

# GUIDE DE CONCEPTION D'UN BÂTIMENT PERFORMANT

FASCICULE 2

## L'OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE DANS UNE CONCEPTION INTÉGRÉE



Photographie - Bernard Fougères

Québec 

## AUTEURS

Daniel Forgues, Ph. D, professeur, Département de génie de la construction, École de technologie supérieure (ETS)

Danielle Monfet, ing., Ph. D, professeure, Département de génie de la construction, ETS

Stéphan Gagnon, ing., CEM®, LEED® GA, conseiller en efficacité énergétique, Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016

ISBN : 978-2-550-75338-4 (version PDF)

© Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 2016

# PRÉAMBULE

Ce fascicule traite de la simulation énergétique en conception intégrée et de la mise en service améliorée (MESA) basée sur la norme ASHRAE Guideline 0-2013<sup>1</sup>. L'information détaillée sur le contexte, les stratégies, les méthodes et les outils est présentée dans le fascicule 1.

---

1. MacLeamy, MacLeamy Curve. 2004. Introduced in the Construction Users Roundtable's "Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation".



# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
<b>CHAPITRE 1 &gt; LA CONCEPTION INTÉGRÉE (CI) ET LE PROCESSUS DE CONCEPTION INTÉGRÉE (PCI) .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Les acteurs et l'organisation du travail .....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Les acteurs et les expertises requises .....	7
1.1.2 La participation des occupants et des opérateurs .....	8
1.1.3 Les exigences de performance et la rétroaction par la simulation .....	10
1.1.4 Les modes contractuels et la présence du constructeur en amont .....	11
<b>1.2 Les processus et les méthodes .....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Un processus générique d'optimisation itérative .....	13
1.2.2 La planification et l'organisation du travail .....	14
1.2.3 La préconception .....	15
1.2.4 L'esquisse .....	17
1.2.5 Le dossier préliminaire .....	18
1.2.6 Le dossier définitif .....	23
1.2.7 La réalisation et la livraison du projet .....	23
<b>CHAPITRE 2 &gt; LA MISE EN PLACE DE LA MISE EN SERVICE AMÉLIORÉE .....</b>	<b>25</b>
2.1 L'approche LEED de mise en service et de mise en service améliorée .....	27
2.2 Le guide ASHRAE de mise en service .....	30
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>35</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXE A &gt; UNE APPROCHE DE CONCEPTION COLLABORATIVE .....</b>	<b>37</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	
<b>Graphique comparatif du mode de réalisation traditionnel et intégré</b> .....	2
Figure 2	
<b>Processus traditionnel et processus collaboratif</b> .....	3
Figure 3	
<b>Description de l'équipe de conception</b> .....	7
Figure 4	
<b>Processus de conception intégrée d'iiSBE</b> .....	12
Figure 5	
<b>Flot de travail dans la préconception et l'esquisse</b> .....	13
Figure 6	
<b>Bibliothèque multifonctionnelle de Varennes</b> .....	14
Figure 7	
<b>Développement du programme en mode collaboratif 3P avec les futurs occupants</b> .....	15
Figure 8	
<b>Maison du développement durable (Courtoisie de MSDL Architectes)</b> .....	19
Figure 9	
<b>Ventilation naturelle au 740, rue Bel-Air (Gracieuseté de Provencher Roy architectes)</b> .....	20
Figure 10	
<b>Processus d'optimisation</b> .....	22
Figure 11	
<b>Flot de travail dans la réalisation et la livraison du projet</b> .....	24
Figure 12	
<b>Modèle d'apprentissage divergent-convergent</b> .....	37

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	
<b>Mise en service et mise en service améliorée</b> .....	27
Tableau 2	
<b>Sources de défaillances en fonction du cycle de vie du bâtiment</b> .....	28
Tableau 3	
<b>Contrôle qualité, inspections et essais</b> .....	29
Tableau 4	
<b>Liste de contrôle des documents pour vérification du respect des objectifs énoncés dans l'EPP</b> .....	31
Tableau 5	
<b>Plan de mise en service</b> .....	33

## LISTE DES ACRONYMES

AQ	Assurance qualité
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIM/MDB	Building information modeling/modélisation des données du bâtiment
CI	Conception intégrée
CVCA	Chauffage, ventilation et conditionnement de l'air
EPP	Exigences du propriétaire pour le projet
GPE	Garantie de performance énergétique
GPEI	Garantie de performance énergétique intrinsèque
GRE	Garantie de résultats énergétiques
iiSBE	International Initiative for a Sustainable Built Environment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEP	Mécanique, électrique, plomberie
MES	Mise en service
MESA	Mise en service améliorée
PA-LEED	Professionnel accrédité LEED
PCI	Processus de conception intégrée
PFT	Programme fonctionnel et technique





# INTRODUCTION

Ce fascicule présente deux approches, la conception intégrée (CI) et la mise en service améliorée (MESA), qui viennent bonifier le potentiel d'optimisation dans un contexte de conception-soumission-construction traditionnel. S'il veut obtenir les résultats attendus en CI, le client doit cependant savoir qu'il devra :

- accepter d'investir des ressources spécialisées additionnelles;
- participer au processus de conception en mobilisant des ressources internes (opérateurs gestion et entretien, gestionnaires d'actifs, membres du personnel qui jouent un rôle clé dans l'exploitation de l'entreprise);
- être ouvert et à l'écoute des solutions proposées par les professionnels, même si elles remettent en cause des éléments du programme;
- désigner un représentant ayant autorité pour prendre des décisions;
- prévoir des délais et des honoraires qui correspondent à l'effort supplémentaire demandé aux professionnels, ce qui, proportionnellement, représente une infime fraction des coûts répartis sur la durée de vie de la construction, de son coût global et du coût d'exploitation du bâtiment.

Examinons d'abord les principes de base qui guident l'optimisation énergétique. Le premier principe concerne le mode de réalisation. Lorsqu'il est traditionnel, il se caractérise par un processus de conception séquentiel et fragmenté dans lequel l'expertise du constructeur et celle de l'opérateur ne sont pas mises à profit. Il a été démontré dans le programme C-2000 que les projets offrant la meilleure performance en matière de coût sont ceux qui ont été conçus de façon itérative et intégrée par une équipe mobilisée au tout début du projet<sup>2</sup>. Les écrits scientifiques et professionnels sur la conception intégrée mentionnent tous certains principes communs :

- le déplacement de l'effort de conception en amont;
- la conception par itérations successives en utilisant la simulation énergétique;
- la création d'un contexte favorable à la collaboration.

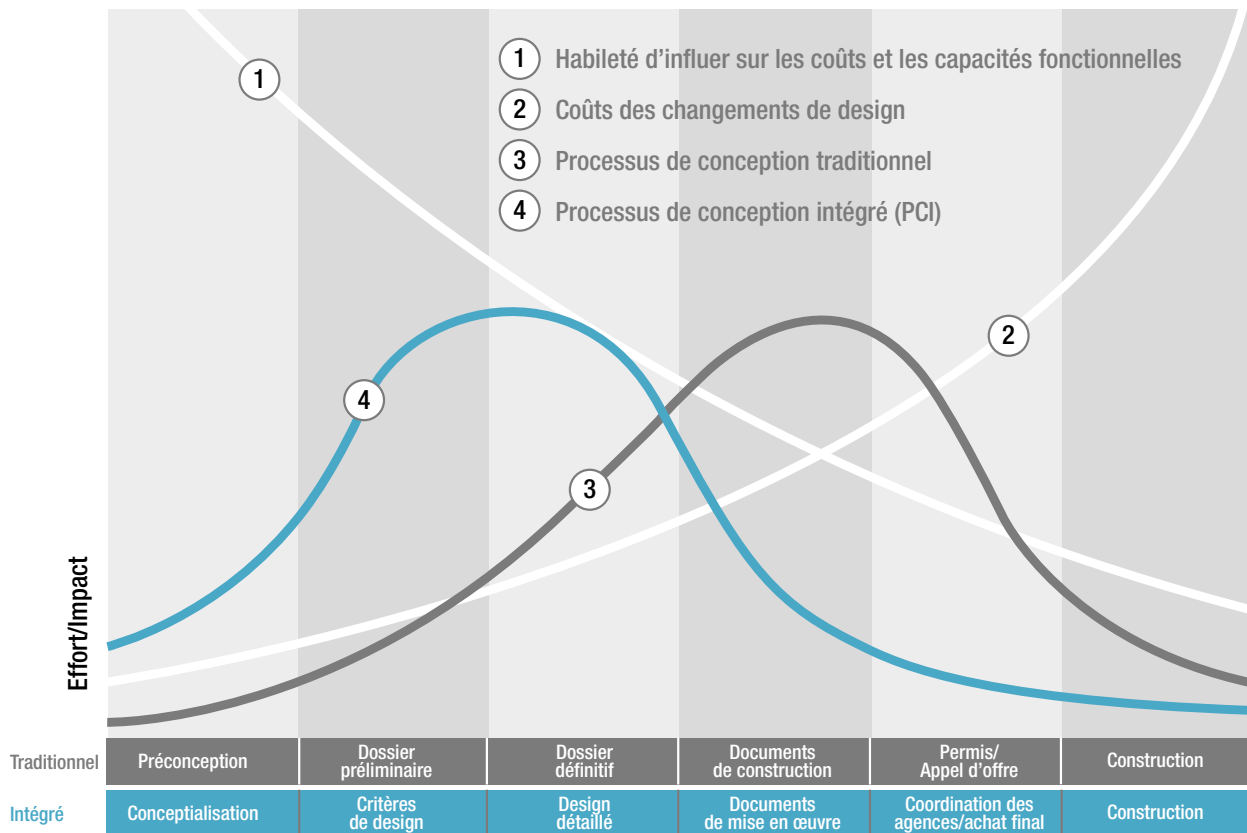
---

2. Larsson, N. The Integrated Design Process; History and Analysis. 2009.

La Figure 1 compare la courbe d'effort dans un mode itératif par rapport à un mode conventionnel. Le premier principe est le transfert de l'effort en amont. Comme le notait Prasad<sup>3</sup>, 85 % des décisions importantes sont prises en amont du projet. Cependant, comme l'illustre la Figure 1, dans un mode traditionnel, l'information pour la prise de décision (qualité, coût, échéancier, respect des exigences du client) n'est complète que lorsque le processus de conception est déjà avancé. Pourtant, la capacité de faire des changements, beaucoup plus grande au début d'un projet, diminue à mesure que le temps passe tandis que le coût des changements augmente de façon exponentielle. Le mode de réalisation traditionnel ne tient pas compte de cette réalité. L'effort et les ressources sont principalement investis en milieu de projet, lorsque l'étape de conception prend fin et que débute celle de la construction. Les décisions en amont se prennent alors sur des hypothèses qui s'avèrent fréquemment erronées et nécessitent une série de mesures correctives qui auront des répercussions tout au long de la conception et de la construction.

Figure 1  
Graphique comparatif du mode de réalisation traditionnel et intégré<sup>4</sup>

**Macleamy Curve**



3. Prasad, B. Concurrent engineering fundamentals – Integrated product and process organization. 1996.

4. MacLeamy, MacLeamy Curve. 2004. Introduced in the Construction Users Roundtable's "Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation".

Le deuxième principe consiste à encourager l'innovation en confrontant les approches des différentes spécialités pour optimiser, par une série d'itérations, la solution globale. Dans le modèle de planification du processus traditionnel de conception, le travail est divisé en une série de tâches organisées de façon séquentielle qui sont partagées entre les différentes fonctions. Chaque fonction optimise l'utilisation de ses ressources selon les tâches qui lui sont assignées, sans se soucier de l'ensemble. Ceci entraîne une absence d'itérations dans le processus de conception, un manque de considération des contraintes liées aux phases ultérieures ou des contraintes inutiles établies pour la conception dans ces phases et un manque de leadership et de responsabilisation des membres de l'équipe de projet. Ces problèmes conduisent à des solutions sous-optimales, à une mauvaise constructibilité ou exploitabilité, à la nécessité d'apporter des mesures correctives dans la conception et la construction et au manque d'innovation<sup>5</sup>. Une approche itérative peut résoudre ces problèmes.

Le troisième principe vise à créer un contexte favorable à la réalisation de ces itérations. Puisque les membres de l'équipe de projet font partie d'entités séparées, en CI on suggère que ces itérations se déroulent lors d'une session intensive, communément appelée charrette, d'une durée allant d'une journée à plusieurs jours. L'objectif est de donner suffisamment de temps à l'équipe pour qu'elle conçoive des solutions novatrices afin de construire un bâtiment de meilleure qualité et ayant un impact moindre sur l'environnement, tout en tenant compte des contraintes de coûts et de délais. Un tel atelier de conception intégrée peut réunir une vingtaine de personnes, incluant les professionnels, les représentants du client et les autres parties prenantes au projet.

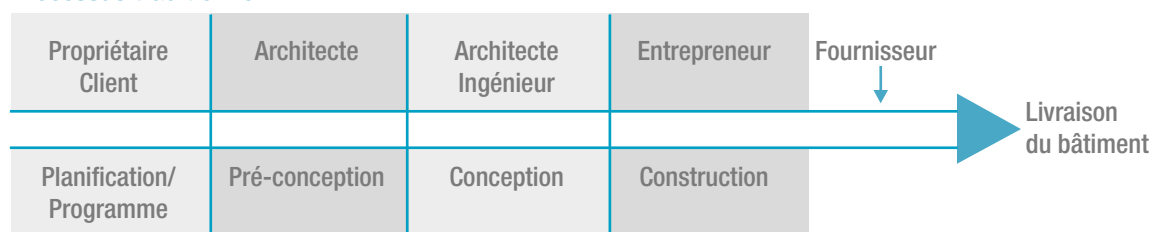
Une optimisation énergétique réussie en CI dépend des quatre facteurs suivants :

- la synergie entre les spécialités, plus particulièrement entre l'architecte et l'ingénieur en mécanique;
- un processus itératif et intégré;
- l'utilisation d'outils pour simuler la performance des options étudiées afin de guider les choix;
- l'analyse des coûts des options associées aux montants économisés sur le coût global pour évaluer le rapport avantage/coût de chacune des solutions.

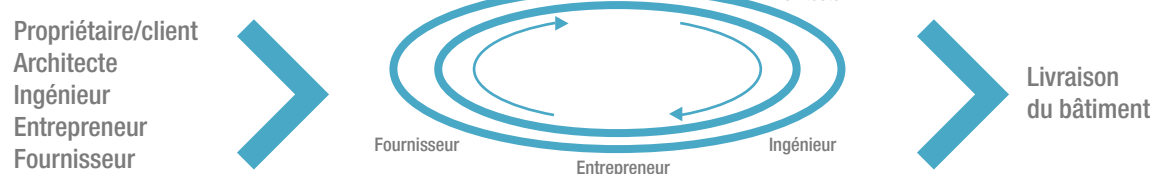
Figure 2

### Processus traditionnel et processus collaboratif <sup>6</sup>

#### Processus traditionnel



#### Processus collaboratif



5. Dupagne, A. Computer Integrated Building. 1991. Strategic final report, ESPRIT II, Exploratory action NO 5604.

6. Thomassen, M., BIM and Collaboration in the AEC Industry. 2011. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Aalborg University: Denmark.

La réflexion et l'analyse, appuyées par la simulation énergétique, favorisent les solutions optimisées et performantes, dont le coût souvent faible est dû à l'apport de chacun des professionnels et facilité par le partage des informations et des idées pour obtenir un consensus. Autrement dit, on passe d'un mode de conception isolé à un mode collectif. La réponse à l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment se trouve en partie dans le processus de travail des équipes de conception. À cet effet, le client, les professionnels et les constructeurs doivent connaître les principes de base des approches collaboratives pour trouver les solutions optimales.

Le processus d'optimisation énergétique exige enfin l'analyse et la simulation de plusieurs éléments qui entrent dans la conception du bâtiment, laquelle est guidée par un ensemble de contraintes déterminées par les exigences du client. Basé sur les codes de pratique en vigueur au Québec, le processus générique comprend une suite de simulations dans un mode de CI dont les principes sont énoncés dans le fascicule 1.

# CHAPITRE 1 >

## LA CONCEPTION INTÉGRÉE (CI) ET LE PROCESSUS DE CONCEPTION INTÉGRÉE (PCI)

1.1	Les acteurs et l'organisation du travail	7
1.2	Les processus et les méthodes	11

Le but principal de la CI est d'optimiser, par une série d'itérations, les solutions techniques au début d'un projet. Le PCI est une forme évoluée de la CI développée dans le cadre du programme C-2000 dans lequel l'optimisation de la performance est formalisée dans une cartographie de processus. La CI et le PCI ne constituent pas une nouvelle approche de conception. Ils se greffent au mode traditionnel de conception pour tenter d'en corriger la principale faiblesse, soit le manque d'itérations dans la recherche de solutions optimales, et le manque de boucles de rétroaction pour s'assurer que ces solutions donneront les résultats escomptés. Le facteur déterminant du succès d'une CI ou d'un PCI est l'adhésion des parties intéressées aux objectifs et à la feuille de route qui en dictera le déroulement.

Cette section suggère une approche de la CI ou du PCI dérivée des deux principaux modèles de l'industrie, celui proposé par iiSBE avec son outil de certification environnementale SBTools, et celui développé pour la section Cascadia du Conseil du bâtiment durable, inspiré du cadre de gestion intégrative développé par Reed<sup>7</sup>.



7. Reed, B., Fedrizzi, S., et collab. The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. 2009. John Wiley & Sons, Inc.

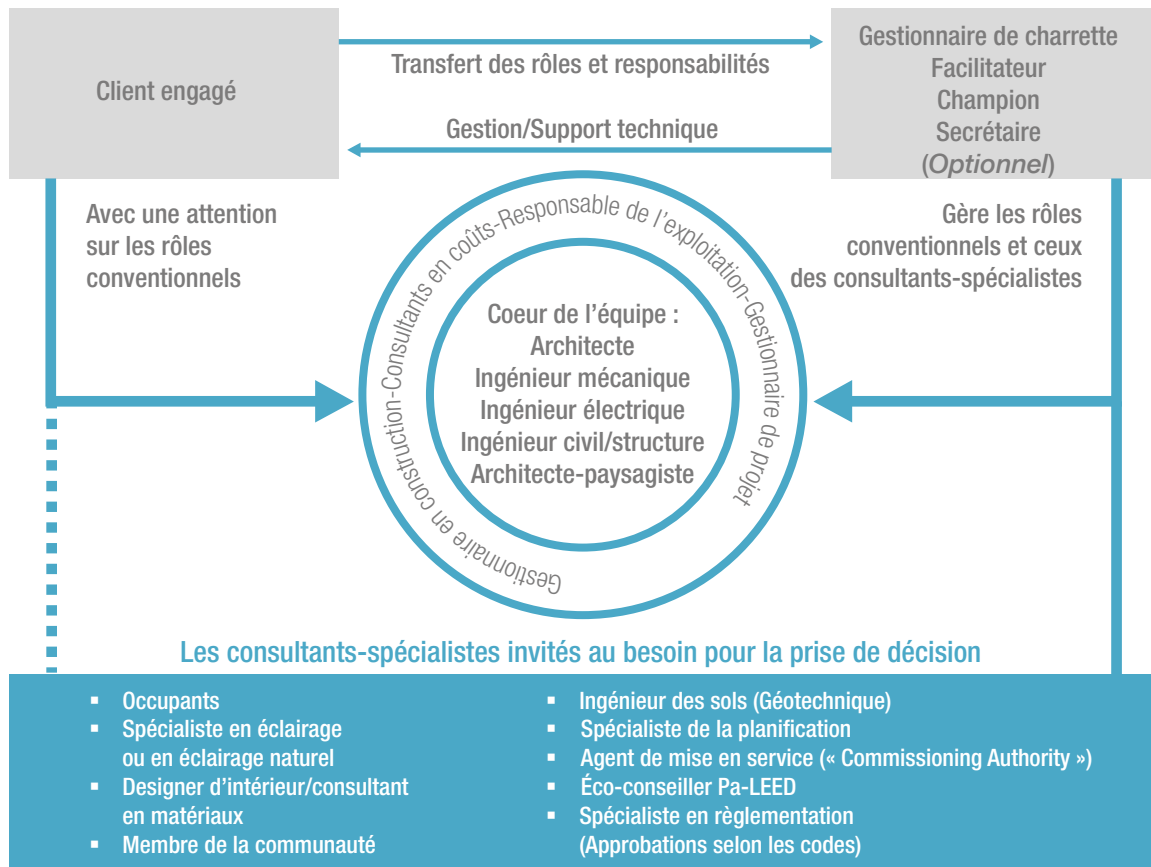
## 1.1 LES ACTEURS ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Dans le mode traditionnel, le processus de conception est souvent comparé à une boîte noire. Les professionnels interprètent l'énoncé des besoins ou le programme fonctionnel et technique (PFT) en ayant un minimum d'interactions avec le client, selon une séquence habituellement dictée par le contrat fourni par le professionnel. Selon les meilleures pratiques en CI ou en PCI, une participation active des parties prenantes est recherchée dans la définition du projet. L'organisation de cette participation demande une grande attention, car cette participation est coûteuse et non conventionnelle. Les professionnels, particulièrement les architectes, peuvent se montrer peu disposés à collaborer avec les futurs occupants ou les opérateurs, et ces derniers, souvent mal préparés à ce rôle, sont intimidés par les spécialistes. Les sections 1.1.1 à 1.1.4 présentent les différentes facettes liées à la participation active des acteurs du projet.

### 1.1.1 Les acteurs et les expertises requises

Comparativement à l'approche traditionnelle, la principale caractéristique du PCI est que l'ensemble de l'équipe est mobilisé dès le début du projet, et ce, jusqu'à la mise en service. Le mode de fonctionnement de l'équipe est fondamentalement différent. La démarche est globale et le projet, défini par itérations successives. Une seconde caractéristique réside dans la composition et la gestion de l'équipe (Figure 3).

Figure 3  
Description de l'équipe de conception<sup>8</sup>



8. Löhnert, G., Dalkowski, A., et Sutter, W. Integrated Design Process: A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design. 2003. IEA, [http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide\\_internal.pdf](http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_internal.pdf).

Le noyau de professionnels demeure sensiblement le même que dans un projet traditionnel. Par contre, le niveau d'engagement du client est beaucoup plus important. Certains scénarios peuvent proposer de modifier des paramètres qui ont un effet sur l'organisation spatiale ou le confort (par exemple une variation plus importante des températures ambiantes). Un représentant dont la délégation de pouvoir est suffisante pour prendre des décisions, ou pour inviter des acteurs clés dans certaines charrettes afin d'obtenir leurs réactions, leurs suggestions ou leur aval à certaines propositions, est une des conditions pour assurer le succès du processus.

Les charrettes sont des périodes de travail intensif dans lesquelles les participants sont affectés à un projet de conception complexe qu'ils doivent terminer dans un laps de temps très court. Elles peuvent mettre en présence des gens qui ont des positions fortement opposées<sup>9</sup>. Dans les meilleures pratiques, le rôle du représentant et celui du gestionnaire de projet sont séparés. Le gestionnaire de projet est responsable d'orchestrer le travail pour atteindre les objectifs en matière de coûts, de délais et de qualité. Le représentant joue à la fois le rôle de décideur et de porte-parole des usagers (il est aussi qualifié de champion du projet). Dans certains cas il peut, lorsqu'il a une formation adéquate, jouer aussi le rôle de facilitateur.

D'autres spécialités, dont celles de modelleur pour les simulations énergétiques et d'économiste en construction pour l'estimation des coûts des options, peuvent être requises. Selon les spécialistes en PCI interrogés, ces deux spécialités jouent un rôle majeur dans la mesure et la vérification du respect des cibles énergétiques de départ à l'intérieur du cadre budgétaire. La présence d'un agent de mise en service est aussi fortement suggérée pour accompagner le client dans sa démarche d'optimisation énergétique (voir section 2).

### 1.1.2 La participation des occupants et des opérateurs

Selon certaines recherches<sup>10</sup>, près de 50 % des innovations proviennent des utilisateurs (dans ce cas-ci les occupants et les opérateurs). Malheureusement, dans une approche traditionnelle, leurs attentes et leurs besoins ne sont pas pris en compte. Pour la conception du programme fonctionnel et technique, on se réfère à un document habituellement produit par un spécialiste qui ne fait pas partie de l'équipe de projet.

La conception intégrée encourage la participation des utilisateurs clés dans le processus de conception. Cependant, cette intégration doit être planifiée et bien gérée, d'où l'importance d'avoir un représentant du client dans l'équipe qui a l'autorité pour mobiliser les ressources requises au moment opportun. Un autre facteur déterminant pour maximiser les bénéfices de la participation des utilisateurs clés repose sur la préparation de ces derniers à fournir une rétroaction positive pour le projet. Ils sont souvent intimidés par les professionnels qui ont tendance à former un intragroupe à l'intérieur de l'équipe pour contrôler l'information et limiter la participation des utilisateurs à la validation de propositions soigneusement balisées. Le facilitateur doit travailler de pair avec le représentant du client pour déterminer la contribution des utilisateurs qui seront invités à une charrette et pour les préparer à leur participation.

9. Condon, P.M. Design charrettes for sustainable communities. 2012. Island Press.

10. Dodgson, M., Gann, D., et Salter, A. Think, Play, Do: Technology, Innovation, and Organization. 2005. Oxford University Press.



### Programme *Savings by Design* de Enbridge

Le programme *Savings by Design* de Enbridge encourageait la tenue de charrettes de conception intégrée dans lesquelles la modélisation énergétique en direct était utilisée pour établir des synergies permettant une amélioration énergétique d'au moins 25 % par rapport au Code du bâtiment de l'Ontario 2012 (OBC). Le soutien financier offert permettait de développer un modèle énergétique du bâtiment, utilisé pour évaluer différentes mesures d'efficacité énergétique lors des charrettes. L'utilisation de la simulation énergétique en temps réel a permis qu'une vingtaine de bâtiments atteigne les objectifs de performance du programme. Cette approche a aussi permis à l'équipe de conception d'élaborer des solutions innovantes et réalistes à moindres coûts<sup>11</sup>.

11. Knapp, D., Guénard, C., et Kerrigan, B. *Savings by Design: Benefits of Live Energy Modelling in Integrated Design Charettes*. 2014. eSim, IBPSA-Canada: Ottawa, On.

### 1.1.3 Les exigences de performance et la rétroaction par la simulation

Une approche favorisée en PCI est la création, dès la première charrette, d'un modèle de référence accompagné d'une simulation afin de bien cerner les enjeux d'optimisation des stratégies passives sur le site. À partir de cette première évaluation, l'équipe peut s'entendre sur des cibles de performance, conservatrices ou audacieuses, et établir les stratégies pouvant offrir le meilleur retour sur l'investissement.



#### Tohu

Le secret d'une optimisation réussie à moindre coût demeure la capacité de trouver des solutions synergiques et innovantes : c'est la raison d'être de la conception intégrée. Le dynamisme de l'équipe de conception permet de mettre de l'avant des solutions innovantes. Dans le projet de la Tohu, ce dynamisme a permis de réduire considérablement la taille des équipements mécaniques par des mesures variées comme l'utilisation d'un puits canadien, la ventilation naturelle par un puits d'évacuation dans la toiture, l'utilisation d'un bac de glace comme accumulateur, la réutilisation de la vapeur résiduelle de la centrale thermique adjacente pour chauffer à moindres coûts.

### 1.1.4 Les modes contractuels et la présence du constructeur en amont

Le mode traditionnel « conception-soumission-construction » se prête particulièrement mal au PCI :

- le projet ne profite pas de l'expertise du constructeur en amont pour l'évaluation de la constructibilité, le choix des solutions constructibles offrant le meilleur rapport performance/coût et l'évaluation budgétaire de la proposition découlant de chacune des itérations;
- les honoraires ne sont pas modulés en fonction de la redistribution de l'effort illustrée à la Figure 1, ce qui rend les professionnels réticents à s'engager pleinement dans le PCI;
- la séparation des responsabilités par spécialité et le lien contractuel unidirectionnel entre le client et chacune des spécialités sont un frein important à la collaboration et à l'innovation<sup>12</sup>.

Les honoraires au pourcentage des ingénieurs vont à l'encontre du PCI, puisque le but de celui-ci est de réduire les systèmes mécaniques, entraînant par le fait même une baisse d'honoraires et une augmentation de l'effort. En théorie, les ingénieurs devraient commencer à participer au projet de construction en même temps que les autres professionnels, dès l'esquisse, et même en préconception. Cependant la modulation des contrats traditionnels suggère une distribution de l'effort qui les incite à intervenir beaucoup plus tard dans le dossier préliminaire. Bien que certains donneurs d'ouvrage prévoient des honoraires pour leur participation aux charrettes de façon à les inciter à s'engager plus tôt dans le processus, ils peuvent être hésitants à faire les travaux préparatoires d'analyse qui sont essentiels à une contribution valable aux charrettes.

Dans une moindre mesure, la problématique est similaire pour les architectes. Bien que l'utilisation de la simulation durant la conception en amont soit recommandée, cette activité à haute valeur ajoutée n'est habituellement pas prévue dans les contrats des architectes. La plupart des agences d'architecture n'ont d'ailleurs ni les ressources ni les outils pour offrir un tel service.

Une réflexion du client s'impose au sujet du processus de sélection de ses consultants et de sa gestion des contrats pour ne pas obtenir un résultat opposé à celui attendu. Une modulation des honoraires conséquente à l'effort exigé est préférable. La gérance de construction aide aussi à résoudre ce problème, mais elle est plus exigeante pour le client. La conception-construction ou clés en main est une autre option souhaitable pour favoriser la collaboration et l'innovation. La section 2.2 du fascicule 1 présente les différents modes contractuels.

## 1.2 LES PROCESSUS ET LES MÉTHODES

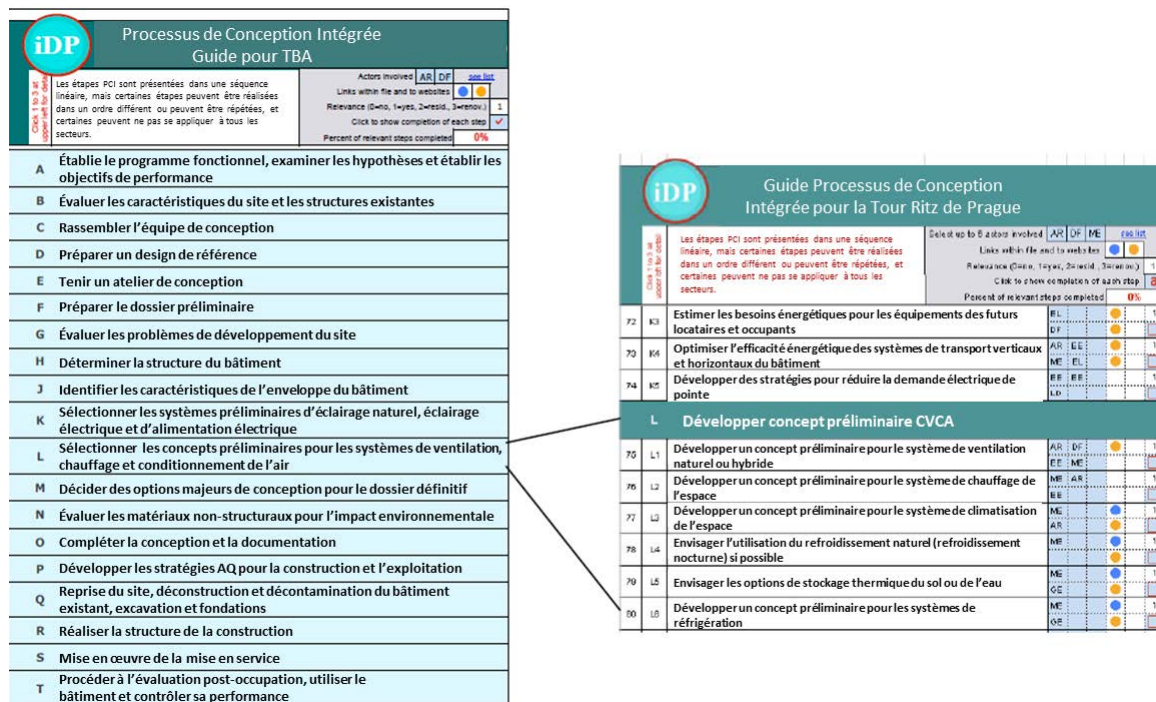
Le modèle de PCI développé dans SBTool est de loin le plus perfectionné pour concevoir un bâtiment à haute performance énergétique. Il combine la définition de critères et d'objectifs à un système de pondération et de points de contrôle pour chacune des phases du projet dans une approche d'amélioration continue. On y décrit quand les charrettes doivent être réalisées, dans quel but, quelles sont les informations à préparer pour chacune d'elles, le type d'outils de simulation à utiliser et à quelle fin.

12. Koskela, L., Howell, G., et Lichtig, W. Contracts and production. 2006. Symposium on Sustainability and Value through Construction Procurement, CIBW92 Procurement Systems: Salford, UK.

La partie la plus intéressante de cette méthode est son processus. La Figure 4 présente un extrait de la démarche proposée par iISBE, dont les principales caractéristiques sont :

- un système de quatre points de contrôle dans la démarche PCI pour vérifier si les propositions atteignent les cibles et pour stimuler le travail itératif afin d'arriver à des solutions performantes;
- une intégration des logiciels d'analyse énergétique, de cycle de vie et de coût global au processus;
- une séquence de processus optimisée pour réaliser des bâtiments à haute performance.

Figure 4  
Processus de conception intégrée d'iISBE<sup>13</sup>



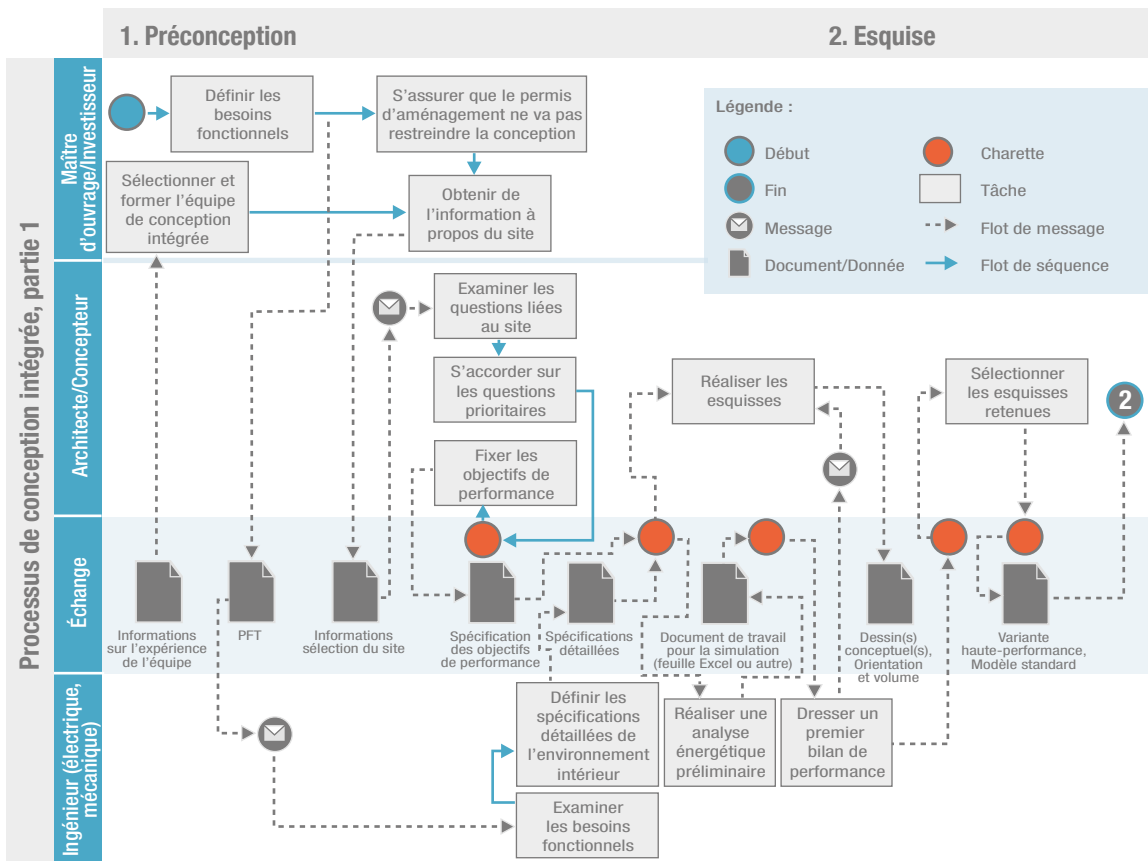
13. Larsson, N. The Integrated Design Process; History and Analysis. 2009.

### 1.2.1 Un processus générique d'optimisation itérative

Les pratiques courantes de conception intégrée s'articulent généralement autour de quelques charrettes réalisées lors de la définition du projet (esquisses et dossier préliminaire). L'absence de cadre formel pour gérer les charrettes donne des résultats souvent sous-optimaux. Elles deviennent alors un exercice de coordination qui a un impact positif sur la réduction des erreurs et des omissions, mais le travail de conception collaborative y est souvent très limité : l'exercice génère peu de solutions innovantes et les boucles de rétroaction, élément essentiel de l'amélioration continue de la performance énergétique, sont absentes. La simulation est limitée à la validation exigée pour la certification environnementale.

Les figures 5, 11 et 12 présentent un PCI qui englobe l'ensemble du cycle de vie du projet jusqu'à l'acceptation définitive. La Figure 5 décrit le flot de travail durant les phases de préconception et d'esquisse de la définition du projet ainsi que la production et l'échange d'informations dans les deux premières phases du projet. Dans la phase de préconception, c'est généralement le client qui fait ou qui sous-traite l'effort de production de l'information pour la conception. L'esquisse est la phase au cours de laquelle se fait la majorité des charrettes.

Figure 5  
Flot de travail dans la préconception et l'esquisse



## 1.2.2 La planification et l'organisation du travail

Les spécialistes en conception intégrée soulignent l'importance pour l'ensemble de l'équipe de s'engager à définir, à partager et à atteindre les objectifs et les cibles. Une méthode préconisée par Reed et collab.<sup>14</sup> est la production par l'équipe d'une feuille de route dans laquelle chacun des participants s'engage à fournir un intrant précis dans une plage de temps déterminée.

La première charrette porte, entre autres, sur les enjeux à établir et sur la feuille de route. Les participants développent leurs propres perspectives de chacune des activités individuelles. Un point important dans cette planification est d'établir quelles simulations doivent être réalisées avant les ateliers et les charrettes et comment les données de ces simulations peuvent être utilisées pour évaluer les scénarios et les options qui seront étudiées. Considérant la complexité de cette préparation et des exercices de validation durant les charrettes, la participation d'un modéleur est un atout important.

Figure 6  
Bibliothèque multifonctionnelle de Varennes



### Bibliothèque de Varennes

La bibliothèque multifonctionnelle de Varennes a été conçue avec l'aide d'une équipe de conception intégrée avec un objectif net zéro. Les charrettes de conception ont permis l'élaboration de solutions innovantes, incluant une cheminée de ventilation passive, la géothermie, des thermopompes à air, une pente naturelle isolante, l'utilisation de verre triple, de panneaux solaires photovoltaïques, d'un capteur solaire thermique, un rideau de fermeture isolante, une terrasse et un éclairage solaire pour le stationnement, un éclairage intelligent et un contrôle prédictif<sup>15</sup>.

14. Reed, B., Fedrizzi, S., et collab. *The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability*. 2009. John Wiley & Sons, Inc.

15. Damphousse, M., Lamoureux, J., et Stylianou, M. *Le processus de conception intégré, une méthodologie efficace pour le milieu municipal*. 2012.

### 1.2.3 La préconception

Les possibilités d'optimisation dans cette phase ne se limitent pas au choix du site (voir fascicule 1, section 4.2). Si le site n'est pas prédéterminé, le client devrait recruter un agent de mise en service (MES) afin de déterminer les critères et les objectifs qui guideront le choix du site (voir section 2). Une fois les critères établis en respectant la séquence définie suivant les codes qui régissent la profession d'architecte, les possibilités d'optimisation sont les suivantes :

#### Analyser les besoins

L'analyse des besoins offre une première occasion de minimiser l'empreinte écologique, qui comprend la consommation énergétique, en cherchant à réduire au minimum l'espace nécessaire sans nuire à l'exploitation de l'entreprise. À cette étape, le client devrait définir ses attentes et ses exigences en matière de performance énergétique et de conditions particulières en fonction de l'empreinte écologique et des conditions d'occupation et d'exploitation.

#### Établir le programme architectural ou le programme fonctionnel et technique

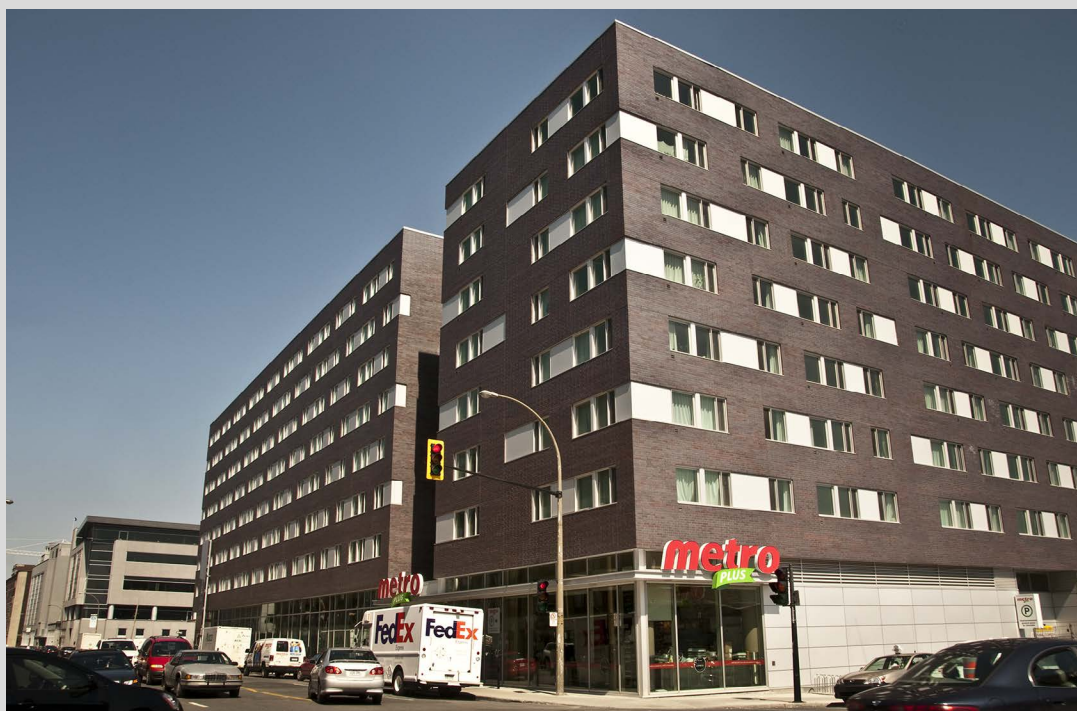
Le programme architectural ou le programme fonctionnel et technique (PFT) détermine la superficie des espaces, les relations spatiales entre les fonctions et les exigences techniques de ces fonctions. Pour s'assurer que la liste des besoins est justifiée sur le plan économique, l'approche doit être systématique. Les approches Lean 3P (production, préparation, processus, Figure 7), une forme de charrette pour la définition et l'optimisation collaborative du PFT et l'analyse de la valeur, sont des méthodes qui peuvent aider à évaluer si les espaces prévus sont justifiés. Un économiste en construction ou un décorateur ensemblier peut aussi participer à cet exercice. Enfin, une évaluation de l'emplacement des activités en fonction des besoins en éclairage naturel, du type d'occupation, et autres, peut aider les concepteurs à distribuer les espaces selon les caractéristiques spatiales et l'orientation les plus écoénergétiques.

Figure 7

Développement du programme en mode collaboratif 3P avec les futurs occupants



D'autres options peuvent être envisagées en ce qui concerne le PFT. Par exemple, l'ajout de bâtiments qui nécessitent des équipements dégageant de la chaleur (aréna, supermarché, centre de données informatiques) afin d'en récupérer les rejets pour subvenir en tout ou en partie aux besoins en chauffage d'autres types de construction est une approche qui a été utilisée avec succès pour des bâtiments à haute performance énergétique. Même si les charrettes sont peu utilisées à l'étape de la préconception, ce type d'exploration en ce qui concerne le site et le programme peut se traduire par des gains substantiels durant le cycle de vie du bâtiment et réduire les coûts de capitalisation liés à sa construction.



### Le PFT de l'École de technologie supérieure (ÉTS)

Selon les règlements de zonage de la Ville de Montréal, l'ÉTS était dans l'obligation de prévoir une fonction commerciale dans les résidences pour étudiants qu'elle planifiait construire. Le choix s'est porté sur un supermarché. L'intérêt était de récupérer l'importante quantité de chaleur dégagée par les systèmes de réfrigération pour chauffer les résidences. La technique *BubbleDeck* a été utilisée, ce qui a permis d'ajouter un étage complet en utilisant le même volume qu'un bâtiment ayant une structure conventionnelle.

### Mettre les études préparatoires en place

Les études préparatoires doivent aider le client à choisir les meilleures options pour répondre à ses besoins. Une nouvelle construction peut ne pas être l'option la plus souhaitable. Une rénovation, la reconversion d'un équipement existant ou un agrandissement sont également à considérer. Si le choix va vers une nouvelle construction, des critères de conception favorisant les méthodes passives peuvent être ajoutés pour la sélection du site. LEED propose aussi des critères pour faire cette sélection. Il faut considérer de réduire, par le choix de l'emplacement, les déplacements en automobile entre la maison et le travail. Dans le cycle de vie du bâtiment, le transport représente la plus grande consommation d'énergie.



La relation entre le projet et son environnement devrait aussi être évaluée sous l'angle des choix optimaux pour le site, les utilisateurs et le propriétaire et inclure l'évaluation de projets antérieurs, la définition des exigences spatiales globales, la quantification et la planification du budget. De plus, l'étude de faisabilité peut notamment inclure les éléments suivants : les questions de planification, l'évaluation de l'environnement, les permis de construction, les approbations réglementaires, l'analyse budgétaire, l'évaluation du site et de l'information sur celui-ci, l'analyse de sites potentiels, la disponibilité des services, l'analyse de l'occupation, des choix équipements (charge et dégagement de chaleur) et le potentiel de valorisation des rejets thermiques d'un bâtiment voisin.

### 1.2.4 L'esquisse

L'esquisse consiste à traduire le programme en une volumétrie et une configuration spatiale. Dans une optique d'optimisation énergétique, c'est à l'étape de l'esquisse que les options doivent être produites et validées. Dans une stratégie de MESA, c'est au début de cette phase que devrait être produit le cadre de conception (voir section 2).

En conception intégrée, c'est dans cette phase que les charrettes de conception permettent de dégager les plus grands bénéfices dans l'optimisation de la performance. La faisabilité et l'impact énergétique des technologies et des stratégies sont évalués à l'aide d'outils qui permettent une simulation de l'ensemble des systèmes du bâtiment, la comparaison des systèmes d'enveloppe et l'analyse de l'éclairage, le confort thermique et les options de systèmes CVCA<sup>16</sup>. Cette simulation devrait permettre de réduire les coûts en capital et les coûts d'exploitation (incluant les coûts énergétiques) et de minimiser les erreurs en fin de conception et lors de la phase de construction.

Les outils de simulation permettent aux utilisateurs de visualiser les idées proposées et de tester différents scénarios (forme du bâtiment, contrôle solaire et réduction des gains internes) pour trouver la solution optimale. Il y a un processus de boucle de rétroaction entre toutes les disciplines (l'analyste en énergie, le consultant en coûts, et l'expert en éclairage), combiné à des séances de remue-méninges qui permettent la conceptualisation de stratégies innovantes. Une approche d'évaluation multicritères, incluant l'étude de l'orientation, la volumétrie et les systèmes structuraux, est recommandée dans le PCI pour appuyer le choix du concept.

Développer le cadre de conception s'inscrit particulièrement bien dans le travail de préparation d'un atelier de visualisation. Y participent les représentants du client (opérateurs, gestionnaires d'équipement, directeurs, chargé de projet), ainsi que les professionnels (architecte, ingénieur, PA-LEED). Le cadre de conception sert ensuite de matériel de fond pour exprimer les aspirations et les points de vue des parties prenantes sous forme d'esquisses. L'objectif est de trouver deux ou trois options qui pourraient être étudiées par l'architecte.

Après le choix du site, une première étude de volumétrie et de performance énergétique sommaire peut être réalisée avec des logiciels 3D comme SketchUp avec OpenStudio ou Autodesk Vasari. Lors de cette première charrette, l'équipe détermine ensuite les enjeux du site et les cibles de performance avec le client, selon des seuils acceptables, et d'autres, audacieux. Puis l'équipe réalise une série d'itérations dans une ou deux charrettes pour étudier divers scénarios selon une démarche similaire à celle décrite dans le fascicule 1, en débutant par les stratégies passives. De ces scénarios, deux sont retenus : celui qui est le plus intéressant au chapitre du coût de construction et du coût global, et une variante qui servira de lieu d'expérimentation pour explorer les possibilités de synergies établies dans les charrettes afin de continuer la recherche d'optimisation. Le but est double : rechercher des solutions en bâtissant l'esprit d'équipe et stimuler la créativité.

16. Löhnert, G., Dalkowski, A., et Sutter, W. Integrated Design Process: A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design. 2003. IEA, [http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide\\_internal.pdf](http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_internal.pdf).

### 1.2.5 Le dossier préliminaire

À cette étape, une conception optimale requiert la collaboration de tous les professionnels afin de déterminer les synergies qui sont les plus utiles au projet. Dans cette perspective, l'utilisation d'outils de simulation énergétique peut s'avérer essentielle à la prise de décision. Ces outils peuvent permettre de trouver plus facilement les compromis qui doivent parfois être faits entre deux objectifs de performance. Par exemple, l'ajout de vitrage favorisera l'éclairage naturel, mais aura aussi un impact sur la charge de chauffage et de refroidissement. Les connaissances et l'expertise des ingénieurs ainsi que leur capacité à évaluer l'impact de ces phénomènes à l'aide des outils de simulation sont primordiales dans la recherche de solutions optimales.

La Figure 10 décrit le flot de travail durant la phase du dossier préliminaire, dernière grande occasion d'optimiser le projet. L'optimisation se fait ici selon une série d'itérations à partir de l'option retenue à la phase précédente. Ces itérations successives s'attaquent dans un ordre décroissant de retour à l'optimisation des principales composantes, soit l'enveloppe, l'éclairage et les systèmes CVCA. Le processus est relativement similaire à celui présenté dans le fascicule 1 à la section 4.4, à la différence que le processus d'itérations est formalisé dans le flot de travail à l'intérieur des charrettes.

#### L'enveloppe

En plus de la démarche de l'architecte présentée dans le fascicule 1 (section 4.4 et annexe A), la participation de l'ingénieur à l'optimisation de l'enveloppe dans une démarche de CI permet d'améliorer les aspects suivants :

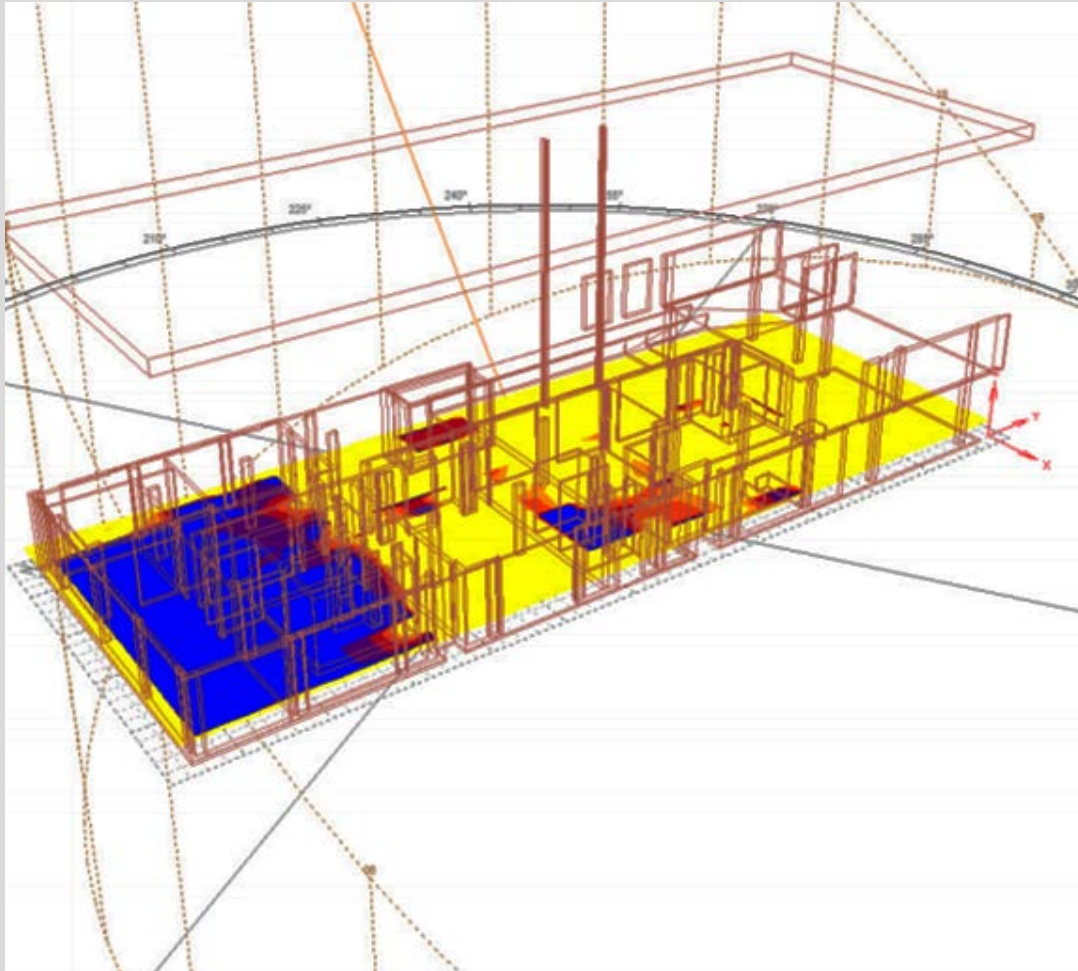
- L'occupation d'un bâtiment a un impact direct sur ses besoins énergétiques. Même si des logiciels comme Ecotect permettent à l'architecte de faire des analyses pour prendre en considération les impacts de l'occupation dans sa conception, l'ingénieur dispose de logiciels plus performants pour concevoir ses systèmes, d'où l'importance de s'assurer de sa participation.
- Le confort thermique dépend de plusieurs facteurs, notamment la proximité d'une fenêtre ou les déplacements d'air. L'ingénieur peut contribuer à la réflexion de l'architecte sur plusieurs aspects de sa conception pour qu'il tienne compte de cette dimension.
- Le choix des percées, du vitrage et des protections solaires peuvent être simulés par l'ingénieur afin de les optimiser.

#### L'éclairage

L'architecte peut utiliser plusieurs dispositifs pour maximiser l'éclairage naturel tels que les atriums, les puits de lumière et les tablettes lumineuses. L'utilisation de logiciels de simulation peut l'aider à placer les ouvertures d'une façon judicieuse. L'équilibre entre les solutions d'éclairage naturel et électrique doit être soigneusement soupesé, car le retour sur l'investissement des dispositifs architecturaux pourrait s'avérer moins intéressant que les solutions d'ingénierie. Dans ce contexte, l'ajout d'un spécialiste en éclairage est une décision judicieuse, l'éclairage représentant la deuxième charge après le chauffage dans les bâtiments commerciaux et institutionnels (voir l'annexe A du fascicule 1).

Figure 8

### Maison du développement durable (Courtoisie de MSDL Architectes<sup>17</sup>)



#### Maison du développement durable

Des logiciels de simulation de l'apport en lumière naturelle ont été utilisés pour le dimensionnement et l'emplacement des ouvertures dans les locaux régulièrement occupés.

#### Les systèmes CVCA

En plus de la démarche présentée dans le fascicule 1 (section 4.4 et annexe B), la conception des systèmes CVCA peut inclure les trois éléments ci-dessous.

- L'étude de la ventilation naturelle. L'objectif de la ventilation naturelle est d'abord de réduire les charges des moteurs qui assurent la propulsion de l'air dans les conduits, mais elle comporte aussi un avantage psychologique en raison de la sensation de confort qu'elle procure aux occupants.

17. Shooner, A. Maison du développement durable. 2011.

Figure 9  
Ventilation naturelle au 740, rue Bel-Air (Gracieuseté de Provencher Roy architectes<sup>18</sup>)



#### Le 740, rue Bel-Air, de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

Dans l'édifice Normand-Maurice, on a privilégié la ventilation naturelle, soutenue par un système de ventilation mécanique qui est en mesure de traiter 100 % de l'air extérieur lorsque requis.

- L'évaluation de l'option de filtration et d'humidification naturelle du mur végétal. L'objectif du mur végétal est de profiter de la capacité filtrante des plantes pour réduire la nécessité d'aller chercher de l'air neuf à l'extérieur en hiver et le besoin d'équipement pour l'humidification. Une synergie intéressante est possible avec la ventilation naturelle.

#### Mur végétal de la Maison du développement durable

En plus de son impact visuel spectaculaire, le mur végétal de la Maison du développement durable est un dispositif d'humidification et de filtration supplémentaire qui a permis de réduire le recours aux systèmes mécaniques.

- L'étude de l'inertie thermique. Cette étude touche deux stratégies : 1) réduire les fluctuations de la température intérieure en utilisant la masse thermique, et 2) utiliser des matériaux à changement de phase pour absorber et libérer de la chaleur selon les cycles thermiques. Ces approches sont couramment utilisées en Europe, notamment pour obtenir les certifications PassivHaus ou Minergie.

18. <http://projetsverts.voirvert.ca/projets/edifice-normand-maurice>.

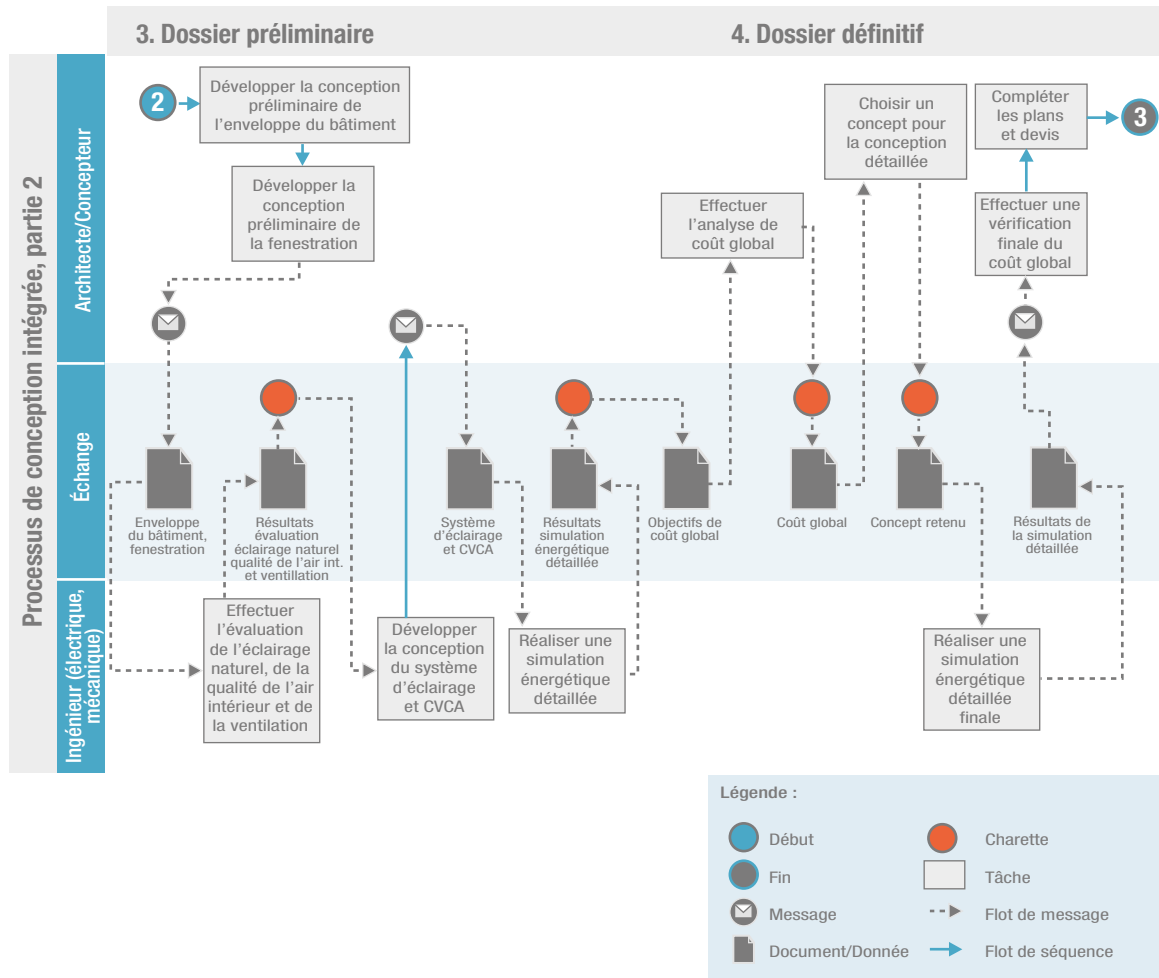


### London City Hall

Le London City Hall est un exemple intéressant de synergies pour rechercher des solutions de compacité. La surface exposée est inférieure de 40 % à celle d'un bâtiment conventionnel. L'inclinaison maximise l'éclairage naturel tout en servant de protection solaire au sud<sup>19</sup>.

19. <https://www.london.gov.uk/city-hall>.

Figure 10  
Processus d'optimisation



## 1.2.6 LE DOSSIER DÉFINITIF

À ce stade, en conception intégrée, les charrettes n'offrent que peu de retour sur l'investissement. Cependant, on suggère d'organiser un ou deux ateliers d'une demi-journée pour revoir en détail les solutions cruciales proposées pour maximiser la performance énergétique et pour s'assurer d'une bonne coordination entre les architectes et les ingénieurs dans la documentation de ces solutions. Il faut aussi s'assurer de la constructibilité des détails proposés, plus particulièrement en matière de ponts thermiques et d'étanchéité, et veiller à ce que les intentions qui figuraient dans le dossier préliminaire soient respectées et que les détails élaborés pour les plans et devis soient conformes au niveau de performance établi dans ce dossier.

### Optimiser les choix architecturaux

À cette étape, l'architecte explore plus en détail les options pour atteindre les objectifs de performance fixés dans la phase de définition du projet et précise ses efforts pour en réduire les coûts. Les ingénieurs définissent les besoins en climatisation et en chauffage au moyen d'une simulation énergétique plus étendue du bâtiment. La simulation doit alors suivre les procédures définies dans la norme à laquelle il est fait référence en début du projet.

### Optimiser les systèmes CVCA

L'ampleur des systèmes CVCA est un indicateur du succès de l'architecte, puisque cette ampleur dépend des mesures passives entreprises dans les phases de conception précédentes. Dans le dossier définitif, des boucles d'optimisation concernant la conception, l'évaluation de la faisabilité et de la viabilité des stratégies et des technologies de construction peuvent être effectuées en réalisant une simulation énergétique plus détaillée afin de confirmer les objectifs de performance énergétique. De plus, c'est au cours de cette phase qu'il est possible de concevoir les systèmes pour trouver une solution mieux adaptée qui répond au budget et aux exigences du projet<sup>20</sup>.

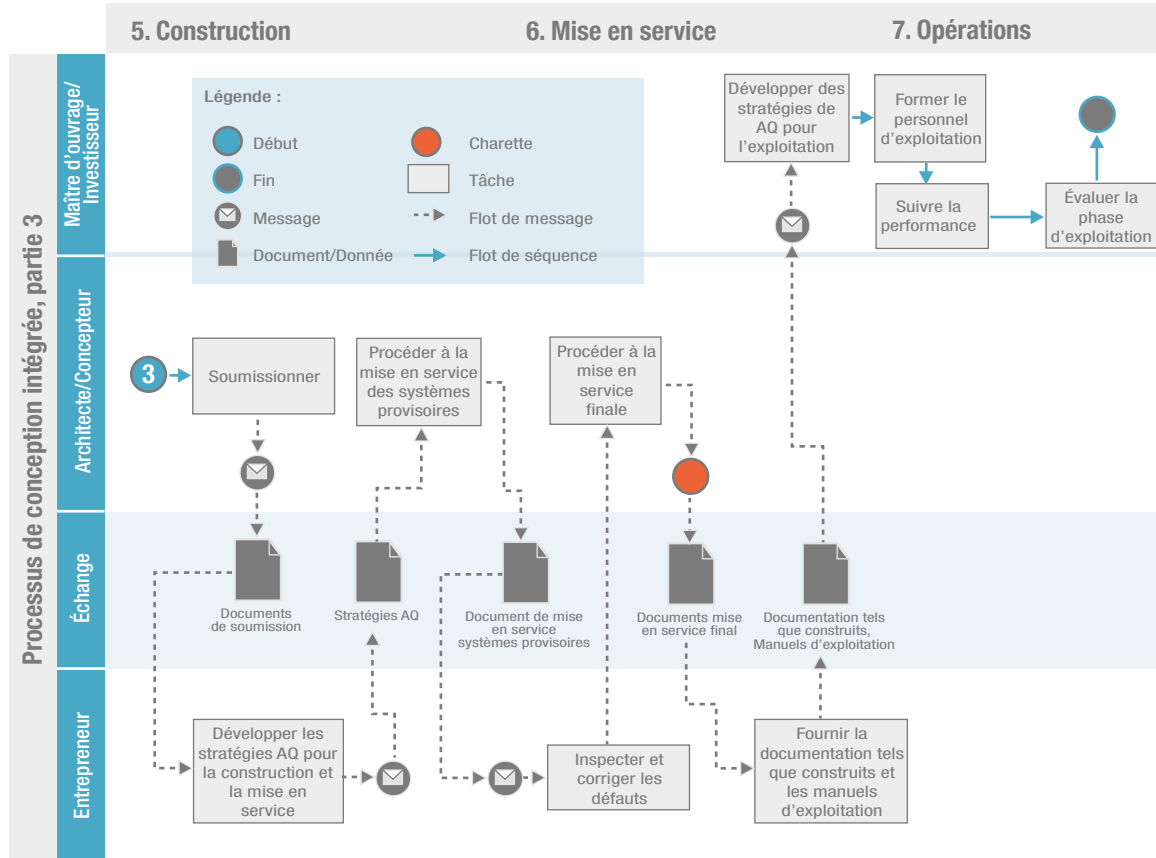
Différents logiciels sont proposés dans le fascicule 1 pour conduire les simulations visant à vérifier et à comparer les différentes options. Le choix d'un système doit être basé sur un processus itératif de conception. Il est aussi suggéré de réaliser des analyses de coût global pour tous les systèmes, incluant l'enveloppe, afin d'être en mesure de réaliser une évaluation avantages-coûts des différentes options.

## 1.2.7 LA RÉALISATION ET LA LIVRAISON DU PROJET

Figure 11 englobe les phases de construction, de mise en service, incluant un plan d'assurance qualité (AQ), et d'exploitation du bâtiment. Lors de ces phases, les professionnels sont tenus de s'assurer que l'entrepreneur général et les entrepreneurs spécialisés qui travaillent avec lui respectent les exigences en matière de matériaux et d'assemblage, tout en prenant les précautions nécessaires et en faisant les vérifications recommandées dans l'installation des systèmes. Il est suggéré d'organiser une charrette à la fin de la mise en service pour examiner les problématiques non résolues et trouver des solutions. Après un an d'exploitation, un dernier atelier devrait permettre de valider les hypothèses utilisées pour la conception par rapport à la performance mesurée au cours de cette année.

20. Löhnert, G., Dalkowski, A., et Sutter, W. Integrated Design Process: A Guideline for Sustainable and Solar-Optimised Building Design. 2003. IEA, [http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide\\_internal.pdf](http://archive.iea-shc.org/task23/publications/IDPGuide_internal.pdf).

Figure 11  
Flot de travail dans la réalisation et la livraison du projet



### Pour en savoir plus sur la CI et le PCI

Processus de conception intégrée – CERACQ

(<http://ceracq.ca/wp-content/uploads/2015/03/Guide-conception-integree-CERACQ.pdf>)

The Integrated Design Process; History and Analysis – iISBE

(<http://www.iisbe.org/system/files/private/IDP%20development%20-%20Larsson.pdf>)

Roadmap for the integrated design process part one: summary guide: et Integrated design process facilitation resource guide – Cascadia

(<http://www.sustainabilitysolutions.ca/sites/default/files/SSG%20IDP%20Facilitation%20Resource%20Guide.pdf>)

Guide de conception et de réalisation intégrées - Commission de coopération environnementale

(<http://www3.cec.org/islandora/fr/item/11661-improving-green-building-construction-in-north-america-guide-integrated-design>)



## CHAPITRE 2 >

# LA MISE EN PLACE DE LA MISE EN SERVICE AMÉLIORÉE

2.1	L'approche LEED de mise en service et de mise en service améliorée	27
2.2	Le guide ASHRAE de mise en service	30

La CI et le PCI ont des limitations importantes en ce qui concerne les résultats escomptés d'optimisation énergétique. L'effort d'itérations en amont permet de puiser dans le potentiel d'optimisation décrit à la Figure 10. Cependant, le succès de cet exercice est loin d'être garanti sans un processus rigoureux de vérification et de validation durant la construction et la mise en service. Un autre problème est l'absence de boucles de rétroaction une fois l'exploitation commencée, ce qui permettrait aux professionnels de vérifier ou de valider les hypothèses sur lesquelles les solutions de conception ont été construites et d'améliorer leur maîtrise des outils de simulation. L'engagement d'un agent de mise en service en amont du projet peut aider à pallier en tout ou en partie ces problèmes.

Plusieurs études ont démontré les aléas de la simulation, avec des écarts allant du simple au double entre ce qui était prévu et la réalité. Un des facteurs de ces écarts se trouve dans la mise en service. La livraison des équipements se faisait souvent sans vérification de la fonctionnalité pour le calibrage des systèmes. La mise en service est devenue depuis une spécialité et le corpus de connaissances attaché à ce domaine corrige de nombreux manques dans les pratiques actuelles de réalisation de bâtiments à haute performance énergétique.



## 2.1 L'APPROCHE LEED DE MISE EN SERVICE ET DE MISE EN SERVICE AMÉLIORÉE

Une des grandes contributions de la certification LEED a été de mettre l'accent sur la nécessité de bien gérer la mise en service pour maximiser les retombées d'une conception durable, et de proposer un cadre pour guider le processus de MESA (tableau 1). Les documents LEED décrivent les principes et les aspects de la mise en service durant chacune des phases du projet. Cependant, ils laissent à d'autres organisations le soin de documenter l'ensemble du processus de mise en service. LEED aborde aussi deux autres dimensions importantes pour assurer un résultat fiable au processus d'optimisation, soit l'assurance et le contrôle qualité.

Tableau 1  
Mise en service et mise en service améliorée

Phase de réalisation	Principe et aspect de mise en service
<b>Planification</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plan de mise en service et de mise en service améliorée :               <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Définition des attentes et des exigences du propriétaire</li> </ul> </li> <li>■ Collecte d'informations supplémentaires :               <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>
<b>Conception</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Suivi de la conception des systèmes :               <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Analyse des concepts préliminaires</li> <li>□ Établissement 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>■ Révision et finalisation du plan de mise en service :               <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Séquence d'opérations pour la construction</li> <li>□ Calendrier d'occupation du bâtiment</li> <li>□ Horaires d'exploitabilité 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>□ Besoin en air extérieur minimal</li> <li>□ Changements dans les horaires pour les différentes saisons, les jours de la semaine et les heures de la journée</li> <li>□ Liste descriptive des systèmes et des équipements mécaniques et électriques</li> <li>□ Plan de maintenance préventive des équipements</li> <li>□ Programme de mise en service qui comprend des exigences périodiques de mise en service, les tâches de mise en service en cours, et les tâches continues pour les installations essentielles</li> </ul> </li> </ul>
<b>Construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Supervision de la mise en service des systèmes :               <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Assurance de la conformité aux spécifications des plans et devis et des directives</li> <li>□ Préparation des dessins d'atelier pour chaque équipement</li> <li>□ Mise en condition et équilibrage approprié des systèmes</li> <li>□ Suivi et contrôle du plan de mise en service</li> </ul> </li> </ul>
<b>Exploitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mise en service des équipements nouvellement installés :               <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>

## L'assurance et le contrôle de qualité

L'assurance qualité est une notion très importante tant dans la phase de conception que dans celle de construction. En effet, ces phases correspondent respectivement à près de 79 % et 17 % des sources de défaillances<sup>21</sup>. Comme des écarts considérables peuvent survenir à la suite de changements, d'erreurs ou d'omissions, l'industrie de la construction prend de plus en plus conscience de l'impact lié à l'augmentation des problèmes de qualité sur les chantiers. Les défaillances dans la construction peuvent avoir un effet considérable sur la performance du bâtiment. Les sources de défaillances sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2  
Sources de défaillances en fonction du cycle de vie du bâtiment

Phase de réalisation	Source 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 au fournisseur</li> <li>■ Erreurs d'intégration des composants et des 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'exploitabilité</li> </ul>

Les professionnels doivent s'assurer de la conformité des plans et devis avec la réglementation, les codes et les normes tandis que le constructeur doit veiller à la réalisation du projet selon les méthodes et les spécifications techniques exigées. De plus, les professionnels doivent vérifier la conformité technique des matériaux, composants et systèmes sur le chantier, et voir à la qualification de la main-d'œuvre et aux méthodes d'assemblage et de construction utilisées. Habituellement, les architectes et les ingénieurs jouent un rôle prépondérant dans la qualité des constructions. Toutefois, l'assurance qualité sur le chantier reporte une certaine part de responsabilité sur le constructeur, les fabricants et les fournisseurs qui deviennent des acteurs importants dans l'atteinte des exigences et des performances attendues. Le suivi et le contrôle sont du ressort des professionnels. Le tableau 3 présente les principaux types de contrôle à effectuer selon un plan d'inspections et d'essais.

21. Burati, J.L. Jr., Farrington, J.J., et Ledbetter, W.B. Causes of quality deviations in design and construction. 1992. Journal of Construction Engineering and Management 118 (1): 34-49.

L'intérêt des approches de mise en service de la certification LEED est de fournir un cadre pour s'assurer de la qualité et de la conformité de la construction et de la calibration des systèmes. Comme le cadre proposé est relativement flou et n'impose pas une démarche rigoureuse, ASHRAE a résolu ce problème en développant un guide et une certification à cet effet. Quelques personnes sont certifiées au Québec pour faire ce travail (<http://report.ashrae.org/Certification/list?type=CPM>).

Tableau 3  
**Contrôle qualité, inspections et essais**

<b>Surveillance de chantier – suivi et contrôle</b>	
<b>Plan de contrôle de la qualité</b>	
<p><b>Cadre de contrôle de qualité</b></p> <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>■ Maîtrise des documents               <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Partage et transfert de l'information (documents de conception et de construction)</li> </ul> </li> <li>■ Matériaux (spécifications, identification et traçabilité)</li> <li>■ Maîtrise des processus (exploitation, risques de non-qualité ou de non-performance et actions préventives)</li> <li>■ Contrôles et essais</li> <li>■ Maîtrise du produit non conforme</li> <li>■ Actions correctives et préventives</li> <li>■ Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison</li> <li>■ Formation</li> </ul>	<p><b>Plan d'inspections et d'essais</b></p> <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 des inspections et des essais</li> <li>■ Exigences ou critères d'acceptation (codes et normes) : tolérance des spécifications (marge d'acceptation)</li> <li>■ Méthodes à utiliser : mesurage, arpentage, équipements spécialisés</li> <li>■ Instrument de mesure et inspecteur (expertise/expérience)</li> <li>■ Enregistrement et conservation des données</li> <li>■ Actions correctives en cas de non-conformité</li> </ul>

## 2.2 LE GUIDE ASHRAE DE MISE EN SERVICE

Les lignes directrices du Guideline 0-2013 développées par ASHRAE<sup>22</sup> sur le processus MES proposent un cadre normalisé pour la définition des exigences et la vérification de l'atteinte des objectifs de performance, particulièrement bien adapté à cette fonction. C'est une approche rigoureuse d'assurance et de contrôle qualité qui s'étend sur l'ensemble du cycle de vie du projet, de sa conception à son exploitation. Elle est basée sur le mode de réalisation traditionnel, mais pourrait facilement être adaptée à un mode itératif. Les principes qui régissent cette norme sont les suivants :

- l'accompagnement du client par un spécialiste dès que le projet est autorisé pour déterminer le périmètre des besoins et des attentes;
- des gabarits normalisés pour définir les objectifs et les critères;
- un processus documenté avec des points de contrôle à la fin des étapes clés dans le développement de la conception, de la construction et de la mise en service;
- un processus documenté pour s'assurer que les opérateurs y participent et que l'information pour la gestion et l'entretien sera colligée et mise à jour tout au long du projet.

Il est recommandé que l'agent MES accompagne le client pendant tout le projet jusqu'à l'exploitation. Le mandat de l'agent MES peut débuter lors de la sélection des professionnels et de l'entrepreneur, au cours d'un processus qui s'apparente à la préqualification et permet de s'assurer que ces derniers possèdent les ressources pour répondre aux exigences du client. Il faut cependant inviter le client à être prudent pour éviter la collusion ou les conflits d'intérêts. Le pouvoir de l'agent MES devrait se limiter au rôle de conseiller dans le choix des professionnels auprès du gestionnaire du client, lequel devrait faire signer à l'agent une déclaration d'absence de conflit d'intérêts avec les professionnels préqualifiés.

L'agent formera une équipe composée des représentants du client dans différentes sphères du maintien d'actifs. Il s'appuie sur trois documents pour orienter et suivre le projet : les exigences du propriétaire pour le projet (EPP), le plan MES et le cadre de conception.

Les exigences du propriétaire pour le projet (Owner Project Requirements) servent de base au client dans l'analyse de faisabilité et le développement du programme fonctionnel et technique et du concept. Il fixe aussi les critères et les objectifs qui serviront à valider les propositions de conception et à vérifier le respect des objectifs énoncés dans l'EPP. Ce document est produit lors de la préconception, avant l'engagement des professionnels. Le gabarit proposé est très détaillé comme le montre le tableau 4.

22. ASHRAE, ASHRAE Guideline 0-2013: The Commissioning Process. 2013. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta Ga.

Tableau 4

### Liste de contrôle des documents pour vérification du respect des objectifs énoncés dans l'EPP

Liste de contrôle	
a. Échéancier du projet et budget	<input type="checkbox"/>
b. Portée du processus MES et budget	<input type="checkbox"/>
c. Exigences de documentation du projet (envisager d'utiliser des documents et des dossiers en format électronique le cas échéant) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ format pour les soumissions</li> <li>■ matériel de formation, rapports</li> <li>■ manuels pour les systèmes</li> </ul>	<input type="checkbox"/>
d. Directives du propriétaire	<input type="checkbox"/>
e. Restrictions et limitations	<input type="checkbox"/>
f. Besoins des utilisateurs	<input type="checkbox"/>
g. Exigences d'occupation et horaires	<input type="checkbox"/>
h. Exigences de formation pour le personnel du propriétaire	<input type="checkbox"/>
i. Conditions de garantie	<input type="checkbox"/>
j. Exigences de mesure de performance ( <i>benchmarking</i> )	<input type="checkbox"/>
k. Critères de fonctionnement et d'entretien de l'installation <ul style="list-style-type: none"> <li>■ attentes et capacités du propriétaire</li> <li>■ réalités du type d'installation</li> </ul>	<input type="checkbox"/>
l. Attentes pour l'équipement et la maintenabilité du système (limites du personnel d'exploitation et d'entretien)	<input type="checkbox"/>
m. Exigences de qualité des matériaux et de la construction	<input type="checkbox"/>
n. Tolérance autorisée dans les opérations du système d'installation	<input type="checkbox"/>
o. Objectifs d'efficacité énergétique	<input type="checkbox"/>
p. Objectifs environnementaux et de durabilité	<input type="checkbox"/>
q. Exigences communautaires	<input type="checkbox"/>
r. Adaptabilité pour les futures modifications des installations et pour l'expansion	<input type="checkbox"/>

s. Exigences d'intégration des systèmes, en particulier entre les disciplines	<input type="checkbox"/>
t. Exigences en santé, en hygiène et en environnement intérieur	<input type="checkbox"/>
u. Exigences acoustiques vs exigences de vibrations	<input type="checkbox"/>
v. Exigences sismiques	<input type="checkbox"/>
w. Exigences d'accessibilité	<input type="checkbox"/>
x. Exigences de sécurité	<input type="checkbox"/>
y. Exigences esthétiques	<input type="checkbox"/>
z. Exigences de constructibilité	<input type="checkbox"/>
aa. Exigences de communication	<input type="checkbox"/>
ab. Codes et normes applicables	<input type="checkbox"/>

Le plan de mise en service est en quelque sorte un plan de production et de mesure de conformité des spécifications pour la construction. Ce document est produit en préconception, avant l'engagement des professionnels ou avec leur collaboration (Tableau 5).

L'EPP se veut un outil qui fournit les bases pour guider les équipes de projet dans les modifications nécessaires afin de répondre aux besoins changeants du propriétaire. Le processus de vérification pour s'assurer de la conformité à l'EPP implique toutes les parties prenantes : concepteurs, entrepreneurs en construction jusqu'à l'opérateur du bâtiment et aux occupants. Lors de la conception, l'agent MES fournit des listes de contrôle aux professionnels pour les aider dans le processus de contrôle de la qualité de conception et rappelle aux concepteurs les spécificités de l'EPP dans la mise en service et dans les revues de conception. Pendant la construction, l'agent MES fournit des listes de contrôle aux entrepreneurs afin de les aider dans le processus de contrôle de la qualité et, comme dans la conception, vérifie le processus de contrôle de la qualité de l'entrepreneur.



Tableau 5  
Plan de mise en service

Liste de contrôle – plan MES	
a. Aperçu du processus de mise en service (MES) développé pour ce projet	<input type="checkbox"/>
b. Rôles et responsabilités de l'équipe MES tout au long du projet et plus particulièrement au cours de la préconception et des phases de conception <ul style="list-style-type: none"> <li>■ différencier les zones dans lesquelles chacun des membres travaille</li> <li>■ décrire en détail les tâches précises qui doivent être accomplies individuellement par les membres</li> </ul>	<input type="checkbox"/>
c. Documentation des canaux généraux de communication à utiliser tout au long du projet	<input type="checkbox"/>
d. Description détaillée des activités du processus MES et calendrier des activités pendant les phases de préconception et de conception <ul style="list-style-type: none"> <li>■ réunions de l'équipe MES</li> <li>■ développement EPP</li> <li>■ périodes de révision de la conception</li> <li>■ achèvement du BoD</li> <li>■ spécifications MES</li> </ul>	<input type="checkbox"/>
e. Description générale des activités du processus MES pendant les phases de construction et d'exploitation/occupation	<input type="checkbox"/>
f. Lignes directrices et format qui sera utilisé pour la documentation des processus MES destinée à faciliter la communication dans l'équipe MES et entre les autres parties engagées dans le projet	<input type="checkbox"/>
g. Formes des processus MES qui seront utilisés durant les phases de préconception et de conception pour communiquer et suivre les processus cruciaux d'information de MES	<input type="checkbox"/>
h. Procédures de vérification du document de conception du projet	<input type="checkbox"/>
i. Cadre de procédures à suivre lorsque la vérification du processus MES n'est pas conforme à l'EPP	<input type="checkbox"/>
j. Procédures d'échantillonnage basées sur la qualité pour la vérification de la conformité à l'EPP pendant toutes les phases du projet	<input type="checkbox"/>



# CONCLUSION

Le processus décrit dans le guide est très exigeant et demande un effort considérable lors d'un premier projet. Cependant, pour un client qui possède un portefeuille de projets un tant soit peu substantiel et qui exploite ses bâtiments, l'implantation d'une telle démarche peut représenter des économies substantielles et un retour sur l'investissement très rapide.

## RÉFÉRENCES

ASHRAE, ASHRAE GreenGuide – The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings 3rd ed. 2010. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta Ga.

Chiocchio, F., et collab. Teamwork in integrated design projects: Understanding the effects of trust, conflict, and collaboration on performance. 2011. Project Management Journal 42 (6): 78-91.

Coles, L. Integrated design process facilitation resource guide. 2008.

Lindsey, G., Tood, J.A., Hayter, S.J., et Ellis, P.G. A Handbook for Planning and Conducting Charrettes for High-Performance Projects 2nd ed. 2007. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Newsham, G.R., Mancini, S., et Birt, B. J. Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but . . . 2009. Energy and Buildings 40: 897-905.

## ANNEXE A >

# UNE APPROCHE DE CONCEPTION COLLABORATIVE

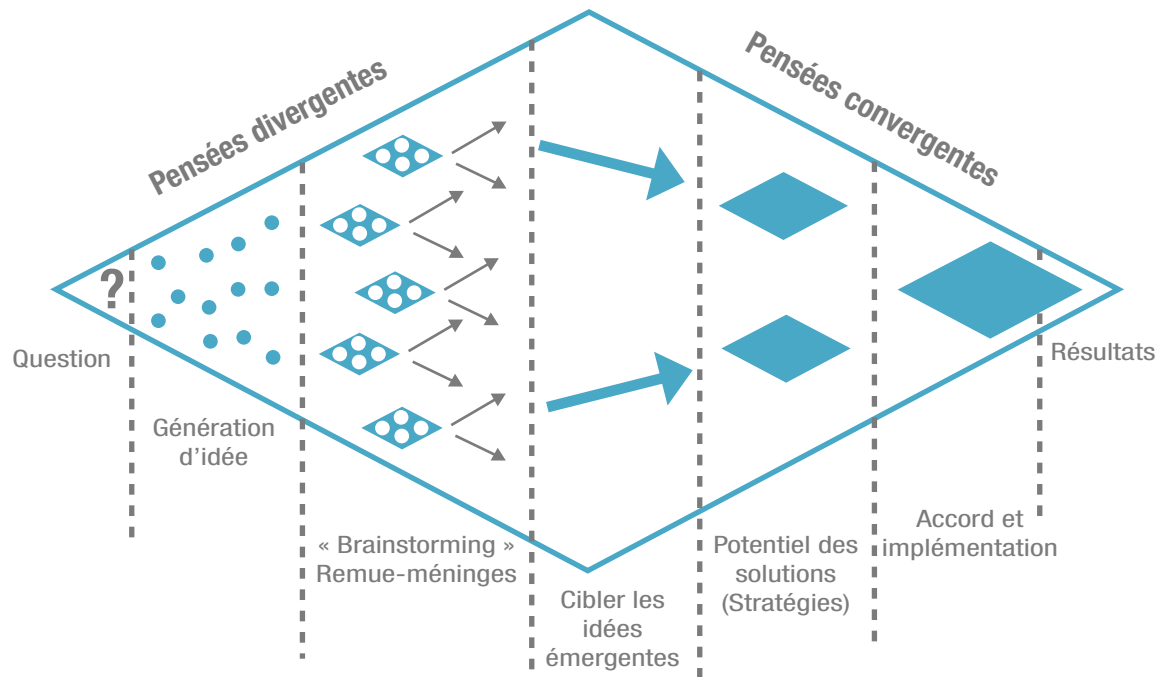
Le flot de travail indique les documents requis et la séquence de leur production et suggère à quel moment les charrettes devraient être conduites. Cependant, pour que ces dernières donnent les résultats attendus, il est nécessaire d'avoir établi au préalable les idées et les concepts qui alimenteront les débats pour la recherche de solutions innovantes offrant la meilleure performance énergétique à moindre coût.

D'autres références intéressantes pour faciliter l'occurrence de ces conditions pour la conception collaborative sont les trois guides que le chapitre du Conseil du bâtiment durable de Cascadia a fait développer dans les années 90. Ils décrivaient le corpus de connaissances se rattachant à la conception intégrée, un processus inspiré du modèle de conception intégrative de Reed et collab<sup>23</sup> ainsi qu'un guide sur la facilitation. Deux de ces guides sont toujours disponibles. Les deux principes retenus de ces guides dans la planification de la démarche de conception intégrée sont dans la génération des idées et dans l'organisation du travail.

La méthode proposée pour la génération et la confrontation d'idées et de concepts est le modèle d'apprentissage divergent-convergent (Figure 12).

Figure 12

### Modèle d'apprentissage divergent-convergent<sup>24</sup>



23. Reed, B., Fedrizzi, S., et collab. The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. 2009. John Wiley & Sons, Inc.

24. Coles, L. Integrated design process facilitation resource guide. 2008.

Ce modèle vise à stimuler la génération d'idées innovantes et les synergies. Ainsi, dans la zone des pensées divergentes, les individus explorent individuellement ou en petits groupes dans des ateliers thématiques les problèmes et les enjeux d'optimisation et définissent des scénarios de solution.

Par exemple, dans un atelier thématique sur l'énergie, ingénieurs et architectes peuvent échanger sur la façon de créer une synergie de solutions entre l'enveloppe, les systèmes passifs et les systèmes actifs. Dans un atelier sur les budgets, ils peuvent explorer des solutions pour réduire les coûts du mur rideau tout en maintenant sa performance.

Dans la zone des pensées convergentes, l'analyse des divers scénarios et de leurs contradictions ouvre sur les propositions les plus prometteuses des charrettes de conception et du processus itératif de recherche et d'analyse. Le principe est de rapporter dans la charrette les différentes idées développées dans les ateliers thématiques pour les confronter. Cette stratégie a l'avantage d'apporter un riche contenu qui stimule la discussion et la réflexion sur des solutions novatrices et performantes. Il ne faut pas oublier qu'une charrette est un exercice coûteux et qu'il faut prendre des mesures pour s'assurer d'en maximiser les retombées.



