies de durabilité qui correspondent aux trois ensembles stratégiques présentés à la figure 10, soit : les mesures passives, les énergies renouvelables et le mesurage et vérification (M&V) des équipements. Contrairement aux approches de Larsson (voir pp. 35 à 38) et de Reed (voir pp. 39 à 43) qui visent une approche intégrative ou l'utilisation de l'évaluation à chacune des phases de conception pour une optimisation continue de la performance, celles utilisées au Québec se limitent souvent à une optimisation de la conception à l'aide d'un processus traditionnel. Ainsi, un effort considérable doit être fait pour s'approprier les bonnes pratiques intégratives de ces derniers. En ce sens, les organisations doivent comprendre les structures existantes pour graver la courbe de maturité et adopter graduellement les meilleures pratiques du PCI. L'application de la conception intégrée devrait inclure l'aspect énergétique, environnemental et humain. En ce sens, une approche idéale du PCI pourrait intégrer les pratiques de Larsson et de Reed et Busby.

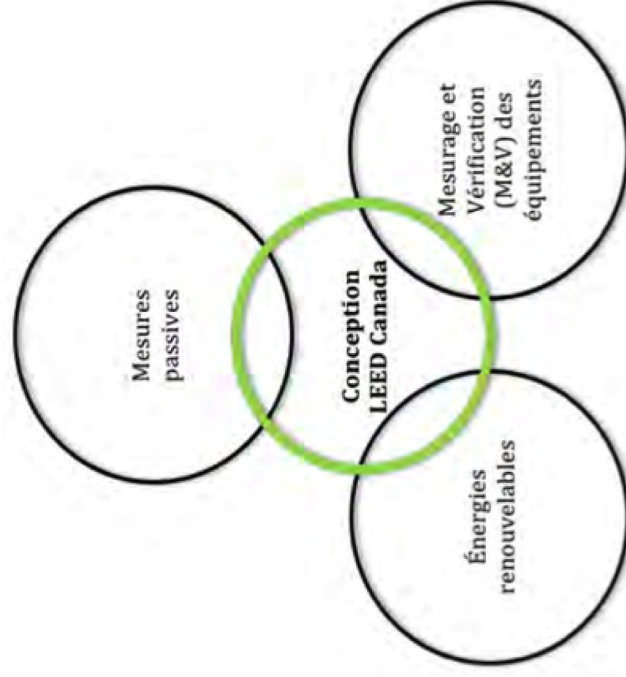


Figure 10 : Diagramme du PCI au Québec inspiré des recherches

# Approches proposées du processus de conception intégrée au Québec

Cette section suggère une approche pour les trois premiers niveaux.

## Approche 1 (maturité 1)

La première approche observée au Québec n'est ni plus ni moins qu'un processus de conception traditionnelle avec une charrette au début pour aligner les professionnels vers des cibles de performance. À cet effet, il n'y a pas d'optimisation mais une meilleure coordination puisque la synergie essentielle au PCI ne peut être réalisée dans de telles conditions.

## Approche 2 (maturité 2)

Elle s'appuie sur cinq charrettes dont une qui porte sur la préparation. Elles comportent : 1) Planification et logistique de charrette; 2) l'alignement des attentes et objectifs du client; 3) l'exploration des concepts; 4) l'évaluation, l'analyse et le développement des solutions synergiques entre les mesures passives et les systèmes (efficacité énergétique des solutions); et 5) l'intégration du constructeur en appui à la vérification, l'optimisation et la validation des concepts lors de la conception détaillée<sup>4</sup>. Dans cette approche, la séquence et la disposition des charrettes sont imbriquées dans le mode traditionnel de conception, ce qui peut limiter la recherche des interrelations entre les systèmes et les sous-systèmes.

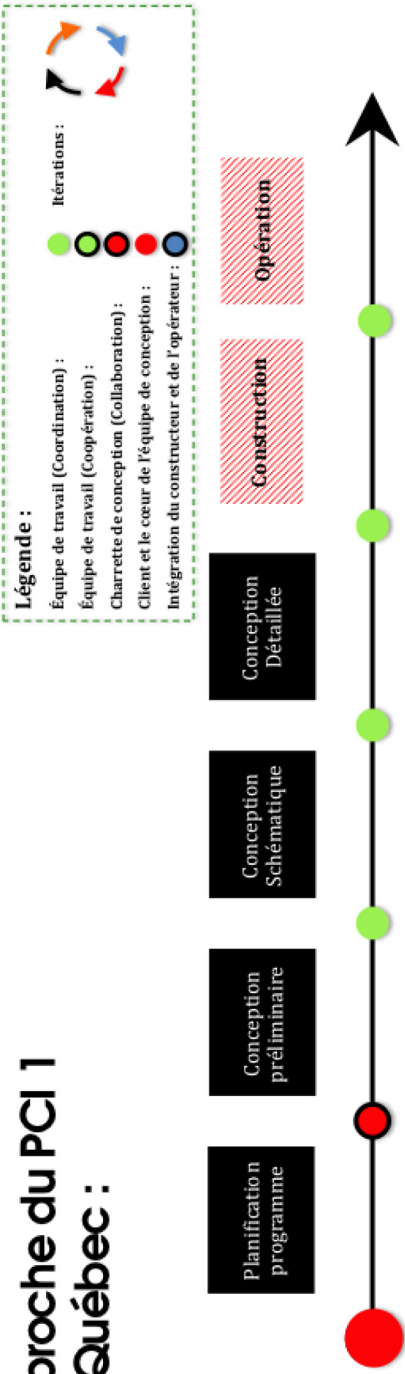
## Approche 3 (maturité 3)

Elle consiste à l'application du PCI soutenue par une certaine connaissance et intention du client face au PCI. Cette approche s'appuie sur trois charrettes dont une préparatoire. Elles comportent : 1) Planification et logistique de charrette; 2) l'évaluation et l'analyse des mesures passives et 3) l'évaluation et l'analyse des systèmes et équipements orientés vers l'économie d'énergie. Cette approche est fondée sur l'alignement des solutions sur les attentes et les objectifs du client, l'optimisation par itération continue des systèmes et sous-systèmes, ainsi que sur l'intégration du constructeur et parfois de l'opérateur. L'optimisation des interrelations entre les mesures passives et les systèmes passe par des ateliers thématiques afin d'évaluer et d'analyser les paramètres intrants de celle-ci. Ainsi, les interrelations entre la volumétrie, l'orientation, l'ensoleillement et les vues sont décidées distinctement des équipements. Autrement dit, cette approche met l'emphasis sur l'analyse et la recherche de synergies entre les systèmes afin d'optimiser les solutions. À cet effet, le Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques (BEE) prépare des guides pour l'intégration de la simulation au PCI dans le but de développer une approche méthodologique optimisant l'utilisation de la simulation énergétique.

Les approches du PCI au Québec montrent une certaine évolution. À cet effet, la troisième pratique illustrée à la page 34 correspond à une pratique acceptable pour atteindre une durabilité satisfaisante dans un contexte actuel. Elle permettra à l'organisation d'atteindre une meilleure maturité afin d'obtenir de meilleur résultat à l'avenir.

<sup>4</sup> La « conception détaillée » est une phase de conception aussi nommée « développement de la conception ».

# Approche du PCI 1 au Québec :



## Charrette 1 (Durée ½ à 1 jour) :

### Alignement des attentes et objectifs du client :

- Obtenir les objectifs, les attentes et les demandes du client ;
- Clarifier les objectifs du programme fonctionnel et établir les cibles de performances ;
- Définir le niveau de certification LEED à atteindre seulement si le client l'exige ;
- Générer des stratégies potentielles pour atteindre les cibles de performance ;
- Déterminer la magnitude des impacts sur les coûts des stratégies potentielles proposées ;
- Déterminer les rôles et responsabilités, les livrables et les experts selon les prises de décisions ;
- Initier la documentation des exigences de projet du client ;
- Établir un agenda comprenant les objectifs, les intrants requis ainsi que ceux qui en sont responsables, les options à étudier et les résultats attendus.
- Évaluation par le groupe de l'efficacité et l'efficience dans la conduite de l'atelier à la fin

### Description :

La perception du PCI au Québec se limite trop souvent à un ou plusieurs ateliers d'une journée ou moins, qualifiés de charrettes. Ces ateliers consistent fréquemment en de la coordination et des présentations au client. La feuille de route des ateliers se concentre sur la liste de contrôle de LEED et non sur un exercice d'optimisation multidisciplinaire à la recherche de solutions innovantes. Malgré les bénéfices d'une réduction des erreurs et omissions par une meilleure coordination, on perd ainsi une opportunité d'optimiser les solutions de conception et d'atteindre une synergie des systèmes à l'aide de l'évaluation de cycle de vie, l'analyse du coût global, l'analyse de la valeur du bâtiment ou l'intégration du constructeur et de l'agent de mise en service en amont du processus. Ainsi, la synergie d'équipe et la synergie des systèmes ne peuvent pas être atteintes et on obtient souvent des bâtiments moins performants, moins innovants et moins durables.

Figure 11 : Approche 1 du PCI au Québec inspiré des recherches de l'auteur

**Proche du PCI 2 Québec :**

Estimation préliminaire, intermédiaire et finale du coût global

Effectuer une simulation énergétique préliminaire et finale pour valider les cibles de performance

Opération

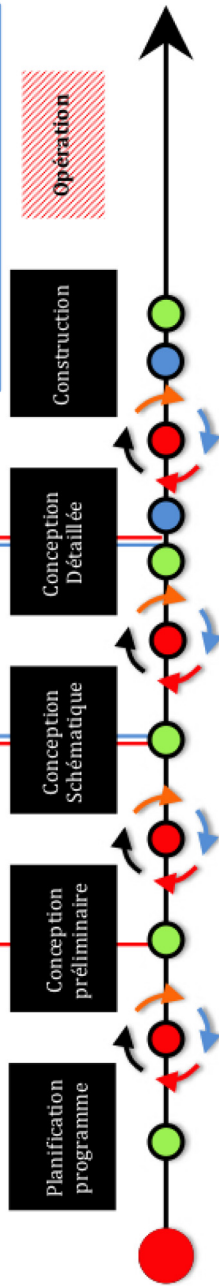
Planification programme

Conception préliminaire

Conception Schématique

Conception Détaillée

Construction



### Alignement des attentes et objectifs du client

- Charrette 2 (Durée : 1 jour) :**

- Établir l'agenda de la charrette 2;
- Générer les alternatives du concept final du bâtiment et du site :
  - Explorer la forme du bâtiment versus sa consommation d'énergie, le confort des occupants, le potentiel du site : la densité, l'exploitation des vues, l'orientation et l'adéquation de la forme avec le contexte du projet (aspect bioclimatique, communautaire, réglementaire, etc.) ;
  - Développer et évaluer les alternatives selon le site et la configuration du bâtiment, en fonction des explorations.
- Évaluer par le groupe l'efficacité et l'efficacité dans la conduite de l'atelier.

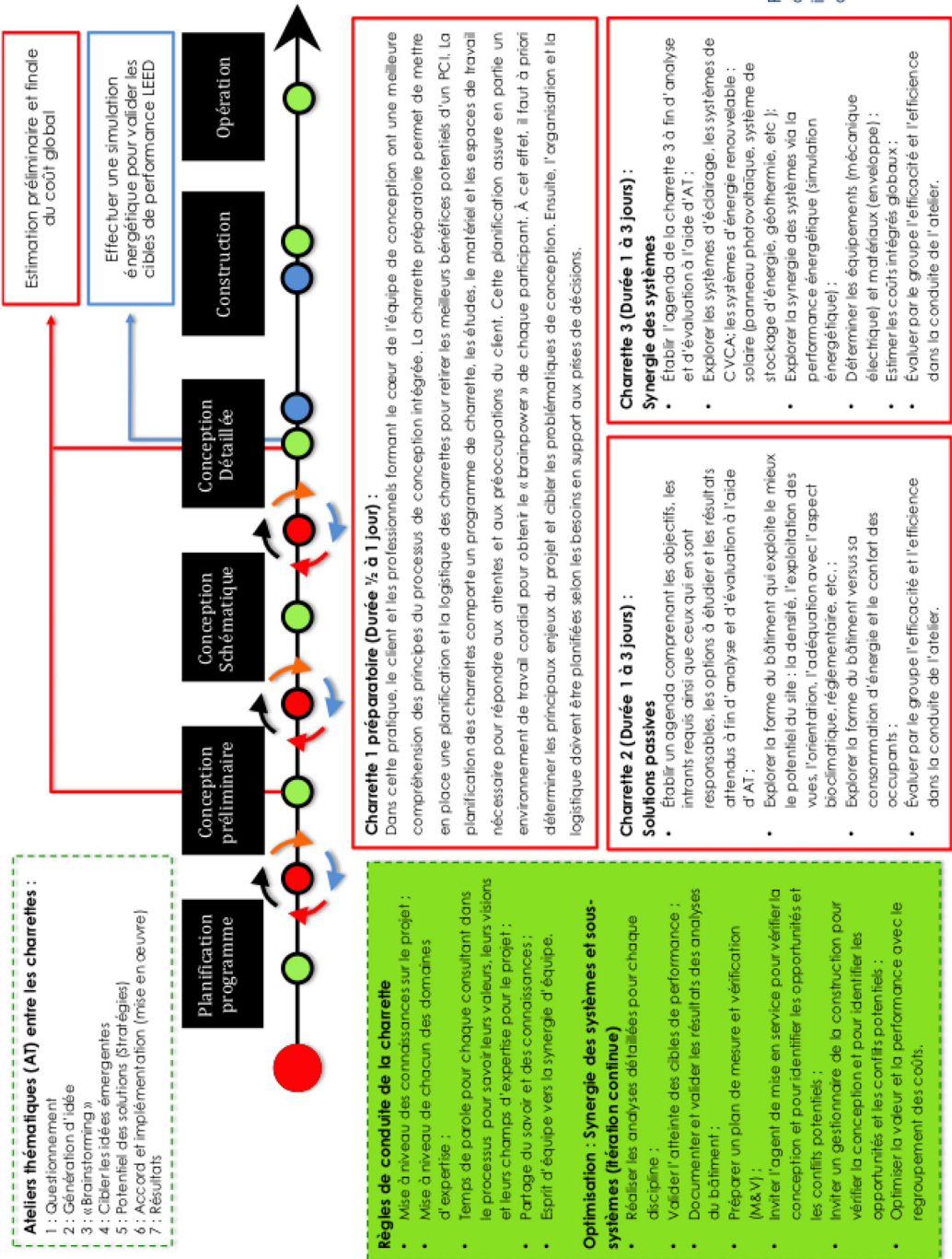
### Lancement de la conception schématique

- Charrette 4 (Durée: 1 jour à 2 jours) :**

- Établir l'agenda de la charrette 4;
- Intégrer l'entrepreneur ou le constructeur ;
- Évaluer la synergie des systèmes via la performance énergétique ;
- Identifier et analyser les composantes de systèmes qui requièrent une analyse de coût approfondie ;
- Procéder au choix des systèmes, des équipements et des matériaux (enveloppe) ;
- Estimer le coût intégré global.
- Évaluer par le groupe l'efficacité et l'efficacité dans la conduite de l'atelier.

33

# Approche du PCI 3 au Québec :



# Approche proposée du processus de conception intégrée de Nils Larsson

## Approche du PCI de Nils Larsson (maturité 4)

Cette approche est structurée selon les composantes et les systèmes du bâtiment tels que présentés à la figure 14 et est centrée sur la maximisation de la performance énergétique. Elle décrit une méthode systématique qui présente une description formelle des tâches et responsabilités des intervenants principaux à travers le chemin critique du processus de conception intégrée. Autrement dit, Larsson présente une synthèse des jalons du processus de conception intégrée et des charrettes. Cette approche structure l'intégration et l'optimisation des systèmes via : 1) l'exploration d'alternatives; 2) l'analyse de la performance énergétique; 3) le développement des options; 4) le choix des options (analyse et validation) ; et 5) l'intégration des choix conceptuels dans les documents de construction. Dans l'approche de Larsson, le choix des options est basé sur l'analyse énergétique, l'évaluation de la performance des systèmes, l'analyse du coût global et l'évaluation du cycle de vie afin d'introduire la performance énergétique et les impacts environnementaux dans la prise de décision. La représentation graphique de l'approche de Nils Larsson, présentée aux pages 35 à 38, correspond à une très bonne pratique. Par contre, elle est très technique et ne considère pas une vision élargie du développement durable comme le fait l'approche de Reed.

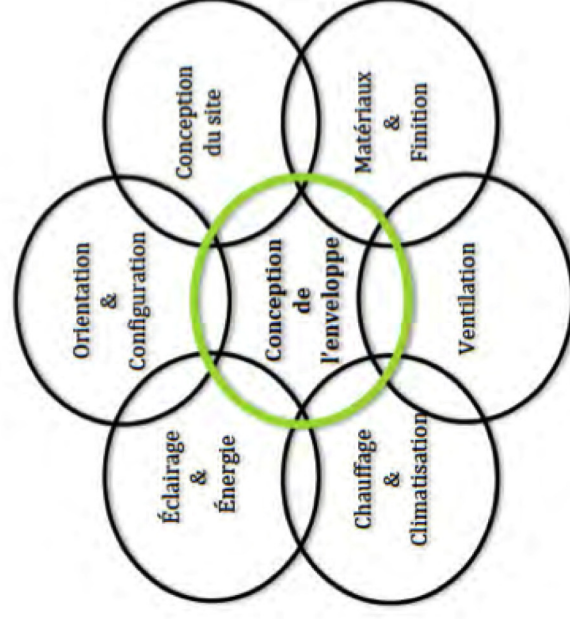


Figure 14 : Diagramme du PCI inspiré par Larsson (38)

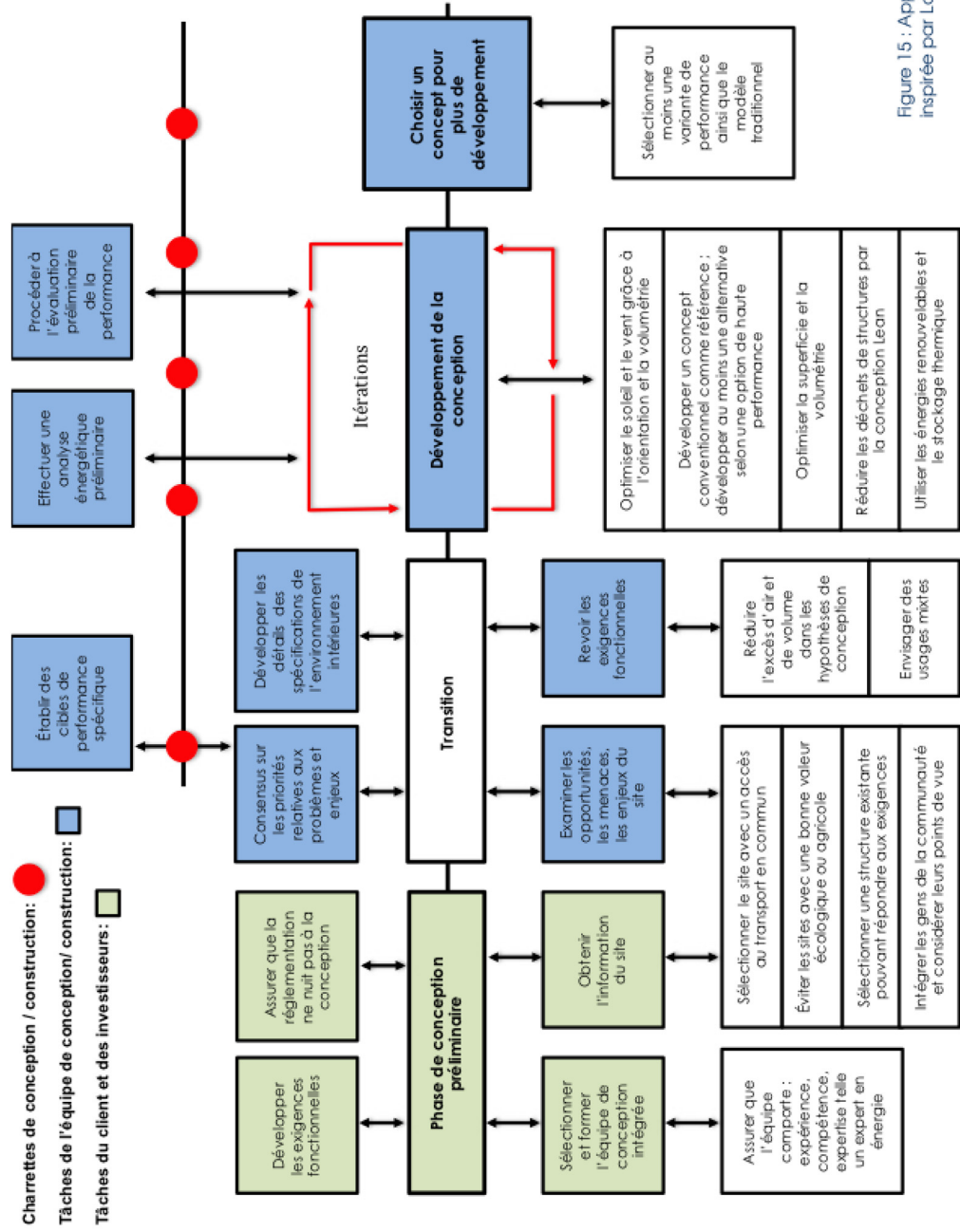


Figure 15 : Approche du PCI  
inspirée par Laisson 1/3

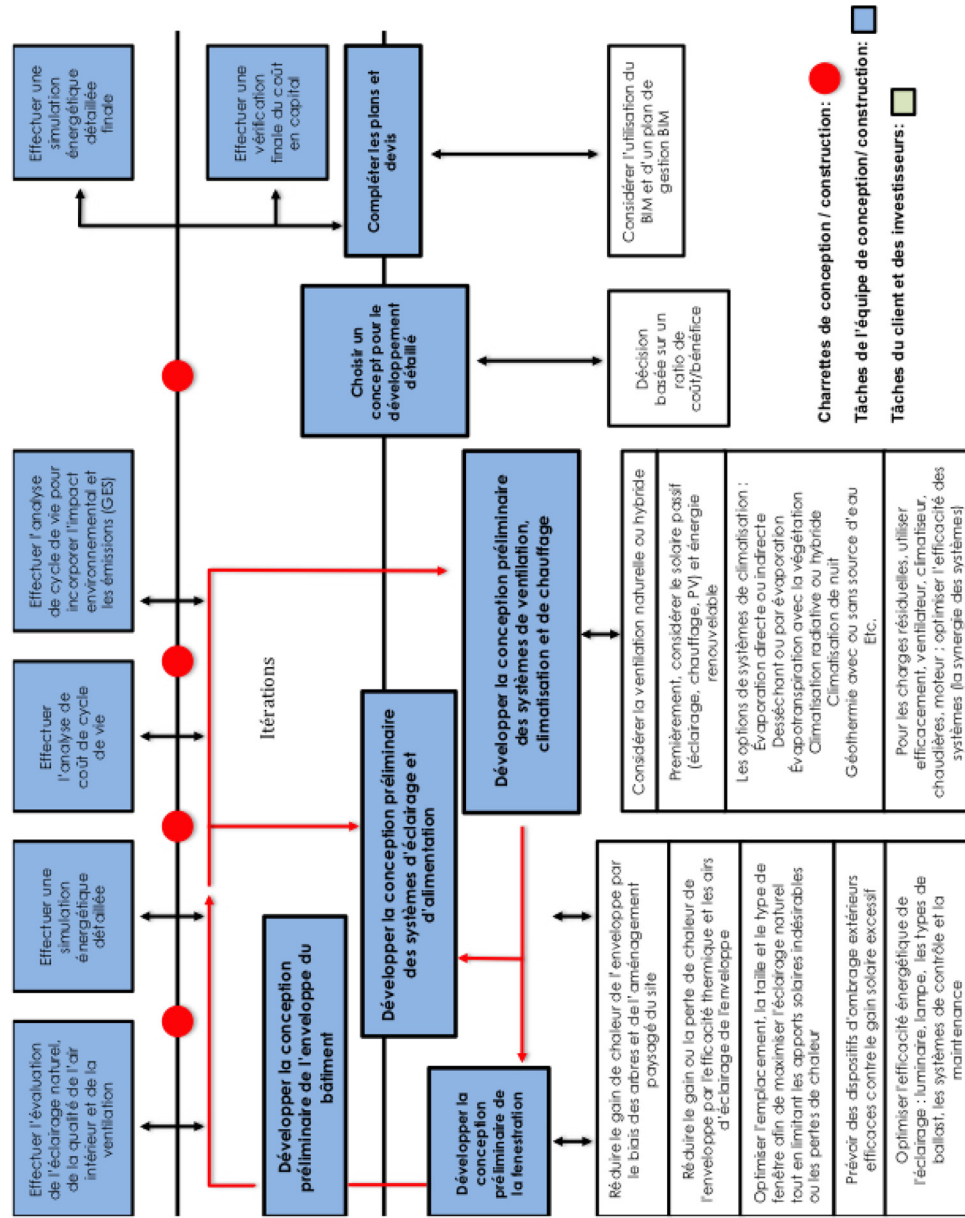


Figure 16 : Approche du PCI inspirée par Lisson 2/3

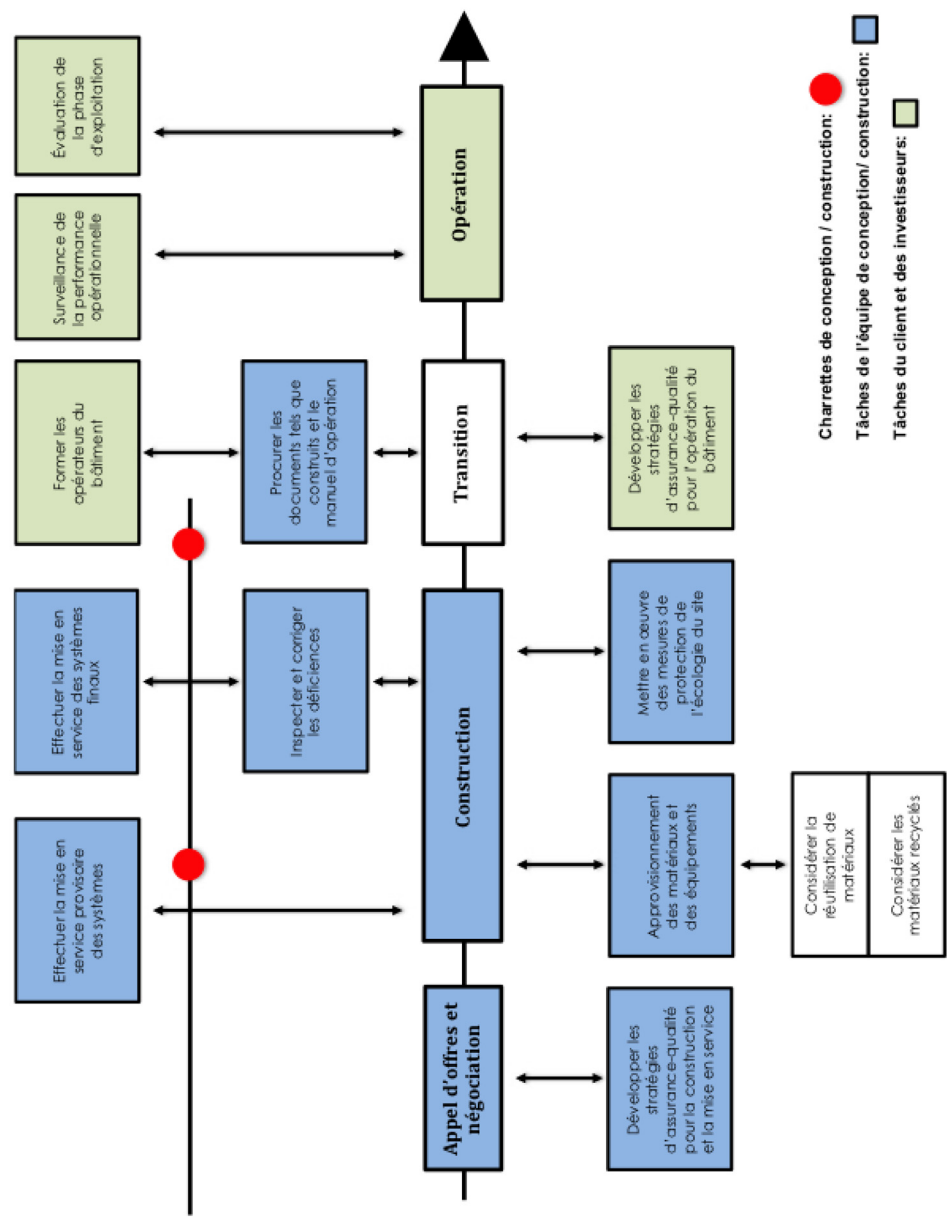


Figure 17 : Approche du PCI inspirée par Larsson 3/3

## Approche du processus de conception intégrée inspirée de Busby et Reed

### Approche du PCI inspirée de Busby et Reed (maturité 5)

Cette approche propose une conception de bâtiments écologiques qui vise la restauration ou la régénération d'écosystèmes. Elle considère des ensembles beaucoup plus larges qui exigent un niveau de maturité élevé à l'équipe de conception intégrée. Busby et Reed apportent une vision plus flexible que celle de Larsson. Elle comporte deux différences fondamentales avec celle de Larsson. L'approche de Larsson impose une séquence pour l'optimisation, tandis que Reed suggère que l'équipe développe et s'entende sur un plan de travail décrivant la séquence et les rôles et les responsabilités pour l'optimisation (voir figure 19). Un élément-clé dans l'approche Busby et Reed, est le modèle d'apprentissage divergent-convergent utilisé pour amener le groupe de conception à innover (voir figure 18). Il vise à stimuler la génération d'idées innovantes et les synergies les individus explorent (individuellement ou en petits groupes) diverses possibilités et identifient des solutions potentielles lors d'ateliers thématiques. Ensuite, la zone des pensées convergentes, vise à analyser les diverses possibilités et leurs contradictions pour les faire converger vers les propositions les plus prometteuses à travers les charrettes de conception, et ce, dans le processus itératif de recherche et analyse. Par ailleurs, les thématiques à la figure 19 illustrent les ensembles considérés dans les séances thématiques de remue-ménages. Ces thématiques s'intègrent progressivement dans l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Cette approche comporte : 1) l'intégration d'ensembles et de systèmes; 2) les activités et tâches de charrettes; l'intégration des parties prenantes importantes; 3) l'effort d'itération; 4) le processus d'apprentissage divergent-convergent; et 5) le mode de travail de l'équipe. Par conséquent, cette approche cible les principes d'une bonne pratique de conception intégrée et holistique du bâtiment en symbiose avec son environnement.

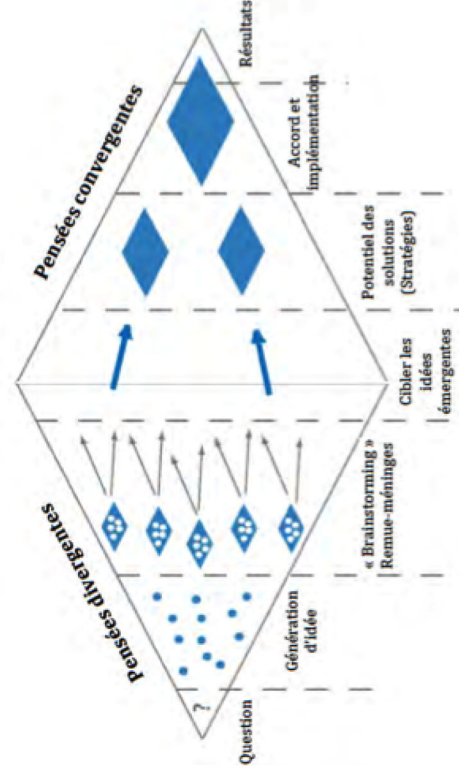


Figure 18 : Modèle d'apprentissage divergent-convergent (3)

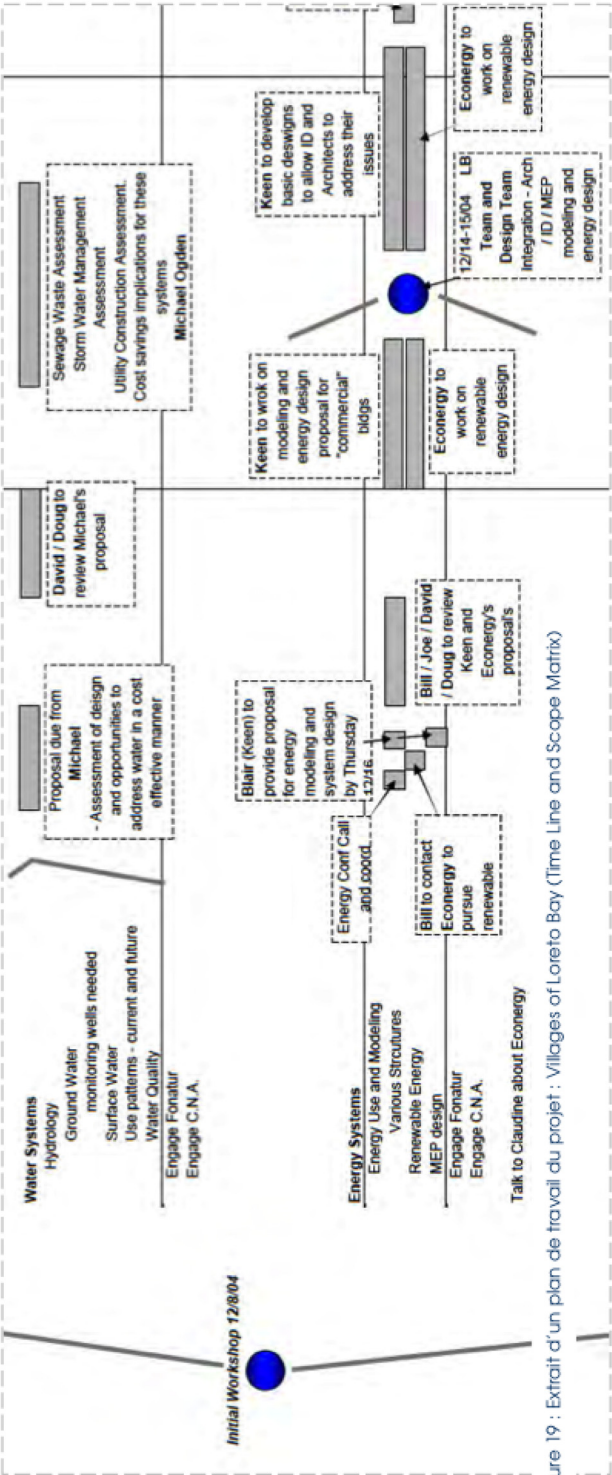


Figure 19 : Extrait d'un plan de travail du projet : Villages of Loreto Bay (Time Line and Scope Matrix)

Plan de travail :

Le plan correspond au flux de travail des activités thématiques des ateliers et charrettes. Il est représenté sous la forme d'un diagramme de Gantt incluant les effectifs, leurs rôles et responsabilités, la période et la durée des activités ainsi que les marges de temps permettant une certaine flexibilité. Ce type d'échéancier est relié aux problématiques, aux sujets de réflexions qui guident la prise de décision dans le processus de conception intégrée. Contrairement à l'approche de Larsson qui impose un processus, ce plan de travail est préparé (feuille de route) en collégialité par les parties prenantes. La figure 19 montre un exemple précis de ce qu'un flux de travail peut représenter. On peut observer dans cette figure comment les tâches et les activités peuvent être reliées aux thématiques de l'eau et de l'énergie à travers un schéma similaire à un diagramme de Gantt. D'autres thématiques sont abordées dans ces plans de travail tels que ceux présentés à la figure 19. À travers ces thématiques, les jalons suivants sont souvent considérés : le plan de charrette, la recherche et la collecte de données, l'évaluation des données, les systèmes passifs et technologiques, l'itération et la réévaluation ainsi que les présentations aux parties prenantes.



Figure 20 : Diagramme du PCI inspiré par Busby et Reed (3, 4)

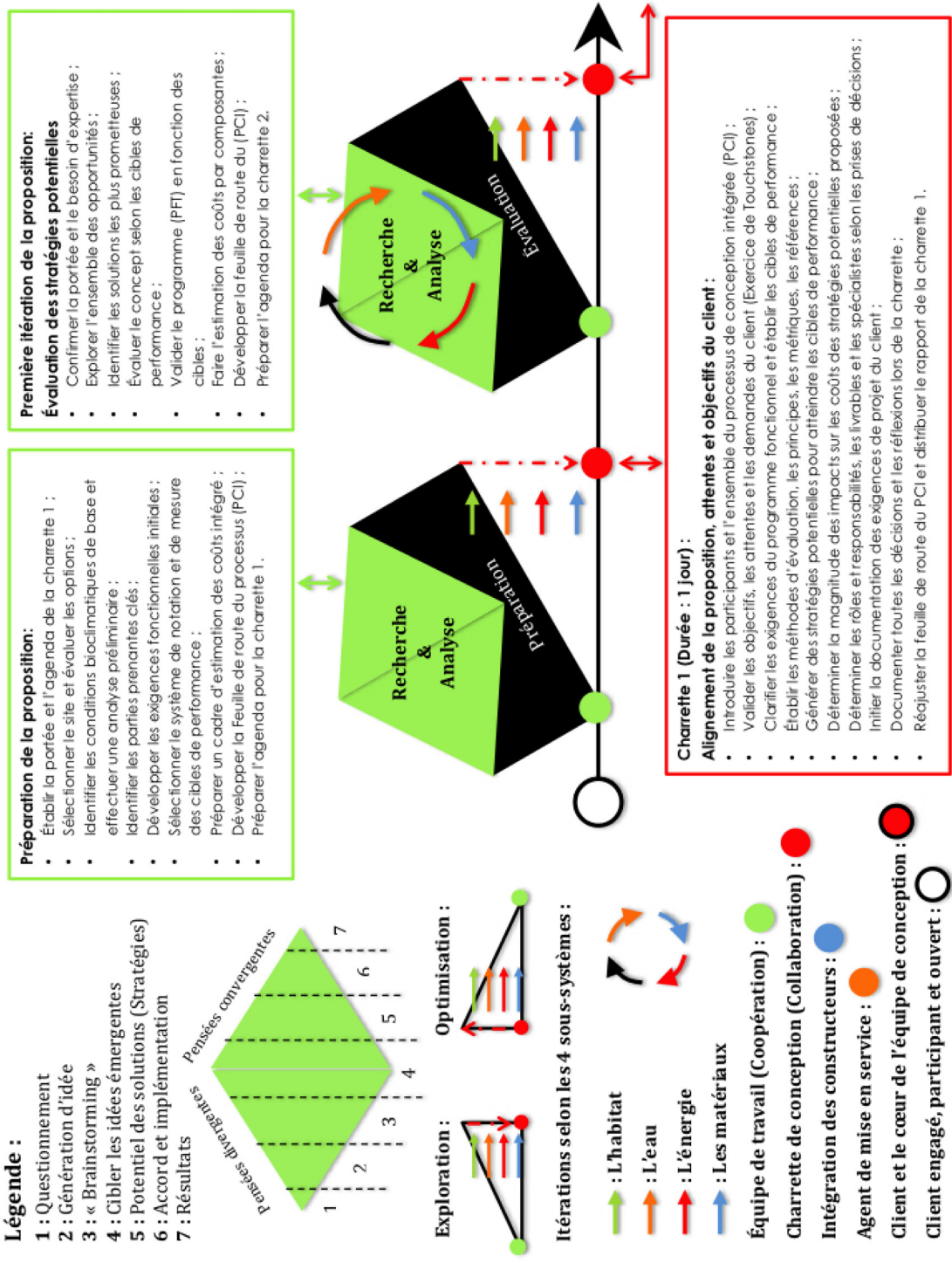


Figure 21 :  
Approche du PCI  
Inspiré par Busby et  
Reed 1/3 (3, 4)

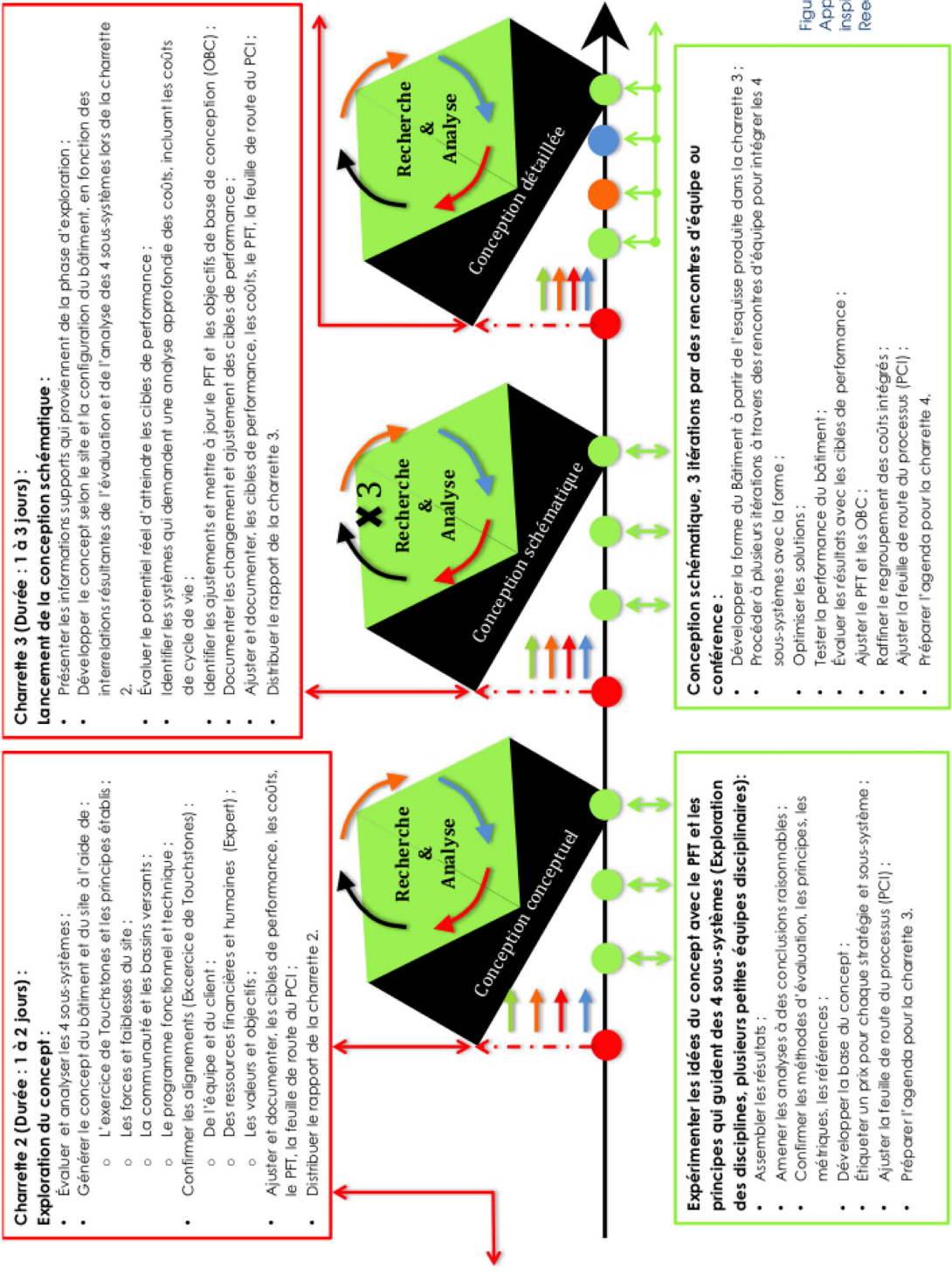


Figure 22 :  
Approche du PCI  
inspiré par Busby et  
Reed 2/3 (3, 4)

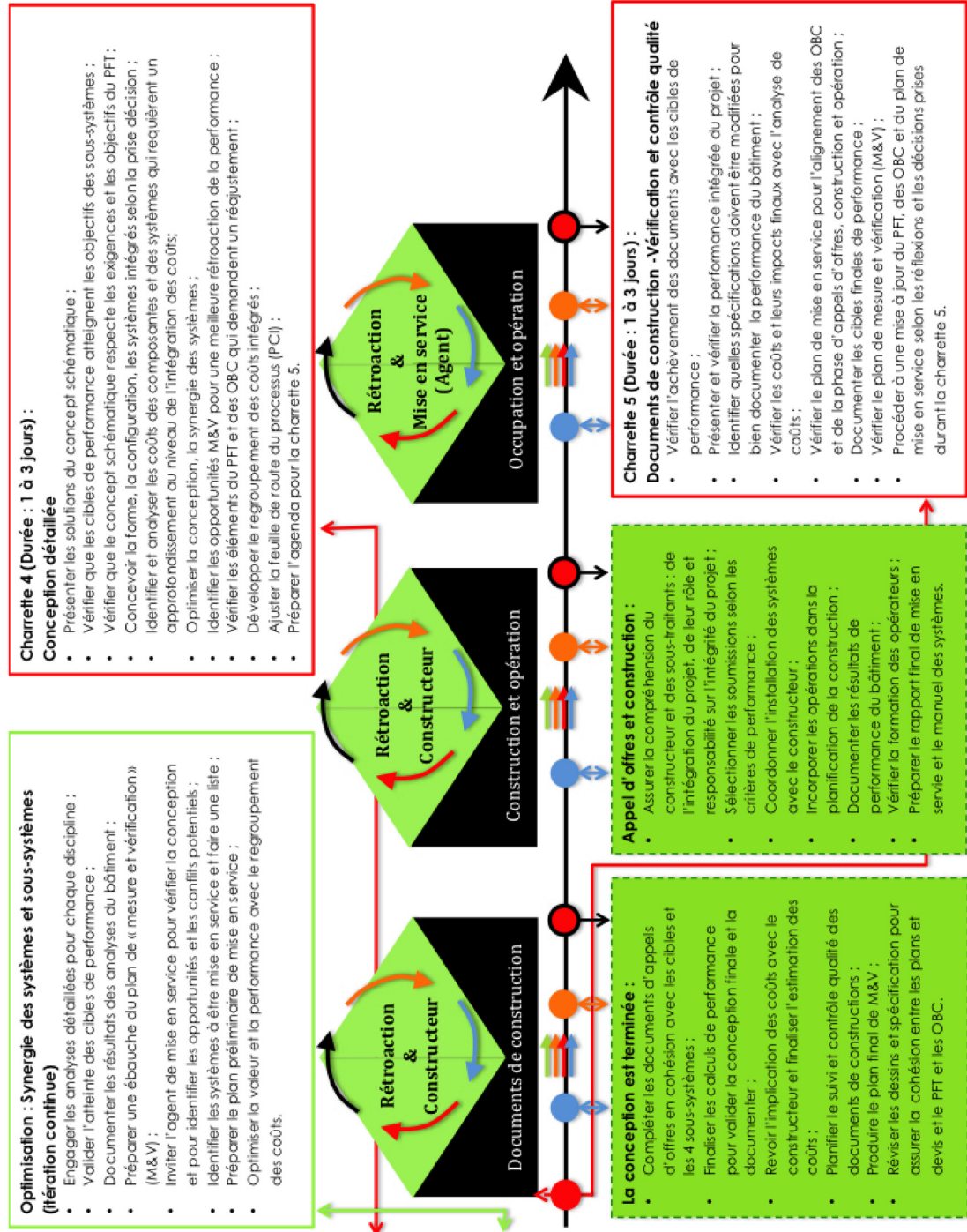


Figure 23 :  
Approche du PCI  
inspiré par Busby et  
Reed 3/3 (3, 4)

## SECTION 5 :

### Matériel complémentaire :

#### Conception intégrée - Charrette & Processus

La section 5 présente une version simplifiée des jalons et des éléments du chemin du processus de conception intégrée (PCI) à travers des charrettes de conception inspirées de celle de Busby et Reed présentée dans la section 4 du guide. Il s'agit d'une feuille de route sommaire pour une bonne pratique de la conception intégrée. Cette section énumère les activités typiques du PCI avec quelques explications supplémentaires pour détailler certains éléments, et ce, dans deux phases soient : la phase exploratoire (préparation et évaluation des alternatives) et la phase de conception (optimisation des alternatives). Celles-ci comportent 7 jalons à travers 5 charrettes de conception. Ces jalons représentent la séquence proposée des charrettes à la page 15 introduite dans un PCI (voir l'encadré de droite) Chaque jalon décrit les ressources et les éléments pertinents à une bonne conduite du PCI. À travers la feuille de route, on retrouve certains aspects sur la gestion de projet, la gestion de charrette, la simulation énergétique, les réunions, la prise de décision, etc.

#### Les 7 Jalons proposés - Charrette & Processus

##### Phase exploratoire - Préparation et évaluation des alternatives

- Jalon 1) Recherche et analyse préparatoire
- Jalon 2) Charrette préparatoire et d'évaluation
- Jalon 3) Charrette 1 : Établir et aligner les cibles et objectifs de performance
- Jalon 4) Charrette 2 : Développement des concepts alternatifs

##### Phase de conception - Optimisations des alternatives

- Jalon 5) Charrette 3 : Développement des concepts schématiques
- Jalon 6) Charrette 4 : Développement de la conception et de la documentation
- Jalon 7) Charrette 5 : Rétroaction et leçons apprises



## Phase exploratoire - Préparation et évaluation des alternatives

La phase exploratoire permet de préparer et d'évaluer toutes les possibilités de solutions conceptuelles à l'aide d'un programme fonctionnel et technique (PFT) flexible, de l'impact environnemental et énergétique, ainsi que de l'intégration du projet dans le contexte. À ce moment du processus de conception intégrée, les professionnels cherchent à questionner le PFT (est-il optimisé?), à comprendre l'environnement du projet et les possibilités de bénéficier des ressources externes, passives ou renouvelables<sup>5</sup> et comprendre la façon dont les systèmes peuvent interagir les uns avec les autres sur le plan conceptuel. Les jalons 1 à 3 sont les étapes à suivre dans cette phase.

## Phase de conception - Optimisation des alternatives

La phase de conception permet l'optimisation des solutions par le biais des itérations. À cette étape, l'itération prend tout son sens puisque l'équipe de conception devra développer des solutions de conception optimisées et intégrées des systèmes et sous-systèmes : électrique, mécanique, structure, génie civil, énergie, matériaux, eau, flore, faune, communauté, etc. Ainsi, l'équipe de conception devra rechercher la conception la plus optimale soutenue par la recherche et l'analyse, l'apport de consultants spécialistes, l'utilisation d'outils de simulation et de références pour valider l'atteinte des cibles et objectifs de performance préétablis. L'équipe cherche à trouver l'efficacité dans les interrelations entre les systèmes et sous-systèmes selon les objectifs, les stratégies et mesures (OSM) et le programme fonctionnel et technique. Par ailleurs, la participation du constructeur ainsi que l'expert en modélisation énergétique deviennent très pertinents à cette phase. Les jalons 4 à 7 sont les étapes à suivre dans cette phase.

<sup>5</sup> Les ressources externes correspondent aux éléments primaires : géothermie, récupération des eaux de pluie, ventilation et éclairage naturel, etc.

## Mode d'approvisionnement en conception intégrée

Le mode d'approvisionnement en conception intégrée (CI) doit favoriser la collaboration et l'innovation dans un climat de confiance. Selon le cadre d'approvisionnement (39) (voir tableau 6), le mode d'approvisionnement se divise en trois formes soit : intégrée, fractionnée et négociée. Les formes intégrée et fractionnée sont d'ordre transactionnel, tandis que la forme négociée peut être d'ordre transactionnel ou relationnel. Le contrat transactionnel représente un accord ponctuel suivi d'une relation développée durant l'atteinte des engagements contractuels (40). À cet effet, toutes modifications et amendements augmentent les coûts de projet. Toutefois, les ententes de nature transactionnelle peuvent nuire à la collaboration et à l'innovation dû au transfert en aval des risques reliés aux incertitudes du projet (44). À l'opposé, le contrat relationnel se développe en tenant compte de l'imprévisible (41) (voir figure 23). Ce type de contrat est basé sur la reconnaissance et la recherche de bénéfices mutuels entre les parties (13). Celui-ci implique des relations importantes entre les parties grâce notamment à des partenariats ou à des alliances (42). Axé sur la confiance, le partage des objectifs, des risques et des récompenses, le contrat relationnel s'avère plus favorable au travail collaboratif (43).

Par conséquent, les modes les plus favorables à l'établissement de la CI sont la forme intégrée ou négociée. Le plus souvent au Québec, la forme intégrée se retrouve dans le « Design-build » et le partenariat public-privé (PPP) et la forme négociée se retrouve en gérance de construction. Le mode de gérance de construction et le « Design-build » favorisent l'apport en amont du constructeur et parfois des opérateurs autour de la table de conception.

Malgré les avantages de ces modes d'approvisionnement pour le PCI, il reste que la forme la plus répandue au Québec est l'approvisionnement fractionné. Dans ce dernier cas, il est essentiel lors d'appels d'offres de discuter avec les soumissionnaires des questions du développement durable du projet et de s'assurer leur compréhension du projet intégré, des composantes et des systèmes. La compréhension des constructeurs et opérateurs des interrelations entre les systèmes permet d'assurer la mise en service des solutions telles que conçues et d'obtenir les résultats attendus. Sans cette sensibilisation, les spécialistes de la construction auront tendance à exécuter les travaux selon les règles de l'art, c'est-à-dire d'une manière conventionnelle. Par exemple, les problèmes de CVAC sont parfois reliés à une mauvaise étanchéité de l'enveloppe du bâtiment due à la non-conformité de l'assemblage des composantes (fenestration et systèmes muraux). Cette situation crée souvent des installations fonctionnelles moins performantes aux documents de construction (plans et devis, dessins d'atelier, plans de mise en service, etc.). Quand il s'agit de bâtiments performants, la mise en service est primordiale, car les systèmes doivent être bien installés et intégrés (45).

Tableau 6 : Cadres d'approvisionnement (39)

Forme d'approvisionnement	Explication	Exemples
Intégrée	Il existe un seul contrat pour la conception, la construction et quelquefois le financement	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conception- construction (design-build)</li><li>• BOT, DBOT, DBOOT et autres</li><li>• Partenariat Public-Privé</li></ul>
Fractionnée	Les professionnels et les constructeurs ont des contrats séparés qui sont souvent de natures forfaitaires	<ul style="list-style-type: none"><li>• Construction traditionnelle (design-bid-build)</li><li>• Entrepreneur-gérant</li><li>• Concours</li></ul>
Négociée	Le client et l'équipe de projet sont liés par une ou des ententes axées sur la collaboration	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gérance de construction (avec aviséur, à semi-risque, à risque)</li><li>• Partenariat (« partnership »)</li></ul>

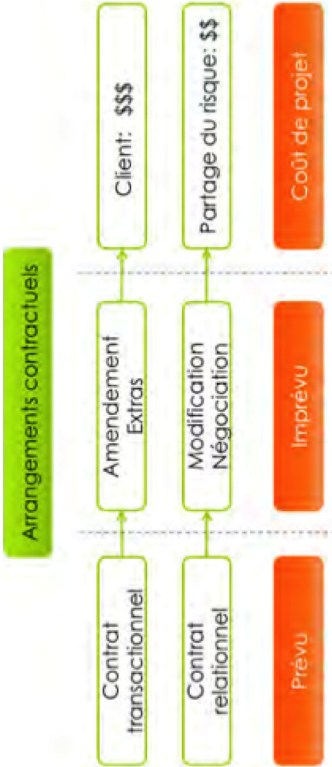


Figure 24 - Arrangements contractuels-Imprévisibilité

## Les 7 Jalons proposés - Charrette & Processus

### Phase exploratoire - Préparation et évaluation des alternatives

#### Jalon 1) Recherche et analyse préparatoire :

Participants : Cœur de l'équipe + Client

- 1.1 Recherche d'information pour se familiariser avec la nature du projet avant le commencement des charrettes et du processus de conception intégrée. Ci-dessous, y sont présentés les éléments du projet, c'est-à-dire le site et le contexte local.

#### 1) Site :

- Localisation et orientation (occupation voisine et concept)
- Condition bioclimatique : air, eau, faune, flore, vent, ensoleillement etc.

#### 2) Contexte local :

- Vocation du projet (Mission)
- Communauté (Qualité de vie et sécurité)
- Historique du quartier (culturelle)
- Politique
- Économique
- Environnemental
- Énergétique
- Transport (circulation)
- Logement
- Parties prenantes

Responsable : Le gestionnaire de projet, le PA LEED et les professionnels (Arch. & Ing.).

#### Jalon 2) Charrette préparatoire et d'évaluation

Participants : Cœur de l'équipe + Client

##### 2.1 Évaluation du contexte et détermination des OSM Document sur les objectifs, stratégies et mesures (OSM) :

- 1) L'équipe de gestion de projet détermine les objectifs selon les données de recherches et d'analyse;
- 2) L'équipe élabore les cibles de performance;
- 3) L'équipe énumère les stratégies pour atteindre chaque objectif et cible, ainsi que les mesures pour y parvenir;
- 4) Les exigences de modélisation énergétique sont déterminées et comprises par le client ainsi que le cœur de l'équipe de conception;
- 5) La rédaction de la charte de projet.

Responsable : Rédaction du document par le secrétaire et validé auprès des parties prenantes pour obtenir un consensus entre les parties.

#### Charte de projet :

L'énoncé de projet doit contenir la mission, le contexte et les résultats escomptés du projet, et ce, en référence avec le document des OSM. Ce document sera utile lors de l'intégration des consultants-spécialistes lors des charrettes afin de faciliter et d'accélérer leur compréhension globale du projet. Les éléments clés de la charte de projet sont les suivants : le contexte du projet, la description, les problématiques à résoudre et les opportunités à saisir, les besoins et exigences, les rôles et responsabilités ainsi que ce qui est inclus et ce qui est exclu de la solution globale.

Responsables : Le client et le gestionnaire de projet

2.2 Identification et analyse des parties prenantes

- 1) Créer une liste d'intervenants qui doivent être impliqués
- 2) Créer une liste des points de vue des parties prenantes
- 3) Identifier les parties prenantes pour chaque point de vue
- 4) Déterminer le niveau d'intérêt et d'influence des parties prenantes (positif et négatif, direct et indirect)
- 5) Déterminer ce qui constitue un gain pour les parties prenantes
- 6) Indiquer le niveau de participation de chacune des parties prenantes
- 7) Assurer une répartition des types de parties prenantes
- 8) Analyser de la complexité du projet

Responsable : Le client, le gestionnaire de projet et les professionnels (Arch. & Ing.).

Analyse de la complexité du projet

Questionnement en fonction de différents aspects du projet tels que le budget, le temps, les approbations, le site, la politique, le transport et l'économie. Cette analyse permet d'envisager l'ensemble des problèmes de conception à résoudre. La connaissance du niveau de résolution de problèmes complexes permettra de déterminer selon les OSM et les exigences du client :

- Besoins en recherche et analyses nécessaires
- Nombre et durée des charrettes
- Besoins d'expertises supplémentaires
- Feuille de route (planification des activités, résultats et parties prenantes)
- Plan de charrette (les rôles et responsabilités de chaque intervenant)

2.3 Formation de l'équipe de charrette

- Former une équipe multidisciplinaire, compétente, complémentaire et avec l'expertise pertinente aux attentes environnementales.

Note : voir : Formation de l'équipe, section 2, page 17.

Responsables : Le client, le gestionnaire de projet et le facilitateur.

2.4 Recherche et analyse croisées avec le plan de charrette

- Le plan de charrette contient les éléments ci-dessous :
  - o Activités, tâches, la durée et les responsabilités attribuées
  - o Rencontre, participants, atelier technique et charrette

Responsable : Le facilitateur.

Étape optionnelle

2.5 Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM)

- Outils de prises de décision (vote pondéré, matrice décisionnelle)

Définition de (FFOM)

Selon la Commission européenne, le FFOM est un outil d'analyse stratégique. Il combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation, d'un territoire, d'un secteur, etc., avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. « Autrement dit, la matrice FFOM est un outil qui contribue à l'évaluation de la cohérence et de la pertinence d'une stratégie d'ensemble.

Responsables : Le client et les professionnels (Arch. & Ing.).

## 2.6 Les études de faisabilité du projet à l'aide de la matrice FFOM

*Responsables : Le client et le gestionnaire de projet.*

### 2.7 Rédaction du rapport de charrette préparatoire :

- Agenda de la charrette;
- Mission et les livrables du projet;
- Feuille de route;
- Analyse des parties prenantes;
- Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces;
- Étude de faisabilité du projet;
- Section sur l'histoire de la communauté.

*Responsable : Le facilitateur.*

### 2.9 Programmation de la charrette

*Responsable : Le facilitateur.*

#### 2.10 Prise de décision :

Le client et l'équipe de conception établissent les règles de prises de décision pour la durée complète des charrettes.

- Consensus avec droit de regard et autorisation du client.

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet (PA, LEED), le facilitateur et les professionnels.*

### Agenda

La feuille de route générale pour l'ensemble du projet s'accompagne d'un agenda pour chacune des charrettes afin de guider les professionnels. Ainsi, créer l'ordre du jour pour chacune des charrettes et définir pour chaque élément :

- Le sujet;
- L'objectif;
- Le demandeur, le présentateur; une estimation de la durée;
- Les documents de préparation;
- Description des outils et techniques qui seront utilisés.

*Responsable : Le facilitateur.*

### Charrette – Faciliter les prises de décision :

- S'assurer que tous les participants soient présents et préparés.
- S'assurer de mettre en place un processus de résolution de problème adapté et optimal.
- Envoyer les documents pertinents aux participants (Avant la rencontre)
- Pendant la rencontre :
  - o S'assurer que toutes les parties prenantes importantes soient présentes
  - o Commencer par une mise en contexte et un partage d'information (factuel).
  - o Tour de table pour un partage sommaire des points de vue de chaque participant
  - o Application des approches et techniques appropriées
- S'assurer que les décisions influentes sur la direction du projet respectent les OSM.

2.11 Disposition de la salle pour chaque type de charrette

- Créer une atmosphère de collaboration selon les types d'activités qui doivent se produire lors de la conception.

Responsable : Le gestionnaire de projet ou le facilitateur.

Spécification du local

- Taille adéquate selon le nombre de participants
- Prises électriques
- Zone pour les ordinateurs et copieurs
- Espace mural adéquat pour l'affichage
- Zone centrale de conférence (assemblage de tables de conférence)
- Toilettes à proximité

Équipements et fournitures

- Surface d'exposition
- Table de service (aliments et breuvages)
- Tables mobiles – table pliantes (flexibilité de la disposition)
- Chevalets de présentation
- Chaises confortables
- Fenestration (luminosité naturelle, vue extérieure)
- Codes, lois et réglementation : énergie (Régie de l'énergie du Québec), bâtiment et municipal (CNB, RDB, PIIA<sup>6</sup>)
- Plan du site à l'échelle et plan de cadastre
- Études et rapports sur le site : sol, air, eau, faune, flore, condition bioclimatique et historique.

<sup>6</sup> Les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIIA)

Jalon 3) Charrette 1 (visioning) : Établir et aligner les cibles et les objectifs de performance

Participants : Cœur de l'équipe + Client

3.1 Établir les cibles de performance pour évaluer la durabilité du projet

- Débuter l'itération afin d'élargir les horizons des membres de l'équipe pour évaluer plusieurs possibilités. On ne cherche pas à définir une seule solution.
- Explorer toutes les solutions possibles. Par le biais du travail préparatoire de l'équipe de gestion de projet, chaque membre de l'équipe de conception vient contribuer à l'élaboration des cibles et objectifs selon leurs valeurs. On cherche ensuite à obtenir un consensus.

Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels (Arch. & Ing.), le facilitateur et champion.

Exercices sur la vision (« visioning »)

Ces exercices permettent d'établir une vision commune de l'ensemble du projet et la manière d'y parvenir. Ils facilitent l'élaboration des cibles de performance de la section 3.1. Ainsi, « The Thoughtstones exercices » présentés dans le guide aux pages 14 et 15 correspondent à un tel exercice. Le « visioning » permet d'initier :

- 1) Collaboration
- 2) Processus créatif
- 3) Documentation de l'exigence de projet du propriétaire (OPP)
  - Programme fonctionnel et technique flexible

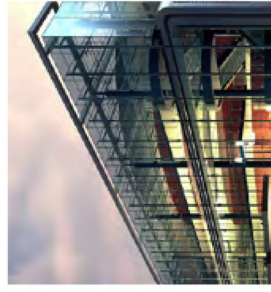
Responsables : Gestionnaire de projet, facilitateur et champion.

## Jalon 4) Charrette 2 : Développement des options

Participants : Cœur de l'équipe + Client + consultants-spécialistes

Le développement des options passe par un travail collaboratif où les participants à la charrette doivent atteindre le maximum de potentiel créatif. Elles se développent d'abord par l'exploration de solutions passives. Ainsi, on explore la forme du bâtiment qui exploite le mieux le potentiel du site versus sa consommation d'énergie et le confort des occupants. Ci-dessous, voici une séquence correspondant aux principes du modèle d'apprentissage divergent-convergent présenté à la page 39.

- 1) Discussions et réflexions sur les cibles et objectifs de performance établis lors de la charrette 1, ainsi que sur les OSM dans le but d'obtenir un consensus sur 3 approches conceptuelles.
- 2) Création d'un ensemble d'options à partir desquelles les membres de l'équipe de conception devront tréier et optimiser durant la conception intégrée.
- 3) Formation de sous-groupes de 3 à 4 personnes. Les sous-groupes explorent toute la gamme des alternatives.
- 4) Analyse critique et débat ouvert des approches conceptuelles. Cette analyse expose les forces et les faiblesses de chaque concept (90 min).
- 5) Les idées faibles sont éliminées. Les critiques positives, les bons éléments et les nouvelles idées sont conservés.
- 6) Formation de sous-groupes de 4 à 6 personnes dans le but d'obtenir 2 approches conceptuelles par itération. Les sous-groupes explorent un nouveau concept à partir des informations retirées de l'analyse critique et du débat ouvert.
- 7) Refaire les étapes 3 et 4



- 8) Les deux approches sont souvent fusionnées en une seule, en combinant les points forts de chaque concept.
- 9) Les interactions prometteuses entre les systèmes dans l'ensemble des solutions de rechange sont déterminées, évaluées, analysées par l'équipe de conception.
- 10) Les activités et techniques qui favorisent l'idéation et la créativité dans le groupe sont fortement suggérées lors de la charrette.

Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, les professionnels (Arch. & Ing.) et consultants-spécialistes.

### Responsables potentiels pour conduire la charrette :

- Le gestionnaire de projet, le PA LEED
- Le facilitateur et le champion

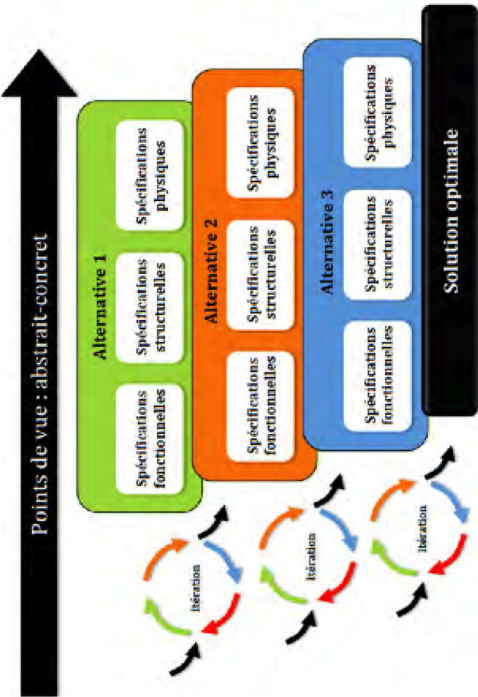


Figure 25 : Modèle de la conception inspirée de Daisey 97 (32)

**Phase de conception - Optimisation des alternatives**  
**Jalon 5) Charrette 3 : Développement des concepts schématiques**

Participants : Équipe de conception intégrée + constructeur + expert énergétique + consultants-spécialistes

**5.1 Synthèse du concept et validation avec les parties prenantes du concept**

- Si possible, le constructeur et le professionnel expert en modélisation énergétique devraient être présents lors de la charrette.

Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED).

**5.2 Prises de décision : Synergie des systèmes**

- 1) Former des sous-groupes thématiques avec les consultants-spécialistes pour résoudre les problématiques et les enjeux de conception.
- 2) Pour chaque résolution de problèmes et enjeux, proposer des solutions schématiques qui considèrent l'ensemble des éléments de l'environnement du projet.
- 3) Trouver les relations synergiques entre les solutions schématiques.
- 4) Prises de décision sur les solutions schématiques à explorer et analyser.

Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, le gestionnaire de construction, les professionnels (Arch. & Ing.) et consultants-spécialistes.

**L'intégration architecturale et des systèmes**

L'importance de la qualité et de l'intégration architecturale et des systèmes correspond entre autres à l'intégration de l'enveloppe avec les éléments structurels du bâtiment, la localisation, les éléments bioclimatiques et les systèmes de mécanique, électrique et de plomberie (MEP). Dans le cadre du processus de conception intégrée, différentes alternatives sont itérées à travers le processus créatif afin d'optimiser les solutions en un concept optimal. Les solutions retenues doivent correspondre à une intégration cohérente avec les cibles et les exigences énergétiques et environnementales du bâtiment. La figure 25 ci-dessus est une représentation simplifiée du processus créatif des alternatives lors d'un PCI avec l'évolution des points de vue et l'itération vers la solution optimale de conception.

### 5.3 Recherche et analyse : intégration des découvertes entre les différentes disciplines (Travail coopératif)

*Responsables : Le gestionnaire de projet et les professionnels (Arch. & Ing.).*

### 5.4 Analyse du coût global

*Responsable : Les consultants-spécialiste – Consultants en coûts.*

### 5.5 Ajuster le programme fonctionnel et technique et documenter les impacts dus aux découvertes et prises de décision

*Responsables : Le client et le gestionnaire de projet, le PA LEE.*

### Exigences de modélisation énergétique – intrants :

- 1) **Données thermiques de l'enveloppe :**
  - Surface de plancher, de murs, de toit et de fenestration;
  - Résistance thermique et le type de fenestration;
  - Gains thermiques internes (personnes et équipements);
  - Transfert de chaleur suivant les variations de température extérieure;
  - Charges et l'horaire d'éclairage.
- 2) **Données bioclimatiques et conditions d'intérieur**
  - Degrés-jours de chauffage et de refroidissement;
  - Températures saisonnières;
  - Débits et horaires de ventilation;
  - Efficacité de la récupération de chaleur des CVCA;
  - Hypothèses d'infiltration;
  - Efficacité de la récupération d'énergie des CVCA et les paramètres de réduction d'énergie;
  - Type d'équipement de CVCA, l'efficacité et les réglages.

### Exigence de modélisation énergétique – Extrant : les résultats de modélisation attendus

#### Consommation d'énergie mensuelle et annuelle :

- ✓ Des équipements de CVCA
- ✓ De l'eau chaude sanitaire
- ✓ De l'éclairage intérieur et extérieur
- ✓ Des équipements fonctionnels et d'autres accessoires (exemple : ascenseurs)
- ✓ Des charges de chauffage et de refroidissement selon la composition de l'enveloppe pour chaque élément : murs, toits, fenêtres, infiltration, air de ventilation, éclairage naturel et artificiel, occupant, etc.

*Note : Application des exigences de modélisation pour chaque alternative et modèle de référence mentionnées à la section : méthodes d'évaluation de bâtiment durable (MEBD). Il est important d'effectuer cette étape après que les stratégies de réduction de la charge aient été modélisées et connues (modélisation de CVC fonctionnel) Et ce, pour chaque mesure d'efficacité énergétique.*

### Jalon 6) Charrette 4 : Développement de la conception et de la documentation

*Participants : Équipe de conception intégrée + constructeur + expert énergétique + consultants-spécialistes*

#### 6.1 Valider les solutions schématiques avec les cibles de performance et les OSM

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet (les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant en coûts, et en énergie.*

Analyse de faisabilité

L'équipe de conception et les parties prenantes invitées à la charrette prennent un moment de réflexion pour analyser la faisabilité des solutions conceptuelles, l'arimage avec les cibles de performance préétablies, le coût-bénéfice et leurs impacts potentiels. Cette rétroaction est essentielle pour optimiser le temps de conception en éliminant toute solution irréaliste. Lors de ce remue-méninge, d'autres idées peuvent être développées et intégrées au développement du concept.

6.2 Vérifier l'intégration des systèmes et sous-systèmes, comme un ensemble

Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED et les professionnels (Arch. & Ing.).

Intégration de l'ensemble

L'objectif est de s'assurer que les systèmes et les sous-systèmes clés correspondent à un tout cohérent et d'éliminer les failles potentielles dans le concept. On cherche à atteindre une synergie entre les systèmes et les sous-systèmes dans le but d'obtenir une solution réaliste et optimale. Pour ce faire, il faut que l'équipe de conception approfondisse sa compréhension des interactions entre les systèmes via des études, des analyses et des simulations. L'étude de faisabilité et de leurs impacts potentiels demandent l'implication d'experts et l'utilisation de rencontre ouverte afin de valider les choix de conception avec les parties prenantes. La participation des parties prenantes aux choix décisionnels permet de conserver leurs appuis aux solutions proposées.

6.3 Initier le plan de mise en service

Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels et l'agent de mise en service

Liste d'études et analyse potentielle :

- Étude des impacts des systèmes de traitement des eaux usées et des eaux pluviales intégrés sur le site;
- Analyse des stratégies d'équilibrage de l'eau;
- Analyse et simulation de l'éclairage naturel du projet;
- Analyse et simulation de la réduction des charges du bâtiment par une modélisation intégrée via l'interopérabilité des différents logiciels de simulation (BIM);
- Modélisation paramétrique de l'énergie avec l'orientation du bâtiment, l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage et les options d'équipement de CVCA;
- Analyse des équipements de CVCA en fonction des exigences de réduction des charges et des objectifs de performance. Sélectionner un nombre restreint d'alternatives 2 à 3 équipements par fonction (ventilateur, pompe à chaleur, refroidisseur, chaudière);
- Étude des impacts des systèmes de CVCA sur les émissions et leur cycle de vie;
- Analyse des options de matériaux. Évaluer les grandes options tels la structure et les matériaux de l'enveloppe du bâtiment et leurs impacts sur l'environnement via l'évaluation du cycle de vie. Identifier et faire la liste préliminaire des systèmes qui devront être mis en service et préparer un plan préliminaire de mise en service (inclure toutes les versions et celle réajustée : PFT, OSM);
- Analyse du coût global sur une durée de vie de 30 ans.

## 6.4 Recherche et analyse : Développement du concept (Optimisation)

À l'aide des différentes études et analyses, les professionnels peaufinent et ajustent leurs solutions, en collaboration avec chaque discipline, afin d'optimiser les interrelations entre les systèmes. Lors de la recherche et l'analyse, le constructeur et l'agent de mise en service sont invités à apporter leurs commentaires afin d'obtenir des solutions réalisables. La rétroaction de ces derniers évite au concepteur de créer des solutions non optimales.

*Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant-spécialiste en énergie.*

Pour assurer une optimisation cohérente dans le développement du concept, il est préférable d'appuyer celle-ci à l'aide d'un rapport de rétroaction, d'une révision des prises de décision avec approbation du client des mesures ainsi que de valider la faisabilité avec une analyse de coût.

- Rédaction d'un rapport de rétroaction (commentaire)
- Révision de l'équipe de conception de leur prise de décision (Rapport de charrette) et approbation du client

*Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED, le gestionnaire de construction et l'agent de mise en service.*

- Conclure l'analyse de coût selon les réajustements (Valeur d'ingénierie)

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant-spécialiste en coûts.*

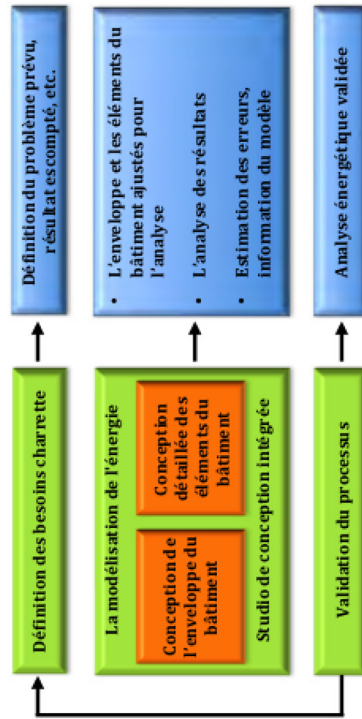


Figure 26 : Processus au début de la conception de l'analyse énergétique (46)

### Méthode et processus simplifié de simulation

La procédure de simulation et d'analyse énergétique doit être planifiée et validée afin de pouvoir exercer un pouvoir décisionnel dans les choix de conception. Le processus ci-dessus à la figure 26 présente les éléments clés afin d'assurer une méthode de modélisation énergétique valide. Il est essentiel de bien définir les besoins de simulation dans le cadre d'un PCI, de déterminer les intrants et les extrants des simulations choisies et de valider le processus attribué à la cueillette des données, à l'analyse des résultats, aux marges d'erreurs potentielles et aux limites du modèle de simulation utilisé.

Coûts et impacts financiers

Établir les coûts et les impacts financiers des solutions finales de conception selon les mesures individuelles et les interrelations entre elles. En procédant ainsi, il est possible de voir les effets croisés sur le coût global des mesures intégrées et de proposer des stratégies de réduction de coût tenant compte de l'ensemble du cycle de vie plutôt que seulement les coûts de capital. Il faut analyser les solutions et leurs effets, la performance du bâtiment et les gains durant la phase de l'opération, entretien et maintenance.

Jalon 7) Charrette 5 : Rétroaction et leçons apprises

Participants : Équipe de conception intégrée + constructeur + agent de mise en service + occupants

7.1 Constructeur, agent de mise en service et rétroaction

L'intégration du constructeur et de l'agent de mise en service assurent la conformité et la validité de chaque mesure, de chaque solution grâce à leur expertise. Leur implication permet d'obtenir des plans avec moins d'erreurs et d'omissions ce qui permet au client lors de l'appel d'offres d'avoir un coût se rapprochant du prix réel du projet avant le début de la construction. Ainsi, il y a une diminution des modifications et donc, un retour sur l'investissement assuré pour une performance ciblée.

Responsables : Le gestionnaire de projet, les professionnels (Arch. & Ing.), le gestionnaire de construction et l'agent de mise en service.

7.2 Débriefing de l'équipe de conception :

À la fin du processus de conception intégrée, la tenue d'une réunion de débriefing est conseillée pour clore la conception du projet et voir tout le travail effectué durant les cinq charrettes de conception. Suite à la réunion, un rapport des résultats devrait être rédigé afin d'évaluer le processus et la conduite des charrettes. L'équipe fait un survol des décisions et des stratégies utilisées selon les cibles de performance ainsi que les exigences et les attentes du client. Ce survol permet à l'équipe de souligner les aspects qui ont bien ou moins bien fonctionnés dans le projet, ainsi que d'explorer et de déterminer les raisons expliquant ces problèmes. Cet exercice passe également par une évaluation post-occupation (EPO) où l'équipe doit évaluer la satisfaction des occupants et partager les leçons apprises.

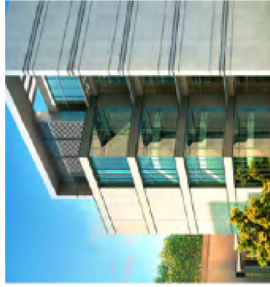
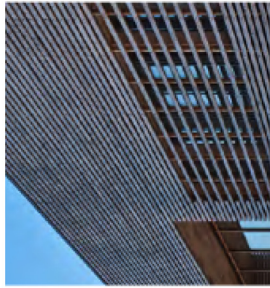
Buts du rapport :

- Évaluer l'efficacité de la charrette, clarifier les décisions prises et déterminer les directions à suivre pour la suite du projet.

Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels (Arch. & Ing.), le gestionnaire de construction, l'agent de mise en service et les occupants.

Responsables potentiels pour la rédaction du rapport

- Le gestionnaire de projet, le PA LEED, le gestionnaire de construction et l'agent de mise en service.



# CONCLUSION/RÉSUMÉ : FACTEURS CRITIQUES ET DE SUCCÈS

Tableau 7 : Facteurs critiques et de succès, principes et stratégies

Facteurs	Principes	Stratégies
Inclusion et collaboration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engagement</li> <li>Participation</li> <li>Collaboration</li> <li>Communication et partage des idées</li> </ul>	Présence du facilitateur et du champion (optionnel) durant le processus de conception intégrée.
Intention du client	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engagement</li> <li>Participation</li> <li>Collaboration</li> <li>Communication et partage des idées</li> </ul>	L'intention du client est visible lors de l'élaboration de ses préoccupations, ses exigences et ses attentes en matière de développement durable pour orienter l'équipe de conception dès le début du processus.
Équipe multidisciplinaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engagement</li> <li>Expertises et compétences</li> <li>Complémentarité</li> </ul>	La formation de l'équipe se base sur les besoins du projet et les intentions du client dès le début du processus pour sélectionner les experts en conséquence (Expertises, compétences et complémentarité).
Équipe intégrée vers des cibles et objectifs clairs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engagement</li> <li>Participation</li> <li>Consensus entre les intervenants</li> </ul>	Établir les cibles et objectifs dans une vision commune. Obtenir un consensus à l'aide d'activité de charrette tel que les activités de « visioning ».
Ouverture d'esprit et bonne écoute dans les échanges entre les acteurs et intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>Climat de respect et confiance</li> <li>Transparence du processus</li> <li>Apprentissage continu</li> <li>Communication et partage des idées</li> </ul>	Présence du facilitateur pour établir l'inclusion et la collaboration des professionnels pour le meilleur apport de chacun dû à la complémentarité de leurs savoirs et leurs expertises. Les membres de l'équipe apprennent de chacun à travers les différentes approches et points de vue lors de la résolution des problèmes de conception.
Rigueur et effort en recherche et analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Processus itératif, flexible et collaboratif</li> <li>Apprentissage continu</li> <li>Continuité et assurance qualité</li> </ul>	Processus itératif, la conception se développe progressivement. Le PCI doit répondre aux besoins, intérêts et aspirations de l'équipe et du contexte du projet. Pour ce faire, le gestionnaire utilise une feuille de route et agenda ajusté à chaque étape du processus.
Créativité et innovation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Synergie d'équipe</li> <li>Synergies des systèmes</li> </ul>	Favoriser la participation et la collaboration des membres de l'équipe et des spécialistes invités aux charrettes. Ainsi, ils doivent concevoir et tenir compte des contraintes du projet. Pour ce faire, la présence d'un PA LEED, d'un facilitateur, d'un économiste des coûts et d'un modèleur énergétique est une combinaison favorable.

# Bibliographie

1. Boucher, I., Pierre Blais et Vivre en ville, Le bâtiment durable : Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. 2010, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire p. 89.
2. Rees, M. Wackemagel, P. Testamale, W.E., Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth 1998: New Society Publishers.
3. Busby, Perkins, and Will, Roadmap for the Integrated design process 2007, Bc green building Roundtable Vancouver, p. 87.
4. Reed, B., et al., The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. 2009, New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, Inc. 397.
5. Hansen, H.T.R. and M.-A.K. Plenge, The Integrated Design Process (IDP): a more holistic approach to sustainable architecture. In The 2005 World Sustainable Building Conference. 2005, Tokyo: Action for sustainability.
6. Luculic, M., et al., Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada. 2005, Industrie Canada, p. 64.
7. Gabriel, S., Étude de l'impact de l'émergence des projets de bâtiments écologiques sur le processus de livraison de projet de bâtiment, in Génie de la construction. 2013, École de technologie supérieure : Montréal, Québec, p. 299.
8. Bill Browning and al, High-performance commercial buildings a technology roadmap. 2012: p. 20.
9. Zimmerman, A., Guide sur le processus de conception intégrée. 2006, Société canadienne d'hypothèques et de logement. p. 18.
10. Dossick, C.S. and G. Neff, Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling. Engineering Project Organization Journal, 2011: p. 83-93.
11. Yoann, E., Évaluation d'un espace de travail collaboratif assisté par ordinateur pour la conception intégrées des bâtiment, in Génie de la construction. 2009, École de technologie supérieure : Montréal/Québec, p. 117.
12. Larsson, N., The integrated design process (ISBE). 2004: p. 7.
13. Forgues, D. and L. Koskela, The influence of a collaborative procurement approach using integrated design in construction on project team performance. International Journal of Managing Projects in Business. 2009: p. 17.
14. Ibrahim, C.K.C., S.B. Costello, and S. Wilkinson, Key Practice Indicators of Team Integration in Construction Projects: A Review, in 2011 2<sup>nd</sup> International Conference on Construction and Project Management. 2011: The University of Auckland, New Zealand, p. 230-234.
15. Larsson, N., The Integrated Design Process: Report on a National Workshop held in Toronto in October 2001. 2002, Natural Resources Canada: Ottawa, p. 7.

## Bibliographie

16. Löhner, G., A. Dalkowski, and W. Sutter. *Integrated Design Process, A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design*. 2003. in Task 23. IEA: Berlin / Zug. p. 62.
17. Coles, L., *Integrated design process facilitation resource guide*. 2002: p. 78.
18. Rossi, R.M., et al. *The Integrated Design Process on Paper and In Practice : A Case Study*. in *In Proceeding of the 2009 ASC Region III Conference*. 2009. Downers Grove, Illinois, October 21-24-2009.,.
19. Rajeb, S.b., *Modélisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives en conception collaborative instrumentée*. in *Architecture*. 2012, Université Paris Est. p. 437.
20. Mulder, K.F., *L'ingénieur et le développement durable*. 2009. 243.
21. Brown, D.G., et al., *Manuel Canadien de pratique de l'architecture*. Vol. 1. 2009.
22. Fargues, D. and I. Iordanova, *Les pratiques intégrées en construction au Québec : Constats et propositions*. 2011. p. 92.
23. Lagacé, K., *Analyse de rentabilité de projets - GIA400 Note de cours - Cours 8*. 2011. p. 54.
24. Lavallée, A., et al., *Performance de la conception intégrée et intégration des technologies de l'information dans un contexte de travail multidisciplinaire*. 2011 : p. 25.
25. Thomassen, M., *BIM & Collaboration in the AEC Industry*, in *Mechanical and Manufacturing Engineering*. 2011, Aalborg University: Denmark. p. 88.
26. Milot, J., *Notions fondamentales de mesure et vérification*. 2013 : École de technologie supérieure. p. 57.
27. Derghazarian, A., *Les méthodes d'évaluation du bâtiment et du cadre bâti durable*. in *Centre universitaire de formation en environnement*. 2011, Université de Sherbrooke. p. 103
28. USGBC, *LEED 2009 for New Construction and Major Renovation Rating System*. 2009. USGBC: p. 88.
29. Lennertz, B. and A. Lutzenhiser, *The Charette Handbook*. 2006. 188.
30. Anderson, K., *Design Energy Simulation for Architects: Guide to 3D graphics*. 2014.
31. Korkmaz, S., et al., *Case studies: High-Performance Green Building Design Process Modeling and Integrated Use of Visualization Tools*. *JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING* © ASCE, 2010: p. 37-45.
32. DOMINGUEZ, G.A.R., *Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : étude des effets de synchronisation cognitive*, in *Organisation Industrielle et Systèmes de Production*. 2005, Institut National Polytechnique de Grenoble. p. 193.
33. Staub-French, S., et al., *Building information modeling (BIM): "Best practices" Project report*. 2011. p. 176.
34. Maille, T., M. Fischer, and V. Bazjanac, *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*. 2007, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE). STANFORD UNIVERSITY. p. 43.

## Bibliographie

35. Hiayama, K. and S. Kato. Analysis of influence on mechanical design process by BIM nalysis of influence on mechanical design process by BIM spread- consciousness survey to BIM by questionnaire of mechanical engineer. in 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. 2011. Sydney
36. Sebastian, R., W. Hoak, and E. Vos. BIM Application for Integrated Design and Engineering in Small- Scale Housing Development: A Pilot Project in The Netherlands, in Future Trends in Architectural Management. 2009: Tainan (Taiwan). p. 11.
37. Forgues, D. and I. Iordanova. BIM : initiation à l'implantation du Building Information Modeling. 2013, Contech Bâtiment. p. 169.
38. Relations, B.C.B.C.M.o.F.a.C., Guide to Value Analysis and the Integrated Green Design Process. 2001, British Columbia Buildings Corporation Ministry of Finance and Corporate Relations. p. 34.
39. Winch, G.M., Collaboration as an activity coordinating with pseudo-collective objects. Springer, 2002. p. 181-204.
40. Saadi, M., Implantation de l'approche relationnelle dans le domaine des services : Cas du secteur Bancaire, in Administration des affaires, 2009, Université du Québec à Montréal. p. 145.
41. Forgues, D. and J. Courchesne. La conception intégrée au Québec : Constats. 2008, Agence de l'efficacité énergétique du Québec. p. 184.
42. Bouffinon-Dumas, H., Les contrats relationnels et la théorie de l'imprévision, Revue Internationale de droit économique, 2001 : p. 339-373.
43. WALKER, D.H., K., Procurement Strategies - A Relationship-based Approach. 2003, Blackwell Science Ltd.: Oxford, UK.
44. Forgues, D. and I. Iordanova, Canevas de cadre CI-BIM : Version de paille. 2011: p. 61.
45. Whole System Integration Process (WSIP). 2007, Institute for market transformation to sustainability. p. 18.
46. Belloni, K., J. Kalima, and J.P. Seppä, First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions, in CIB IDS. 2009. p. 404.

## ANNEXE III

### PCI AVEC CHARRETTE DE CONCEPTION INTÉGRÉE PAR LE PROCESSUS DE MISE EN SERVICE ASHRAE

#### **Jalon 1) Recherche et analyse préparatoire:**

**Participants :** Cœur de l'équipe + Client + Agent de mise en service

- Le client devrait aussi établir à cette étape ses attentes et exigences par rapport à la performance énergétique recherchée et les conditions particulières en fonction de l'empreinte écologique ainsi que des conditions en termes d'occupation et d'opération. Il peut être pertinent à ce stage d'impliquer un PA-LEED ou tout autre spécialiste pouvant accompagner la démarche de construction durable. À cet égard, l'agent de mise en service est impliqué pour initier et développer la mise en service.
- Recherche d'informations pour se familiariser avec la nature du projet avant le commencement des charrettes et du processus de conception intégrée. Les études préparatoires doivent aider le client à prendre les décisions importantes, c'est-à-dire quelles sont les meilleures options pour répondre à ses besoins. Ainsi, le processus de MES débute en amont en même temps que le PCI. Ci-dessous sont présentés les éléments de la mise en service :
  - Aider le propriétaire dans la préparation des demandes de services de projets ;
  - Initier la documentation de l'exigence de projet du propriétaire (EPP) ;
  - Développer la portée et le budget du processus de mise en service ;
  - Développer la portée et le format pour le manuel des systèmes.

*Responsable : L'agent de mise en service, le gestionnaire de projet, le PA LEED et les professionnels (Arch. & Ing.).*

## **Jalon 2) Charrette préparatoire et d'évaluation :**

**Participants :** Cœur de l'équipe + Client + Agent de mise en service

### **2.1 Évaluation du contexte et détermination des OSM**

Document sur les objectifs, stratégies et mesures (OSM) :

- Les exigences du propriétaire du projet (EPP) sont déterminées et comprises par le client ainsi que par le cœur de l'équipe de conception;
- Vérifiez que les activités du processus de mise en service sont clairement identifiées ;
- Intégrer les activités du processus de mise en service dans le calendrier du projet ;
- Initier le plan de mise en service.

*Responsable : Rédaction du document par le secrétaire et validé auprès des parties prenantes pour obtenir un consensus entre les parties.*

### **2.2 Identification et analyse des parties prenantes**

Responsable : Le client, le gestionnaire de projet et les professionnels (Arch. & Ing.).

### **2.3 Formation de l'équipe de charrette et de la mise en service**

- L'agent formera une équipe composée de représentants du client pour différentes sphères du maintien d'actifs. En collaboration avec l'agent, le client doit assurer la représentativité de l'équipe de mise en service appropriée avec l'ensemble des parties prenantes ;
- Construire et maintenir la cohésion et la coopération entre les acteurs de l'équipe intégrée.

*Responsables : L'agent de mise en service, le client, le gestionnaire de projet et le facilitateur.*

### **2.4 Recherche et analyse croisées avec le plan de charrette**

*Responsable : Le facilitateur.*

## **2.5 Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM)**

- Outils de prises de décision (vote pondéré, matrice décisionnelle)

## **2.6 Les études de faisabilité du projet à l'aide de la matrice FFOM**

*Responsables : Le client et le gestionnaire de projet.*

## **2.7 Rédaction du rapport de charrettes préparatoires :**

*Responsable : Le facilitateur.*

## **2.9 Programmation de la charrette**

*Responsable : Le facilitateur.*

## **2.10 Prise de décision :**

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet (PA LEED), le facilitateur, l'agent de MES et les professionnels.*

## **2.11 Disposition de la salle pour chaque type de charrettes**

*Responsable : Le gestionnaire de projet ou le facilitateur.*

### **Jalon 3) Charrette 1 : Établir et aligner les cibles et les objectifs de performance**

**Participants :** Cœur de l'équipe + Client + Agent de mise en service

#### **3.1 Établir les cibles de performance pour évaluer la durabilité du projet**

##### **3.1.1 Produire le cadre de conception pour appuyer la stratégie de MES**

- Les représentants du client (opérateurs, gestionnaires d'équipement, directeurs, chargé de projet), les professionnels prennent connaissance du EPP et échangent avec l'agent MES pour la documentation du cadre de conception. Le cadre sert ensuite à identifier deux ou trois options qui pourraient être étudiées par l'architecte.

*Responsables : L'Agent de mise en service, le client, le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels (Arch. & Ing.), le facilitateur et champion.*

- Typiquement, le propriétaire se concentrera sur les efforts du processus de MES, sur les systèmes ou ensembles sélectionnés en fonction du budget, des systèmes ou des assemblages. Le processus de mise en service peut se concentrer sur les points suivants:
  - Infrastructure: comprend sous-sol et fondations ;
  - Enveloppe: comprend la superstructure, toit, murs, fenestration et portes extérieures ;
  - Intérieur: comprend la construction d'intérieur, murs, plancher, matériel et mobilier, et la finition des plafonds, cloisons, portes intérieures, les escaliers, et le montage ;
  - Services: comprend les contrôles, les systèmes CVCA, les systèmes électriques, et les systèmes de sécurité incendies (SSI), les systèmes de communication, les systèmes de plomberie, les systèmes de transport et les systèmes spécialisés ou technologiques ;
  - Travaux d'emplacement et aménagement paysager.

*Responsables : Le client et l'Agent de mise en service.*

##### **3.1.2 Ajuster et documenter les impacts des prises de décision sur la base des EPP**

*Responsables : L'Agent de mise en service.*

#### **Jalon 4) Charrette 2 : Développement des options**

**Participants :** Cœur de l'équipe + Client + consultants-spécialistes + Agent de mise en service

Le développement des options passe par un travail collaboratif où les participants à la charrette doivent atteindre le maximum de potentiel créatif. Elles se développent d'abord par l'exploration de solutions passives. Ainsi, la forme du bâtiment qui exploite le mieux le potentiel du site versus sa consommation d'énergie et le confort des occupants est explorée. Durant le développement des options, l'agent de mise en service devrait avoir les responsabilités ci-dessous :

- Mener et documenter les réunions de l'équipe mise en service ;
- Examiner les documents de la phase de préconception pour le respect des EPP ;
- Écrire le plan de mise en service préliminaire ;
- Suivre et documenter les problèmes et les écarts concernant les EPP ;
- Documenter la résolution des problèmes et des écarts concernant les EPP ;
- Rédiger et examiner les rapports du processus de mise en service.

#### **4.1 Approbation formelle par le propriétaire des EPP et du Plan de mise en service**

- Exigences de formation pour les installations, les systèmes et les opérations d'assemblage et de maintenance qui sont abordés dans les EPP.

#### **Documentation de la mise en service :**

- La portée et le budget du processus de mise en service ;
- Les exigences du propriétaire du projet (EPP) ;
- Le plan de mise en service ;
- Les rapports de résolutions de problèmes et d'écarts concernant les EPP ;
- Les rapports d'avancement du processus de mise en service.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

## **Jalon 5) Charrette 3 : Développement des concepts schématiques**

**Participants :** Équipe de conception intégrée + constructeur + expert énergétique + consultants-spécialistes + Agent de mise en service

### **5.1 Synthèse du concept et validation avec les parties prenantes du concept**

- Si possible, le constructeur et le professionnel expert en modélisation énergétique devraient être présents lors de la charrette.

#### **5.1.1 Valider les solutions avec les EPP ou cibles (cadre conceptuel pour le processus de MES)**

- Les options ont été réunies en une seule à laquelle l'équipe doit maintenant s'engager collectivement en validant que la solution schématique retenue respecte tous les objectifs de performance, avant d'engager l'optimisation lors de la conception détaillée ;
- Vérification du document du cadre conceptuel avec le document EPP ;
- Vérifiez que les activités du processus de mise en service sont clairement identifiées ;
- Intégrer les activités du processus de mise en service dans le calendrier du projet ;
- Identifier les spécialistes qui seront chargés de la réalisation des activités du processus de mise en service pour les systèmes spécifiques.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **5.2 Prises de décision : Synergie des systèmes**

- Une conception optimale à cette étape requiert la collaboration de tous les professionnels afin de déterminer les synergies qui sont les plus bénéfiques pour le projet. Dans cette perspective, l'utilisation d'outils de simulation énergétique peut s'avérer essentielle à la prise de décision.

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, le gestionnaire de construction, les professionnels (Arch. & Ing.) et consultants-spécialistes.*

### **5.2.1 Informer l'équipe des modifications au EPP dues à la prise de décision**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

## **5.3 Recherche et analyse : intégration des découvertes entre les différentes disciplines (Travail coopératif)**

*Responsables : Le gestionnaire de projet et les professionnels (Arch. & Ing.).*

### **5.3.1 Suivre et documenter les problèmes et les écarts concernant les EPP**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **5.3.2 Documenter la résolution des problèmes et des écarts concernant les EPP**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

## **5.4 Analyse du coût global**

*Responsable : Les consultants-spécialiste – Consultants en coûts*

## **5.5 Ajuster le programme fonctionnel et technique (PFT) et documenter les impacts dus aux découvertes et prises de décision**

*Responsables : Le client et le gestionnaire de projet, le PA LEED.*

## **Jalon 6) Charrette 4 : Développement de la conception et de la documentation**

**Participants :** Équipe de conception intégrée + constructeur + expert énergétique + consultants-spécialistes + Agent de mise en service

### **6.1 Valider les solutions schématiques avec les cibles de performance et les OSM**

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet (les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant en coûts, et en énergie.*

### **6.2 Vérifier l'intégration des systèmes et des sous-systèmes, comme un ensemble**

- L'objectif ici est de s'assurer que les quatre sous-systèmes clés fonctionnent ensemble comme un tout et identifier les endroits où les EPP et le cadre conceptuel demandent une révision et un ajustement.

*Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED et les professionnels (Arch. & Ing.).*

### **6.3 Initier le plan de mise en service**

*Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels et l'agent de mise en service*

#### **6.3.1 Identifier et faire la liste préliminaire des systèmes à être mis en service**

- La liste des systèmes à être commandés sera probablement commencée à partir d'une liste générique, y compris des éléments tels que les systèmes CVCA, systèmes d'éclairage, les systèmes de plomberie, les systèmes d'énergie renouvelable, les contrôles et l'enveloppe du bâtiment.

#### **6.3.2 Préparer un plan préliminaire de mise en service**

- Le plan devrait inclure les EPP et le cadre conceptuel mis à jour (révisés et ajustés) ainsi que leurs versions précédentes. Le plan de mise en service préliminaire est un outil pour atteindre les exigences du propriétaire tout au long de la conception et de la construction.

#### **6.4 Recherche et analyse: Développement du concept (Optimisation)**

- À l'aide des différentes études et analyses, les professionnels peaufinent et ajustent leurs solutions, en collaboration avec chaque discipline, afin d'optimiser les interrelations entre les systèmes. Lors de la recherche et de l'analyse, le constructeur et l'agent de mise en service sont invités à apporter leurs commentaires afin d'obtenir des solutions réalisables. La rétroaction de ces derniers évite au concepteur de créer des solutions non optimales.

*Responsables : Le gestionnaire de projet, le PA LEED), les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant-spécialiste en énergie.*

##### **6.4.1 Examiner les progrès de conception et identifier les possibilités de poursuite de l'optimisation et de conflits potentiels selon les EPP et le cadre conceptuel**

Maintenant que les itérations de développement de la conception et de l'analyse détaillée associées sont documentées, l'autorité de mise en service peut commencer à effectuer des examens significatifs de cette documentation.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

##### **6.4.2 Examiner la conception axée sur la mise en service**

Par l'entremise des révisions, mettre les documents de mise en service à jour.

- Mise à jour du cadre conceptuel ;
- Mise à jour du plan de mise en service avec les activités construction et d'opération ;
- Mise à jour de la portée et du format du manuel de projet des systèmes ;
- Révision des documents de conception pour la conformité des EPP et mise à jour des EPP ;
- Commenter les documents du développement de la conception axée sur la MES

*Responsables : L'agent de mise en service.*

#### **6.5 Conclure l'analyse de coût selon les réajustements (Valeur d'ingénierie)**

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, les professionnels (Arch. & Ing.) et le consultant-spécialiste en coûts.*

## **Jalon 7) Charrette 5 : Rétroaction et leçons apprises**

**Participants :** Équipe de conception intégrée + constructeur + agent de mise en service + occupants

### **7.1 Constructeur, agent de mise en service et rétroaction**

L'intégration du constructeur et de l'agent de mise en service assure la conformité et la validité de chaque mesure et de chaque solution grâce à leur expertise. Leur implication permet d'obtenir des plans avec moins d'erreurs et d'omissions, ce qui permet au client lors de l'appel d'offre d'avoir un coût se rapprochant du prix réel du projet, avant le début de la construction. Ainsi, il y a une diminution des modifications et donc, un retour sur l'investissement assuré pour une performance ciblée.

*Responsables : Le gestionnaire de projet, les professionnels (Arch. & Ing.), le gestionnaire de construction et l'agent de mise en service.*

#### **7.1.1 Obtenir des commentaires et la rétroaction sur tous les systèmes et sur la conception**

Cet examen devrait prendre la forme de commentaires écrits rédigés et distribués par l'agent de mise en service à tous les membres de l'équipe. Chaque membre de l'équipe prend en compte les commentaires par rapport à leur documentation et répond aux commentaires afin de documenter les impacts.

*Responsables : Les professionnels (Arch. & Ing.) et l'agent de mise en service.*

#### **7.1.2 Révision et réponse, vérification et approbation du client**

Les documents de construction sont retournés et vérifiés par l'agent de mise en service pour assurer que les révisions et les retours des commentaires ont été fournis par les membres de l'équipe appropriés, pour demander l'approbation au propriétaire. L'agent de mise en service est ciblé vers les résultats finaux, les tests fonctionnels et de maintenance.

*Responsables : Le client, les professionnels (Arch. & Ing.) et l'agent de mise en service.*

### **7.1.3 Examiner le plan de MES pour l'alignement avec les EPP et le PFT et le calendrier de MES**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **7.2.4 Ajuster le PFT et documenter les impacts dus aux commentaires et prises de décision**

*Responsables : Le client et le gestionnaire de projet, le PA LEED.*

### **7.1.5 Développer les exigences de mise en service dans les documents de construction**

- Intégrer dans les documents contractuels les exigences du processus de mise en service.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **7.1.6 Développer les outils et les méthodes et pour la vérification du processus de MES**

- Développer des listes de contrôle de construction ;
- Développer les essais pour la phase de construction et d'opération ;
- Développer les exigences du programme de formation.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **7.1.7 Approbation formelle par le propriétaire des mises à jour des EPP, du cadre conceptuel et des révisions et commentaires de l'agent de mise en service**

- Rédaction du rapport d'avancement du processus de mise en service.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **7.1.8 Identification des exigences de formation**

- Achèvement de la réalisation de l'atelier d'identification des besoins de formation, du développement de la phase de construction ainsi que du programme de formation des occupants et des opérateurs. Les exigences du programme de formation sont incluses dans le plan de mise en service et les documents de construction.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

**Documentation de la mise en service :**

- Les exigences du propriétaire du projet (EPP) mises à jour ;
- Le plan de mise en service mis à jour ;
- Les rapports de résolution de problèmes et d'écarts concernant les EPP ;
- Les rapports d'avancement du processus de mise en service.

## **Jalon 8 - Mise en service Phase de construction et d'opération**

**Participants :** Équipe de conception intégrée + constructeur + agent de mise en service + occupants

### **8.1 Identifier les spécialistes qui seront chargés de la réalisation des activités du processus de mise en service pour les systèmes spécifiques**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.2 Révision de la conformité des soumissionnaires avec les EPP : Plan et devis, dessins d'atelier, manuel des systèmes préliminaire et le programme de formation**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.4 Intégrer le calendrier des activités de la MES dans le calendrier de construction**

Le calendrier des activités du processus de mise en service devrait inclure au minimum :

- Réunion de coordination de la mise en service (équipe de mise en service) ;
- Le début et la fin de chaque phase de construction ;
- Les tests et essais de conformité des systèmes et assemblages clés ;
- Les sessions de formation ;
- Date de début de la garantie ;
- Emménagement des occupants ;
- Révision de la garantie deux mois avant la fin de la période de garantie ;
- Réunion de rétroaction et des leçons apprises.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.5 Développer et documenter les procédures des tests et les formulaires de données**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

## **8.6 Vérifier que les installations et systèmes correspondent au EPP**

- Contrôler et vérifier la conformité des installations avec les EPP à l'aide de visites périodiques de chantier (« Monitoring » et « checklists » de construction) ;
- Identifier, diagnostiquer et suivre les problèmes et les écarts relatifs aux EPP ;
- Documenter la résolution des problèmes et des écarts concernant les EPP ;

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.6.1 Effectuer les visites de chantier périodiques pour vérifier la conformité des EPP**

- Accomplir les vérifications sur le système ou assemblage sélectionné en comparant l'installation aux listes de contrôle de constructions achevées (totale ou partielle). Les non-conformités doivent être examinées en détail ;
- Tous les problèmes de cohérence, généralement de plus de 10% de l'échantillon, sont documentés et fournis à l'entrepreneur pour la résolution. L'entrepreneur est alors responsable des correctifs et de l'atteinte des EPP.

*Responsables : L'agent de mise en service et le gestionnaire de projet.*

## **8.5 Vérifier la formation des opérateurs et des occupants du bâtiment**

- Le but de la session de formation est de comprendre suffisamment l'information clé pour réagir rapidement à travers les étapes clés pour résoudre un problème de service.

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.6 Révision et mise à jour des documents de mise en service**

- Les exigences du propriétaire du projet (EPP) ;
- Le plan de mise en service mise ;
- Le cadre conceptuel ;
- Le manuel des systèmes ;
- Les rapports de résolution de problèmes et d'écarts concernant les EPP ;
- Les rapports d'avancement du processus de mise en service ;
- Les modifications aux contrats pour la conformité des EPP.

### **8.7 Approbation des activités du processus de mise en service de la phase de construction**

*Responsables : L'agent de mise en service.*

### **8.8 Debriefing de l'équipe de conception (section 7.2 dans le guide de conception intégrée):**

À la fin du processus de conception intégrée, la tenue d'une réunion de debriefing est conseillée pour clore la conception du projet et voir tout le travail effectué durant les cinq charrettes de conception. Suite à la réunion, un rapport des résultats devrait être rédigé afin d'évaluer le processus et la conduite des charrettes. L'équipe fait un survol des décisions et des stratégies utilisées selon les cibles de performance ainsi que les exigences et les attentes du client. Ce survol permet à l'équipe de souligner les aspects qui ont bien ou moins bien fonctionné dans le projet, ainsi que d'explorer et de déterminer les raisons expliquant ces problèmes. Cet exercice passe également par une évaluation post-occupation (EPO) où l'équipe doit évaluer la satisfaction des occupants et partager les leçons apprises. L'évaluation post-occupation correspond à la phase d'occupation et d'opération dans les lignes directrices de ASHRAE sur le processus de mise en service. À cet effet, un rapport du processus de mise en service sera érigé.

*Responsables : Le client, le gestionnaire de projet, le PA LEED, les professionnels (Arch. & Ing.), le gestionnaire de construction, l'agent de mise en service et les occupants.*

**Buts du rapport des résultats:**

- Évaluer l'efficacité de la charrette, clarifier les décisions prises et déterminer les directions à suivre pour la suite du projet.

**Responsables potentiels pour la rédaction du rapport des résultats :**

Le gestionnaire de projet, le PA LEED et le gestionnaire de construction.

**Buts du rapport de mise en service :**

- Identification des systèmes ou des assemblages qui ne fonctionnent pas en conformité avec le EPP ;
- Évaluation des conditions d'opération des installations lors des tests et essais de conformité ;
- Sommaire des listes de conformité et de vérification de la construction ;
- Documentation de la résolution des problèmes et des écarts concernant les EPP et description des mesures prises à titre correctif ;
- Documentation des informations et des procédures pour effectuer les tests ;
- Copie du rapport de mise en service ;
- Identification des tests ou essais rétablis ;
- Les leçons apprises.

***Responsables pour la rédaction du rapport de mise en service :***

*L'agent de mise en service.*

## LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson, Kjell. 2014. Design Energy Simulation for Architects: Guide to 3D graphics. 249 p.
- André, Pierre, Claude E. Delisle et Jean-Pierre Revéret. 2010. L'évaluation des impacts sur l'environnement: Processus, acteurs et pratique pour un développement durable, 3e 398 p.
- ASHRAE. 2010. ASHRAE GreenGuide: The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings. Atlanta, GA American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta, GA.
- ASHRAE. 2013. « ASHRAE Guideline 0-2013; The Commissioning Process ». 2013 ASHRAE, p. 72.
- Attia, Shady, Jan LM Hensen, Liliana Beltrán et André De Herdea. 2011. « Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects and Engineers Needs ». Journal of Building Performance Simulation, p. 36.
- Barratt, Mark. 2004. « Research note: Understanding the meaning of collaboration in the supply chain ». Supply Chain Management: An International Journal, vol. 9, p. 30-42.
- Benoît, Jacques, Suzanne Déoux, Christine Desmoulins, Alain Farel, Daniel Fauré, Étienne Fradin, Dominique Gauzin-Müller, Thomas Jusselme, Philippe Madec et Jacques Testart. 2007. Bâtir éthique et responsable. Paris, 140 p.
- Berger, Emanuele, Alberto Crescentini, Cristina Galeandro et Giuditta Mainardi Croshas. 2010. « La triangulation au service de la recherche en éducation: exemples de recherches dans l'école obligatoire ». In Actes du congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF). (Université de Genève, septembre 2010), p. 8.
- Browning, Bill. 2012. « High-performance commercial buildings a technology roadmap ». p. 20.
- Boucher, Isabelle, Pierre Blais et Vivre en ville. 2010. Le bâtiment durable: Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable. ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, 89 p.
- Brundtland, Gro Harlem. 1987. « Rapport Brundtland: Notre avenir à tous ». p. 349.
- Burati, James L., Jodi J. Farrington et William B. Ledbetter. 1992. « Causes of quality deviations in design and construction ». ASCE, p. 34-49.

- Busby, Perkins et Will. 2007. Roadmap for the Integrated design process BC green building Roundtable Vancouver, 87 p.
- Busby + associates architects, et Keen Engineering. 2003. Sustainable Building Design: Principles, Practices & Syst ms. 133 p.
- Cavallier, G. 1996. « De la ville à l'urbain ». Urbanisme, vol. 288, p. 65-80.
- Champoux, Louis-René. 2013. « Le bureau de projet et la maturité en gestion de projet ».  ts-GES801: Contextes d'application de la gestion de projets, vol. Module 03, p. 24.
- Cole, Raymond, Nicole Miller et Senela Schroeder. 2014. Building Green: Adding value through process. Green Building BC, Greater Vancouver Regional District (GVRD) Naturel Ressources Canada (NRCan), 35 p.
- Cole, Raymond, Martine Desbois, Pierre Gallant, Vivian Manasc, Joanne McCallum et Lyse M. Tremblay. 2001, p. 1. « Regard vers l'avenir ». In Principes de développement durable pour la conception de bâtiments. Vol. DDBC 101, p. 4. Institut royal d'architecture du Canada.
- Cole, Raymond, Martine Desbois, Pierre Gallant, Vivian Manasc, Joanne McCallum et Lyse M. Tremblay. 2001, p. 3. « Développer une éthique de l'environnement ». In Principes de développement durable pour la conception de bâtiments. Vol. DDBC 101, p. 4. Institut royal d'architecture du Canada.
- Coles, Lindsey. 2002. « Integrated design process facilitation resource guide ». p. 78.
- Cormier, Anthony, Sylvain Robert, Pierrick Roger, Louis Stephan et Etienne Wurtz. 2011. « Towards a BIM-Based service oriented platform: Application to building energy performance simulation ». In 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. (Sydney), p. 2309-2316.
- d'Astous, Alain (436). 2000. Le projet de recherche en marketing, 2. Canada: Les  ditions de la Chenelière inc.
- Derghazarian, Alec. 2011. « Les méthodes d'évaluation du bâtiment et du cadre bâti durable ». Université de Sherbrooke, 119 p.
- Dossick, Carrie Sturts, et Gina Neff. 2011. « Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling ». Engineering Project Organization Journal, p. 83-93.
- Drapeau, M. 2004. « Les critères de scientificité en recherche qualitative Science-like criteria in qualitative research ». Elsevier, vol. Pratique psychologiques, p. 79-86.

- Forgues, Daniel, et Joël Courchesne. 2008. La conception intégrée au Québec: Constats. Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 184 p.
- Forgues, Daniel, et Ivanka Iordanova. 2011. Les pratiques intégrés en construction au Québec: Constats et propositions. 92 p.
- Forgues, Daniel, et Lauri Koskela. 2009. « The influence of a collaborative procurement approach using integrated design in construction on project team performance ». *International Journal of Managing Projects in Business*, p. 17.
- Gabriel, Sylvain. 2013. « Étude de l'impact de l'émergence des projets de bâtiments écologiques sur le processus de livraison de projet de bâtiment ». Mémoire. Montréal, Québec, École de technologie supérieure, 299 p.
- Golafshani, Nahid. 2003. « Understanding Reliability and Validity in Qualitative Research ». *The Qualitative Report* vol. 8 (4), p. 597-607.
- Hansen, Hanne Tine Ring, et Mary-Ann Knudstrup Plenge. 2005. « The Integrated Design Process (IDP): a more holistic approach to sustainable architecture ». In *The 2005 World Sustainable Building Conference*. (Tokyo), p. 894-901. Action for sustainability.
- Hiyama, Kyosuke, et Shinsuke Kato. 2011. « Analysis of influence on mechanical design process by BIM nalysis of influence on mechanical design process by BIM spread-consciousness survey to BIM by questionnaire of mechanical engineer ». In *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*. ( Sydney 14-16 november), p. 124-129.
- Huet, Michel, et Aurélie Dauger. 2013. La garantie de performance énergétique: Encadrement legal du risque de mise en jeu de la garantie decennale: Méthodologie pratique de la garantie de performance énergétique intrinseque (GPEI). Plan bâtiment durable, 69 p.
- Ibrahim, Che Khairil Che, Seosamh Benedict Costello et Suzanne Wilkinson. 2011. « Key Practice Indicators of Team Integration in Construction Projects: A Review ». In *2011 2nd International Conference on Construction and Project Management*. (The University of Auckland, New Zealand), p. 230-234.
- Iordanova, D. Forgues, M. Jemtrud, L. M. Farah et T. Tidafi. 2010. « Interdisciplinary Team Learning in the Context of Integrated Design Studio ». *ASCE 2010*, p. 205-214.
- Jasmin, Étienne. 2013. Gestion par processus et optimisation des processus. Pour des services publics de qualité: Centre d'expertise des grands organismes, 94 p.

- Korkmaz, Sinem, John I. Messner, David R. Riley et Christopher Magent. 2010. « Case studies: High-Performance Green Building Design Process Modeling and Integrated Use of Visualization Tools ». *Journal of architectural engineering* © ASCE, p. 37-45.
- Laforest, Julie. 2009. Trousse diagnostique de sécurité à l'intention des collectivités locales: Guide d'organisation d'entretiens semi-dirigés avec des informateurs clés. Coll. « Vivre en sécurité, se donner les moyens »: Institut national de santé publique et le Ministère de la sécurité publique, 16 p.
- Larsson, Nils. 2002. The Integrated Design Process: Report on a National Workshop held in Toronto in October 2001. Ottawa: Natural Resources Canada, 7 p.
- Larsson, Nils. 2004. « The integrated design process (IISBE) ». p. 7.
- Leedy, Paul D., et Jeanne Ellis Ormrod. 2013. *Practical Research: Planning and Design*, 10. Kevin Davis, 364 p.
- Lindsey, Gail, Joel Ann Todd et Sheila J. Hayter. 2003. Guide de planification et de conduite de charrettes pour des projets à haut rendement énergétique. National Renewable Energy Laboratory, 75 p.
- Löhnert, Günter, Andreas Dalkowski et Werner Sutter. 2003. « Integrated Design Process, A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design ». in Task 23, IEA: Berlin / Zug, 62 p.
- Lucuik, Mark, Wayne Trusty, Nils Larsson et Robert Charette. 2005. Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada. Industrie Canada, 64 p.
- Maile, Tobias, Martin Fischer et Vladimir Bazjanac. 2007. Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective. STANFORD UNIVERSITY: Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), 43 p.
- Martel, Virginie. 2007. « L'inédite portée de la méthodologie qualitative en sciences de l'éducation : réflexion sur les défis de l'observation et de l'analyse de la vie cognitive de jeunes apprenants ». In *Actes du colloque bilan et perspectives de la recherche qualitative*. (Université du Québec à Rimouski, Campus Lévis), p. 21.
- Martineau, Stéphane. 2005. « L'instrumentation dans la collecte des données: L'observation en situation : enjeux, possibilités et limites ». p. 17.
- MDDELCC. 2015. « Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques: À propos du développement durable ». < <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/definition.htm> >. Consulté le 8 mars 2015.

- Milot, Julien. 2013. « Notions fondamentales de mesure et vérification ». In. (École de technologie supérieure), p. 57.
- Moreau, Alain, Marie-Cécile Dedienne, Laurent Letrilliart, Marie-France Le Goaziou, José Labarère et Jean Louis Terra. 2004. « Recherche en médecine générale: Méthode de recherche, s'approprier la méthode du focus group ». La revue du praticien-médecine générale, vol. 18, p. 3.
- Morse, Janice M., Michael Barrett, Maria Mayan, Karin Olson et Jude Spiers. 2002. « Verification strategies forestablishing reliability and validity in qualitative research ». International Journal of Qualitative Methods, vol. 1(2), p. 13-22.
- OIQ. 2011. « Ordre des ingénieurs du Québec: La surveillance de la qualité ». < [http://gpp.oiq.qc.ca/la\\_surveillance\\_de\\_la\\_qualite.htm](http://gpp.oiq.qc.ca/la_surveillance_de_la_qualite.htm) >. Consulté le 18 mars 2015.
- Paillé, Pierre. 2007. « La méthodologie de recherche dans un contexte de recherche professionnalisante : douze devis méthodologiques exemplaires ». Recherches qualitatives, vol. 27(2), p. 133-151.
- Potvin, André, et Claude MH Demers. 2005 «La ventilation naturelle dans le contexte climatique québécois ». Esquisse, Le bulletin d'information de l'Ordre des architectes du Québec, p. 2.
- Reed, Bill, John Boecker, Scot Horst, Tom Keiter, Andrew Lau, Marcus Sheffer et Brian Toevs. 2009. The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, Inc., 397 p.
- Relations, British Columbia Buildings Corporation Ministry of Finance and Corporate. 2001. Guide to Value Analysis and the Integrated Green Design Process. British Columbia Buildings Corporation Ministry of Finance and Corporate Relations, 34 p.
- Rossi, Rebecca M., Dan Brown, Borinara Park et Richard Boser. 2009. « The Integrated Design Process on Paper and In Practice : A Case Study ». In In Proceeding of the 2009 ASC Region III Conference. (Downers Grove, Illinois, October 21-24-2009,), p. 25-34. Michigan State University : Mohamed El-Gafy.
- Staub-French, Sheryl, Daniel forgues, Ivanka Iordanova, Amir Kassasaian, Basel Abdulaal, Mike Samilski, Hasan Burak Cavka et Madhav Nepal. 2011. Building information modeling (BIM): "Best practices" Project report. 176 p.
- Yoann, Eugénie. 2009. « Évaluation d'un espace de travail collaboratif assisté par ordinateur pour la conception intégrées des bâtiment ». Mémoire. Montréal, Québec, École de technologie supérieure, 117 p.

Zimmerman, Alex. 2006. Guide sur le processus de conception intégrée. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 18 p.

## BIBLIOGRAPHIE

- Whole System Integration Process (WSIP). 2007. Institute for market transformation to sustainability, 18 p.
- Manitoba Green Building Program: Building for a Greener Future. 2013. Manitoba Government, 84 p.
- (NIBS), The National Institute of Building Sciences. 2005. « WBDG: Engage the Integrated Design Process ». Whole building design Guide: WBDG, p. 5.
- Abdallah, Randy, Phillip Dunston, Edric Florence et al. 2004. Design Practices to Facilitate Construction Automation. Construction Industry Institute, 37 p.
- AIA National, AIA California Council 2007. Integrated Project Delivery: A Guide. Coll. « version 1 »: The American Institute of Architects, 62 p.
- Alliance, Northwest Energy Efficiency. 2002. « Integrated Design Process ». BetterBricks, p. 2.
- Architects, Busby + associates, et Keen Engineering. 2003. Sustainable Building Design: Principles, Practices & Systems. 133 p.
- ASHRAE. 2009. Handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta Ga.
- ASHRAE. 2012. Handbook HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc: Atlanta Ga.
- ASHRAE. 2013. ASHRAE 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta Ga.
- AZAPAGIC, A., A. MILLINGTON et A. COLLETT. 2006. « A methodology for integrating sustainability considerations into process design ». Chemical Engineering Research and Design, vol. 84, p. 439–452.
- Barter, Vince, Jacqueline Chan, Tak Chan et al. 2003. why build green?: roadmap workshop summary, 20 p.
- Bauregard, Stéphanie, et Janine Rivoire. 2011. « « L'efficacité énergétique à l'épreuve de l'usage » ». CERTU, MEP/MOP, p. 4.

- Beaudet, Claude, Beaudet & Saucier, Nelson Bouffard, Nicole Bourque et al. 2013. Vers le chantier parfait: Une réflexion d'industrie. Association de la construction du Québec, 64 p.
- Belloni, Kaisa, Jun Kojima et Isabel Pinto Seppä. 2009. « First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions ». In CIB IDS. Vol. 1, p. 404.
- Bouffard, Émilie. 2013. « Conception de bâtiments solaires: Méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception ». Mémoire. Québec, Canada, Université Laval, 153 p.
- Bouthinon-Dumas, Hugues. 2001. « Les contrats relationnels et la théorie de l'imprévision ». *Revue Internationale de droit économique*, p. 339-373.
- Brown, D. Gregg, Cathy Capes, Pierre Corriveau, Louis Lessard, Rick Linley, Robert J. Ojolic et Barbara Shipman (157). 2009. Manuel Canadien de pratique de l'architecture, 1.
- Cavallier, G. 1996. « De la ville à l'urbain ». *Urbanisme*, vol. 288, p. 65-80.
- Diwekar, Urmila. 2005. « Green process design, industrial ecology, and sustainability: A systems analysis perspective ». Elsevier, *Resources, Conservation and Recycling* vol. 44 p. 215–235.
- Dominguez, German Alonso RUIZ. 2005. « Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance: étude des effets de synchronisation cognitive ». Docteur de l'INPD, Spécialité: Génie Industriel. Institut National Polytechnique de Grenoble, 193 p.
- Dupuis, Christian, Alexandre Hamel Lesieur et Gabriel Racine. 2011. Enquête sur les habitudes en matière de conception de bâtiment et d'utilisation d'outils de simulation auprès des architectes et ingénieurs-conseils du Québec. Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétique (BEIE), 113 p.
- Forgues, Daniel, et Ivanka Iordanova. 2011. « Canevas de cadre CI-BIM: Version de paille ». p. 61.
- Forgues, Daniel, et Ivanka Iordanova. 2013. « BIM: initiation à l'implantation du Building Information Modeling ». In., p. 169. Contech Bâtiment.
- Forgues, Daniel, Lauri Koskela et Albert Lejeune. 2009. « Information technology as boundary object for transformational learning ». *Journal of Information Technology in Construction*, p. 11.

- GARD Analytics, Inc. 2014. EnergyPlus v8.1.0. The U.S. Department of Energy, 213 p.
- Golubchikov, Oleg, et Paola Deda. 2012. « Governance, technology, and equity: An integrated policy framework for energy efficient housing ». Elsevier, vol. Energy Policy 41, p. 733–741.
- Haggard, Rusty. 2008. Leveraging technology to improve construction productivity. Construction industry Institute, 41 p.
- Harmsen, G.J. 2004. « Industrial best practices of conceptual process design ». Elsevier, Chemical Engineering and Processing, vol. 43 p. 677–681.
- Hébert, Claudine. 2013. « La conception intégrée, une valeur ajoutée ». Les affaires, p. 2.
- HESPUL. 2014. « Prise en compte du bio-climatisme et des apports solaires dans un projet d'aménagement ». p. 11.
- Hui, S.C.E. 2003. Effective use of building energy simulation for enhancing building energy code, in Building Simulation. Coll. « IBPSA ». Editor. 2003: Eindhoven, Netherlands.
- IBPSA-USA. 2014. « Energy Modeling Best Practices and Applications ». In ASHRAE / IBPSA-USA Energy Modeling Conference. (Atlanta, Georgia), p. 242.
- III, By Lewis G. Harriman, Ph.D. Michael J. Witte, Marek Czachorski et Douglas R. Kosar. 1999. « Evaluating Active Desiccant Systems For Ventilating Commercial Buildings ». ASHRAE, p. 28-33.
- Jung, Dae-kyo, Dong-hwan Lee, Joo-ho Shin, Byung-hun Song et Seunghee Park. 2013. « Optimization of energy consumption using BIM-based building energy performance analysis ». Applied Mechanics and Materials, vol. 281, p. 649-652.
- KAKAI, Hygin. 2008. « Contribution à la recherche qualitative, cadre méthodologie de rédaction de mémoire, Université de Franche-Comté ». p. 4.
- Kan, Jeff WT, John S Gero et Hsien-Hui Tang. 2010. « Measuring Cognitive Design Activity Changes During an Industry Team Brainstorming Session ». Springer, vol. Design Computing and Cognition, p. 621-640.
- Karcanias, Nicos. 1995. « Integrated Iprocess design: A generic control theory/design based framework ». Elsevier, Computers in Industry, , vol. 26, p. 291-301.
- Kibert, Charles J. 2008. Sustainable construction, green building design and delivery, 2e. 432 p.

- Kim, Hyunjoo, et Kyle Anderson. 2011. « Energy Simulation System Using BIM (Building Information Modeling) ». ASCE, vol. Computing in Civil Engineering, p. 635-640.
- Kim, Hyunjoo, Annette Stumpf et Wooyoung Kim. 2011. « Analysis of an energy efficient building design through data mining approach ». Elsevier, Automation in Construction, vol. 20, p. 37-43.
- Kim, Seongchan, et Jeong-Han Woo. 2011. « Analysis of the differences in energy simulation results between building information modeling (BIM)- bases simulation method and the detailed simulation method ». In Winter Simulation Conference. p. 3545-3556.
- Kuwabara, Bruce, Thomas Auer, Tom Gouldsbrough, Tom Akerstream, Glenn Klym et al. 2009. « Manitoba Hydro Place: Integrated Design Process Exemplar ». In PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture. (Quebec City, Canada), p. 22-24
- Laine, Tuomas, Kristian Bäckström et Tero Järvinen. 2012. COBIM: Common BIM Requirements. Coll. « 10-Energy analysis », 23 p.
- Lavallée, Audrey, Daniel Forgues, François Chiocchio et Vincent Laberge. 2011. « Performance de la conception intégrée et intégration des technologies de l'information dans un contexte de travail multidisciplinaire ». p. 25.
- Leaman, Adrian, et Bill Bordass. 2010. « Assessing buiding performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications ». Building Research & Information, vol. 29(2), p. 129-143.
- Lechner, N. 2001. Heating, Cooling, Lighting: Design methods for architects, 2nd. New York: John Wiley & Sons inc, 720 p.
- Lennertz, Bill, et Aarin Lutzenhiser. 2006. The Charrette Handbook. 188 p.
- Löhnert, Günter, Andreas Dalkowski et Werner Sutter. 2003. « Integrated Design Process, A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design ». in Task 23, IEA: Berlin / Zug, 62 p.
- Maher, Mary Lou, Mercedes Paulini et Paul Murty. 2010. « Scaling Up: From Individual Design to Collaborative Design to Collective Design ». Springer, vol. Design Computing and Cognition, p. 581-600.
- McLeod, Rob, Kym Mead et Mark Standen. Passivhaus primer: Designer's guide A guide for the design team and local authorities. Passivhaus Institut, BRE, 12 p.

- Miller, George H., James M. Suehiro, Pamela M. Touschner, Kevin J. Connolly, Barbara Milan Price, Robert P. Smith, Ricardo Aparicio, Meghan Kell Cornell, Michael Kenig, Elizabeth Stewart et Markku R. Allison. 2008. On Compensation: Considerations for Teams in a Changing Industry. AIA Integrated Practice Discussion Group, 24 p.
- Mulder, Karel F. 2009. L'ingénieur et le développement durable. 243 p.
- Network, Commercial Energy Services. 2010. Commercial Buildings Energy Modeling Guidelines and Procedures. COMNET, 263 p.
- NRCan. 2011. Enquête sur la consommation industrielle d'énergie (CIE): Rapport sommaire sur la consommation d'énergie dans le secteur manufacturier canadien de 1995 à 2011. Ressources Naturelles du Canada, 46 p.
- Oren, Michael A., et Stephen B. Gilbert. 2010. « Building Better Design Teams: Enhancing Group Affinity to Aid Collaborative Design ». Springer, vol. Design Computing and Cognition, p. 601-620.
- Paavola, S., H. Kerosuo, T.Mäki, J. Korpela et R.Miettinen (855–862). 2012. BIM technologies and collaboration in a life-cycle project. Coll. « eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction ».
- Pantelimon Negrut, Viorel. 2011. « La conception et la gestion des bâtiments résidentiels durables ». École de technologie supérieure, université du Québec, 192 p.
- Paoletti, Giulia. 2013. Integrated energy design in municipal practice – Interim Version. Affirmative integrated energy design action, 44 p.
- Pitre, Mélanie. 2008. « Gestion intégrée des matières résiduelles provenant de l'industrie de la construction de bâtiments ». École de technologie supérieure, université du Québec, 212 p.
- Poveda, Olivier. 2001. « Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, modélisation des processus, analyse et instrumentation ». Doctorat. Grenoble, Institut National Polytechnique de grenoble, 223 p.
- Province of New Brunswick. 2011. « Province of New Brunswick Green Building Policy for New Construction & Major Renovation Projects ». 11 p.
- Quanjel, Emile, et Wim Zeiler. 2009. « Workshops 2005-2008 for the dutch building industry: collaborative engineering ». In International conference on engineering design, ICED'09. (Stanford, Ca, USA), p. 322-334. Stanford University.

- Rajeb, Samia ben. 2012. « Modélisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturale: Caractérisation des opérations cognitives en conception collaborative instrumentée ». Doctorat en architecture. Université Paris Est, 437 p.
- Rivoire, Janine, et Stéphanie Bauregard. 2011. « L'efficacité énergétique à l'épreuve de l'usage ». CERTU, MEP/MOP.
- Roberts, Tristan. 2013. Energy Modeling Early and Often. 15 p.
- Rosenberg, Brett K., et Joanna Goldfarb. 2012. An Architect's Guide to Integrating Energy Modeling in the Design Process. 86 p.
- Saadi, Makrem. 2009. « Implantation de l'approche relationnelle dans le domaine des services: Cas du secteur Bancaire ». Mémoire. Université du Québec à Montréal, 145 p.
- Saucier, M.-C.S.e.J.-P. 2009. « Architecture à faible énergie pour demain: principes, physique et pratique, U.L.e. Hydro-Québec, Editor ».
- Savanovic, Perica, et Wim Zeiler. 2009. « Integral design method for conceptual building design ». In International conference on engineering design. (Stanford,CA,USA), p. 137-148.
- Savard, Mylène. 2012. « LE DÉVELOPPEMENT DE QUARTIERS DURABLES DANS LES MUNICIPALITÉS DU QUÉBEC ». Université de Sherbrooke, 100 p.
- Sebastian, Rizal, Willem Haak et Eric Vos. 2009. « BIM Application for Integrated Design and Engineering in Small- Scale Housing Development: A Pilot Project in The Netherlands ». In Future Trends in Architectural Management. (Tainan (Taiwan)), p. 11.
- Secor-Taktik. 2007. Étude prospective de l'industrie de la construction du Québec 2007-2012. Association de la construction du Québec,, 85 p.
- Secrétariat du conseil du trésor, gouvernement du Québec. 2010. « Politique-cadre sur la gouvernance des grands projets d'infrastructure publique ». 24 p.
- Skinnarland, Sol. 2013. « Use of Progression Planning Tools in Developing Collaborative Main Contractor- Subcontractor Relationships in Norway ». Business Administration. Edinburgh Business School, 252 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2013. « Collectivités Equilibrium MC en action : Processus de conception intégré ». Gouvernement du Canada, 14 p.

- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2003. Charrette de conception intégrée visant la collectivité de l'UniverCity. Coll. « Le Point en recherche »: Société canadienne d'hypothèques et de logement, 5 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2003. Processus de conception intégré au projet de redéveloppement du Théâtre Séville. Coll. « Le Point en recherche »: Société canadienne d'hypothèques et de logement, 12 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2006. Transformez vos méthodes : Charrettes sur la conception intégrée de bâtiments durables. Coll. « Le point en recherche »: Société canadienne d'hypothèques et de logement.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2006. Charrette de conception intégrée de Green Phoenix sur les logements abordables et durables. Coll. « Le Point en recherche »: Société canadienne d'hypothèques et de logement, 3 p.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. 2012. Charrette de conception intégrée pour l'ensemble Beaver Barracks, à Ottawa. Coll. « Le Point en recherche »: Société canadienne d'hypothèques et de logement, 9 p.
- Spitz, Clara. 2006. « Analyse de la fiabilité des outils de simulation et des incertitudes de métrologie appliquée à l'efficacité énergétique des bâtiments ». Université de Grenoble, 169 p.
- Stamp, Barry. 2011. « The Integrated Design Process and Integrated Project Delivery ». In Rocky Mountain ASHRAE Technical Conference 2011. p. 30.
- Stumpf, Annette, Hyunjoo Kim et Elisabeth Jenicek. 2009. « Early design energy analysis using BIMs (Building Information Models) ». ASCE- Construction Research Congress, p. 426-436.
- Stumpf, Annette L., Hyunjoo Kim et Elisabeth M. Jenicek. 2011. Installation Technology Transfer Program: Early Design Energy Analysis Using Building Information Modeling Technology. US Army Engineer Research and Development Center, Office of the Assistant Chief of Staff for Installation Management (ACSIM), 80 p.
- Taylor, John E., et Phillip G. Bernstein. 2009. « Paradigm Trajectories of Building Information Modeling Practice in Project Networks ». Journal of Management in Engineering, p. 69-76.
- The Sustainability Action Group. 2000. Achieving Sustainability in Construction Procurement. The Government Construction Clients' Panel, Office of Government Commerce, Movement for innovation, 12 p.

- Thétrault, Maxime. 2008. « Conception et prototype d'un outil guidant la conception et visant à réduire les déchets de construction dans les bâtiments ». École de technologie supérieure, université du Québec, 236 p.
- Thomas, Jacqueline. 2009. Information integration of improve capital project performance. Construction industry Institute, 29 p.
- Thomassen, Mats. 2011. « BIM & Collaboration in the AEC Industry ». Master of Science in Engineering in Management in the Building Industry. Denmark, Aalborg University, 88 p.
- Touboul, Pia. « Recherche qualitative: La méthode des Focus Groupes, Guide méthodologique pour les thèses en Médecine Générale ». p. 10.
- Trebilcock, Maureen. 2009. « Integrated Design Process: From analysis/ synthesis to conjecture/ analysis ». In Architecture, Energy and the occupant's Perspective. (Quebec City, Canada), p. 559-564.
- USGBC. 2009. « LEED 2009 for New Construction and Major Renovation Rating System ». vol. USGBC, p. 88.
- Vallée, P. 2002. « L'ÉTS et le GRIDD - Deux solitudes au Québec: la recherche scientifique et l'industrie de la construction : Le recours à un logiciel commun permettrait d'harmoniser les pratiques ». Le Devoir, Éducation, 27 octobre 2012.
- Virgone, Joseph, Enrico Fabrizio, Yoann Raffenel, Eric Blanco et Gérard Thomas. 2006. « Commande des systèmes multi-énergies pour les bâtiments à haute performance énergétique ». Journée thématique SFT-IBPSA, p. 8.
- WALKER, D. & HAMPSON, K. 2003. Procurement Strategies - A Relationship-based Approach. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Wickersham, Jay. 2009. « Legal and Business Implications of Building Information Modeling (BIM) and Integrated Project Delivery (IPD) ». Rocket: BIM-IPD legal and business issues, no GSD 7212 p. 9.
- Winch, G M. 2002. « Collaboration as an activity coordinating with pseudo-collective objects ». Springer, p. 181-204.
- Zeiler, Wim, et Perica Savanovic. 2009. « Building design workshops for synergy between architecture and engineering ». In International conference on engineering design, ICED'09. (Stanford University, Stanford, CA, USA), p. 107-118.

Zeiler, Wim, Perica Savanovic et Émile Quanjel. 2009. « Collaborative open building design ». In International conference on engineering design. (Stanford,CA,USA), p. 137-148.