

GUIDE DE CONCEPTION D'UN BÂTIMENT PERFORMANT

FASCICULE 1

NOTIONS DE BASE ET SIMULATION ÉNERGÉTIQUE



ÉQUIPE DE RÉDACTION ET COLLABORATEURS

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 : 978-2-550-75339-1 (version PDF)

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

PRÉAMBULE

Les récentes avancées dans les technologies de simulation, alliées à la nécessité de concevoir des bâtiments à haute performance énergétique dans une enveloppe budgétaire raisonnable, exercent une pression accrue sur les professionnels, les constructeurs et les opérateurs pour qu'ils adoptent des approches mieux intégrées. Le présent guide se veut un premier geste pour formaliser les pratiques reconnues dans ce domaine.

Ce guide s'adresse d'abord aux professionnels en conception, et en particulier aux architectes et aux ingénieurs, afin qu'ils collaborent au développement de stratégies de promotion et de mise en œuvre de bâtiments performants. Il vise à les assister dans le processus qui permet d'optimiser l'utilisation de la simulation, en stimulant une logique d'intégration des différents systèmes du bâtiment. Deux objectifs précis sont recherchés : 1) proposer les scénarios les plus performants en fonction des outils disponibles au Québec; et 2) valider les scénarios proposés. Il s'adresse aussi aux propriétaires immobiliers afin qu'ils puissent mieux comprendre les enjeux de la commande et soient en mesure de fixer des cibles et des objectifs clairs et réalistes, créant un contexte favorable à l'adoption de telles pratiques par les professionnels et à une participation active, une prise de décision ouverte et la participation des opérateurs et des futurs occupants.

Le guide comprend trois fascicules qui correspondent aux différents niveaux de maîtrise des professionnels pour systématiser le processus d'optimisation énergétique. Le premier introduit les éléments clés pour concevoir, construire et exploiter un bâtiment efficace. Il décrit les options à considérer en matière de simulation énergétique pour chaque phase d'un projet dont l'approche est traditionnelle. Le deuxième fascicule présente le processus d'optimisation énergétique en conception intégrée ainsi que le processus d'implantation de la mise en service en fonction des lignes directrices de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Les deux processus sont regroupés et décrits pour chacune des phases de conception définies par les codes de pratique professionnelle. Le troisième et dernier fascicule intègre les nouvelles possibilités qu'offrent les outils de simulation qui s'articulent autour de la modélisation des données du bâtiment (MDB) connue en anglais sous le nom de Building information modeling (BIM).

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 > LES ACTEURS ET L'ENVIRONNEMENT CONTRACTUEL	3
1.1 Les acteurs	5
1.1.1 Les expertises	6
1.1.2 La participation et la formation des opérateurs	7
1.1.3 Le rôle des occupant	7
1.1.4 Les exigences de performance	8
1.1.5 La rétroaction des données	8
1.1.6 La collaboration architecte/ingénieur	9
1.2 Le cadre contractuel	10
CHAPITRE 2 > LE CONTEXTE DE LA SIMULATION ÉNERGÉTIQUE	13
2.1 Les exigences en matière d'efficacité énergétique	14
2.1.1 Le Règlement sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments	15
2.1.2 Le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments 1997 et le Code national de l'énergie pour les bâtiments 2011	15
2.1.3 La norme ASHRAE 90.1	15
2.2 Les programmes incitatifs	15
CHAPITRE 3 > LES PROCESSUS ET LES MÉTHODES	17
3.1 La vue d'ensemble	19
3.2 La préconception	21
3.3 L'esquisse	22
3.4 Le dossier préliminaire	23
3.5 Le dossier définitif	26
3.6 La construction	27
3.7 La mise en service	28
3.8 L'exploitation	28

CHAPITRE 4 > LES OUTILS DE SIMULATION	31
4.1 Les outils de simulation des stratégies passives	32
4.2 Les outils de simulation des stratégies actives	33
4.2.1 Sélection d'un outil de simulation énergétique	33
CONCLUSION	35
RÉFÉRENCES	36
ANNEXE A > MESURES PASSIVES	39
ANNEXE B > TYPE DE SYSTÈME ET D'ÉQUIPEMENT	43
ANNEXE C > LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR LE REFROIDISSEMENT	45
ANNEXE D > OUTILS DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1	
Impact des décisions en début de conception sur la performance d'un bâtiment	4
Figure 2	
Processus traditionnel	10
Figure 3	
Les principaux éléments et les chemins de conformité pour les codes du bâtiment en efficacité énergétique	14
Figure 4	
Flot de travail du processus d'optimisation énergétique en mode traditionnel	19
Figure 5	
Exemple de stratégie de froid	20
Figure 6	
Exemple de stratégie de chaud	20
Figure 7	
Processus de préconception	21
Figure 8	
Processus de l'esquisse	22
Figure 9	
Processus du dossier préliminaire	23
Figure 10	
Processus du dossier définitif	26
Figure 11	
Processus durant la construction	27
Figure 12	
Processus durant la mise en service	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	
Forme d'approvisionnement	11
Tableau 2	
Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles pour les stratégies passives	32
Tableau 3	
Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles	33
Tableau 4	
Processus de conception pour l'éclairage	41

INTRODUCTION

Le chauffage, la climatisation et la ventilation représentent une portion importante des coûts d'exploitation d'un bâtiment. L'évolution rapide des assemblages, des systèmes et des outils de conception permet maintenant de concevoir et de produire des équipements qui consomment de moins en moins d'énergie, ce qui représente des économies substantielles pour le client ou l'occupant. La répartition moyenne des types de coûts sur le cycle de vie d'un bâtiment commercial-institutionnel (hors foncier et frais financier) se répartie comme suit : 5 % pour la conception, 20 % pour la construction et 75 % pour l'exploitation et la maintenance¹. Investir un peu plus dans la conception ou la construction peut donc se traduire par un retour sur l'investissement enviable.

La conception d'un bâtiment à haute performance énergétique requiert une évaluation des différentes options de conception. Les nouvelles technologies mécaniques et électriques et celles des systèmes architecturaux à haute performance ne cessent de s'améliorer. La simple sélection d'un système est une tâche de plus en plus difficile à accomplir sans avoir recours aux outils de simulation qui permettent d'évaluer et de comparer les différentes options de conception. L'exécution d'une variété de modèles permet non seulement de vérifier la faisabilité des stratégies considérées, mais aussi de faire des analyses de coût global des options de conception à n'importe quelle étape du processus. Il faut savoir que le travail d'optimisation demande un effort plus soutenu et une expertise en la matière de la part des concepteurs. Toutefois, créer un contexte favorable et investir dans la conception permet d'envisager des gains appréciables sans investissement additionnel majeur.

La modélisation énergétique est un élément clé dans un projet de bâtiment performant; elle doit avoir lieu tôt dans le processus de conception et de manière itérative afin d'éclairer le processus décisionnel. Dans la conception intégrée, la simulation énergétique permet de stimuler la recherche de solutions innovantes. De plus, de nombreux systèmes de certification exigent la modélisation énergétique à des fins de conformité.

Le degré d'optimisation et le recours aux outils de simulation dépendent du niveau d'engagement du client et des professionnels dans le projet. Ce fascicule propose une démarche d'optimisation à l'aide de la simulation énergétique dans des projets dont la conception est traditionnelle, c'est-à-dire faite selon un mode d'approvisionnement conception-soumission-construction qui vise la recherche de la meilleure performance et il en explique les principes sous-jacents.

1. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (2006), Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques [En ligne] [www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/OuvragesPublicsCoutGlobal.pdf] (Consulté le 25 mai 2015).

CHAPITRE 1 >

LES ACTEURS ET L'ENVIRONNEMENT CONTRACTUEL

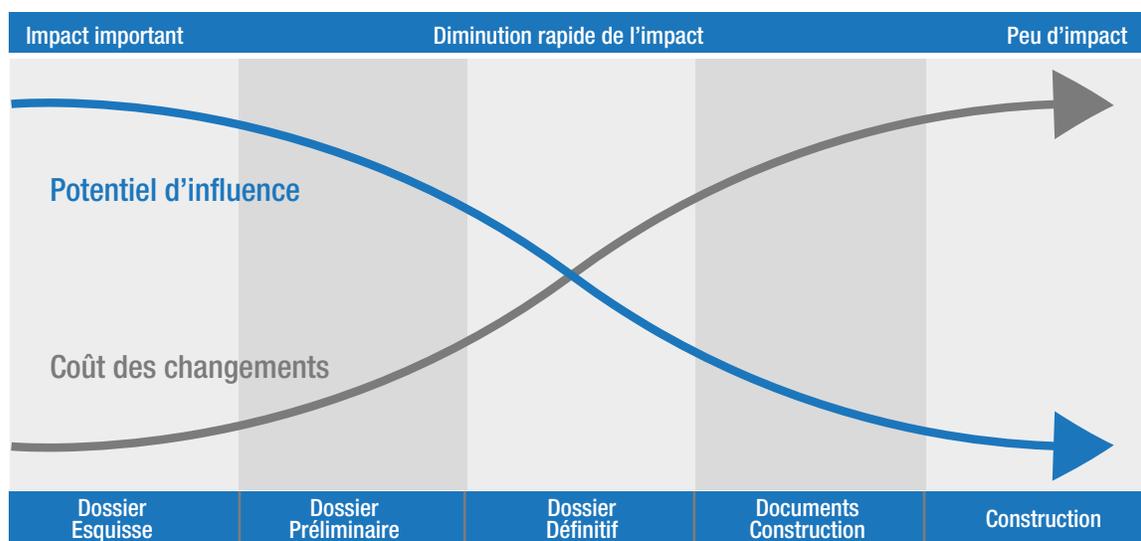
1.1	Les acteurs	5
1.2	Le cadre contractuel	10

LES ACTEURS ET L'ENVIRONNEMENT CONTRACTUEL

Le mode traditionnel de conception-construction se prête mal à l'optimisation énergétique du bâtiment. La distribution de l'effort, les budgets et les délais serrés, la séparation contractuelle des obligations de chacun des professionnels, les modes de rémunération, l'absence en amont de l'opérateur et du constructeur et la séparation entre budgets de construction et d'opération sont souvent mentionnés par les professionnels comme les principaux motifs qui nuisent à la conception de bâtiments à haute performance énergétique. La Figure 1 présente la distribution de l'effort et le potentiel d'optimisation dans le temps.

Figure 1

Impact de décision en début de conception sur la performance d'un bâtiment



Source : Boyd C. Paulson, Jr., M.ASCE. Designing to reduce construction costs. 1976. Journal of the construction division: 587-592.

La courbe démontre que les impacts sur la performance d'un bâtiment sont beaucoup plus importants dans les premières étapes du processus de conception. Plus le processus de conception avance, moins les décisions influencent l'optimisation de la performance du bâtiment². Dans une approche traditionnelle, le gros de l'effort de conception sera réalisé lors de l'élaboration du dossier définitif. Il faut donc chercher à amener les efforts d'optimisation en amont pour en maximiser les bénéfices. D'où l'intérêt croissant pour la conception intégrée, concept qui est détaillé dans le fascicule 2.

2. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2010), ASHRAE GreenGuide – The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings, 3rd ed., 464 p.

1.1 LES ACTEURS

Les facteurs essentiels pour réussir l'optimisation énergétique sont un engagement soutenu de la part du client, le recrutement de professionnels ayant des compétences dans ce domaine ainsi que des contrats qui favorisent la collaboration et l'innovation.

Comme on le voit à la Figure 1, les décisions les plus importantes concernant la performance du bâtiment doivent se prendre en amont du projet. Par exemple, de nouvelles approches utilisées pour optimiser le programme fonctionnel et technique (PFT) des hôpitaux ont permis, dans les meilleurs cas, de réduire du tiers la superficie de ceux-ci, ce qui représente un gain majeur au chapitre de la réduction des coûts de construction et d'exploitation³. Le choix d'un site bien orienté et qui permet une volumétrie compacte est une autre source de gain appréciable à peu de frais.

Cependant, le client ne dispose pas toujours de l'expertise nécessaire pour définir les objectifs et être au fait des exigences qu'implique la bonne performance énergétique d'un bâtiment. Dans ce cas, le professionnel auquel il s'est adressé devrait s'assurer qu'il comprend bien les aspects qui ont un impact sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment et lui offrir un soutien technique lors de la préparation de ses exigences et des cibles de performance à atteindre. Par exemple, la connaissance de certains principes en matière d'efficacité énergétique du client peut favoriser l'élaboration d'objectifs, d'exigences et de stratégies prometteuses pour réduire la consommation d'énergie et l'amener à tenir compte du cycle de vie du bâtiment dans la liste de ses exigences⁴. Le client peut aussi engager une firme spécialisée dans l'efficacité énergétique ou dans la mise en service améliorée pour l'aider à définir ses attentes et ses conditions.

La participation active des opérateurs ou des principaux représentants des futurs occupants revêt aussi une grande importance si le client veut maximiser les retombées des mesures d'efficacité énergétique. Il peut y avoir des propositions qui remettent en cause certains éléments du programme fonctionnel et technique (PFT) pour favoriser la recherche de compacité ou une disposition plus stratégique des espaces afin de profiter de solutions passives. Ce représentant doit alors avoir le pouvoir décisionnel et l'accès au personnel capable de l'éclairer dans sa décision. Lors du processus de conception, le client doit nommer un représentant ayant l'autorité nécessaire pour prendre des décisions pour son organisation (voir encadré Pavillon Lassonde à la page 6).

La modélisation énergétique sert à valider et à évaluer différentes options et solutions de conception pour optimiser la performance. Ainsi, la participation du client, des professionnels concepteurs et des constructeurs devient essentielle à l'intégration et à l'optimisation des composants et des systèmes. Les professionnels devront recevoir des honoraires pour ce travail. Le client peut aussi engager directement un modéleur ou prendre les dispositions nécessaires pour que certains aspects de la modélisation soient inclus dans le contrat.

3. GRUNDEN, Naida and Charles HAGOOD, C. (2012), *Lean-Led Hospital Design: Creating the Efficient Hospital of the Future*. 338 p.
4. PANTELIMON NEGRUT, Viorel (2011), *La conception et la gestion des bâtiments résidentiels durables*. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure, 191 p.

1.1.1 Les expertises

En optimisation énergétique, il est recommandé que le corpus de connaissances des professionnels soit étendu aux sciences du bâtiment, aux comportements thermique et mécanique, et ce, avec une certaine maîtrise des codes, des normes et des réglementations sur l'efficacité énergétique. Pour l'élaboration adéquate de scénarios de simulation énergétique, on recommande d'avoir recours à un modèleur énergétique, qui agit à titre de spécialiste et peut aussi le faire en tant qu'ingénieur mécanique. Ceci inclut, entre autres, un processus d'itérations tant des approches passives, souvent évaluées par les architectes, que des systèmes actifs où plusieurs concepts de systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air (CVCA) doivent être évalués tout au long du processus de conception. À cet effet, embaucher un spécialiste en éclairage peut, dans certains cas, représenter une valeur ajoutée dans un projet, puisque plusieurs facteurs comme la réflectance des surfaces, la hauteur des plafonds, le type d'éclairage électrique (direct vs indirect) ainsi que l'éclairage naturel influencent la consommation énergétique d'un bâtiment. L'expérience des professionnels dans des projets comportant des objectifs de performance énergétique similaires est aussi un facteur à considérer avec attention.



Pavillons Lassonde – École polytechnique de Montréal

L'efficacité énergétique du bâtiment Lassonde de l'École polytechnique de Montréal est supérieure de 60 % à la norme fixée par l'ASHRAE 90.1-1999. Le secret de cette réussite tient, entre autres, au dynamisme de l'équipe de conception et de la motivation du directeur du projet et directeur du Service des immeubles, qui s'est fait le champion de l'incitation aux solutions innovantes afin que son équipe atteigne la cible qu'elle s'était fixée. Parmi les solutions, un système mécanique qui récupère la chaleur des gaz rejetés par les cheminées des chaudières du pavillon principal. Cette énergie permet de combler environ les deux tiers des besoins énergétiques en chauffage du bâtiment. Lorsque cette récupération ne suffit pas à la demande, le préchauffage de l'air neuf se fait par les rejets de chaleur de la production d'eau glacée. La chaleur contenue dans les évacuateurs d'air vicié est aussi récupérée^{5,6}.

5. PROJETS VERTS, Les pavillons Lassonde [En ligne] [projetsverts.voirvert.ca/projets/les-pavillons-lassonde] (Consulté le 21 avril 2015).
6. POLYTECHNIQUE MONTRÉAL, Les pavillons Lassonde primés par l'association des ingénieurs-conseils du Québec [En ligne] [www.polymtl.ca/carrefour/article.php?no=2283] (Consulté le 21 avril 2015).

1.1.2 La participation et la formation des opérateurs

Dans le but de réussir la mise en place d'une stratégie énergétique, il faut d'abord s'assurer d'avoir un effort concerté de toutes les parties. La participation des opérateurs est donc importante dès le début du projet, leur tâche étant de bien comprendre les stratégies proposées pour améliorer la performance du bâtiment et d'apporter des suggestions à la lumière de leur expérience. Leur contribution peut faire émerger des idées qui rendront le bâtiment facile à exploiter et conforme à la mise en service et au confort des occupants. En outre, le fait que les opérateurs participent au projet augmente sensiblement leur adhésion aux solutions préconisées et offre une meilleure garantie qu'ils collaborent au succès de la mise en service.

L'embauche d'un agent de mise en service dès le début du projet peut s'avérer fort utile pour faire le pont entre les professionnels et les opérateurs. Il peut en outre vérifier en cours de conception dans quelle mesure les objectifs sont atteints, intervenir s'il y a des conflits et repérer les possibilités d'optimisation⁷.

L'agent de mise en service

L'agent de mise en service s'assure que le bâtiment est conçu, construit et exploité selon les attentes et les exigences du propriétaire. En général, les experts s'entendent pour dire que la mise en service constitue la meilleure assurance qualité pour obtenir un bâtiment performant. Le fascicule 2 traite du rôle et de la responsabilité de l'agent de mise en service pendant le projet.

La performance de la mise en service dépend grandement de la qualité du transfert des connaissances aux occupants et au futur exploitant afin d'assurer le bon fonctionnement des systèmes mis en place. L'une des dernières activités de la mise en service est de fournir une formation adéquate et des informations sur l'exploitation à l'intention du personnel d'entretien des systèmes^{7,8}. Cette formation doit tenir compte des changements et des ajustements apportés dans le manuel d'opération et de maintenance. Elle doit refléter les exigences du client, ainsi que les recommandations des guides de démarrage et de dépannage des équipements installés⁹.

1.1.3 Le rôle des occupants

L'atteinte de l'efficacité énergétique dans un bâtiment nécessite de la continuité dans les phases de réalisation. Toutefois, malgré la validation des options d'optimisation énergétique à l'aide de simulation, l'écart entre la performance réelle et la performance projetée existe toujours^{10,11}. Cet écart s'explique par les différences entre la conception et la construction, les questions d'acceptabilité des solutions mises en place et leur compatibilité avec les usagers du bâtiment. Car l'efficacité énergétique est due en partie à l'intérêt que les occupants portent à cette question¹², leur comportement et la façon dont ils utilisent les équipements ayant une influence déterminante sur la consommation d'énergie.

7. *Idem*

8. BUSBY PERKINS+WILL et STANTEC CONSULTING LTD (2007), Roadmap for the Integrated design process, 86 p.

9. REED, Bill., S. Rick FEDRIZZI et collab. (2009), The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability, John Wiley & Sons, Inc. 432 p.

10. MENEZES, Anna Carolina et collab. (2012), Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. Applied Energy 97: 355-364.

11. SAUNDERS, C.L., et collab. (2012), Utilizing measured energy usage to analyze design phase energy models, IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST 2012), 16-18 May 2012. Piscataway, NJ, USA.

12. RIVOIRE, Janine et Stéphanie BAUREGARD (2009), L'efficacité énergétique à l'épreuve de l'usage [En ligne] [www.cnfpt.fr/sites/default/files/synthese_rst_patrimoines_immobiliers_publics_22.03.11_int_ext.pdf] (Consulté le 29 avril).

1.1.4 Les exigences de performance

Les exigences de performance sont considérées au début du processus de conception. Assisté de professionnels, le client doit établir clairement ses exigences afin de bien orienter les décisions conceptuelles qui seront prises. La précision des exigences est essentielle pour deux raisons : faire un meilleur suivi, avoir un meilleur contrôle de la conception selon les cibles établies et déterminer le niveau de performance énergétique du bâtiment par rapport au modèle de référence, lequel correspond habituellement au modèle du bâtiment conçu selon les exigences minimales des codes et des normes¹³.

1.1.5 La rétroaction des données

Dans l'approche traditionnelle, la rétroaction se limite souvent au contrôle imposé par le client pour approuver les livrables et autoriser les paiements¹⁴. Par conséquent, en raison du manque de rétroaction, les constructeurs et les opérateurs répètent souvent les mêmes erreurs. Les clients, les propriétaires, les concepteurs et les constructeurs doivent absolument accorder une plus grande importance à la rétroaction pour améliorer la performance énergétique des projets¹⁵. Plusieurs options de rétroaction des données peuvent être envisagées, par exemple une analyse de la consommation à l'aide des factures énergétiques, l'utilisation de courbes de tendances générées par le système d'acquisition des données ou l'utilisation de logiciels spécialisés.

On peut faire un suivi rapide de la performance du bâtiment avec des outils aussi simples qu'un chiffrier de calcul ou le « ENERGY STAR Portfolio Manager® ». Un autre aspect de la rétroaction concerne l'évaluation post-occupation (EPO)¹⁶. Afin de mieux comprendre l'efficacité des systèmes conçus, l'EPO se fait avec la participation des occupants. À cet effet, on évalue les enjeux de performance que sont les ressources, l'énergie, l'usage de l'eau, le confort thermique, l'acoustique, l'éclairage, la productivité, la facilité d'exploitation et de maintenance, etc.¹⁷. Ainsi, l'EPO informe sur la qualité de vie des occupants, de l'exploitation, du maintien et de l'entretien du parc immobilier, et ces informations peuvent ensuite être utilisées pour améliorer l'exploitation du bâtiment¹⁸.

13. LUCUIK, Mark et al. (2005), Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada, 68 p.

14. REED, Bill., S. Rick FEDRIZZI et collab. (2009), The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability, John Wiley & Sons, Inc. 432 p.

15. *Idem*

16. *Idem*

17. COLE, R.J., MILLER, N. et SCHROEDERS, S. (2008), Building Green: Adding Value through Process. Canada: UBC School of Architecture.

18. BUSBY PERKINS+WILL et STANTEC CONSULTING LTD (2007), Roadmap for the Integrated design process, 86 p.

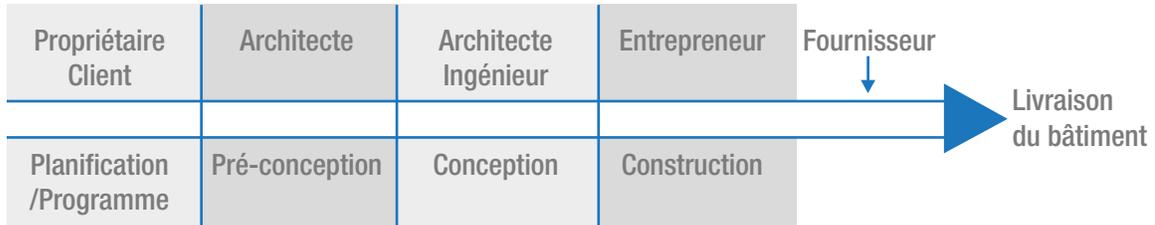


1.1.6 La collaboration architecte/ingénieur

L'optimisation énergétique d'un bâtiment dépend d'une collaboration de plus en plus étroite entre l'architecte et l'ingénieur. Autrefois réservée à l'ingénieur, la simulation énergétique fait maintenant partie de l'arsenal de l'architecte. Cependant, contrairement à la mécanique, pour laquelle l'ASHRAE a constitué un solide corpus de connaissances, les règles conduisant à une bonne utilisation de ces nouveaux outils par les architectes restent encore à définir. Il est donc important qu'un dialogue s'établisse entre les ingénieurs et les architectes pour ne pas que leurs efforts soient dédoublés et pour partager leur stratégie sur la conception.

La performance énergétique est grandement influencée par les décisions prises au début du projet. Ces décisions sont souvent le fait des architectes, dont le regard sur les aspects mécaniques du bâtiment est limité, les ingénieurs intervenant seulement lorsque la majorité des décisions concernant l'organisation spatiale et l'enveloppe ont été prises. Le pouvoir d'optimisation énergétique de l'ingénieur est lié à la conception des stratégies passives, choisies ou non par l'architecte.

Figure 2
Processus traditionnel



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

La présence de l'ingénieur en amont du processus de conception permet de sensibiliser l'architecte à l'impact de certaines décisions et d'obtenir une meilleure synergie entre les systèmes du bâtiment. L'architecte utilise la simulation énergétique pour valider ses intuitions et ses hypothèses sur la conception, l'ingénieur, quant à lui, soutient les analyses de performance énergétique pour bâtir les scénarios de simulation des architectes.

Par exemple, la simulation énergétique permet de savoir qu'une amélioration de 20 % de la résistance thermique du mur opaque d'un bâtiment entraîne une réduction de 4 % de la consommation d'énergie de celui-ci. L'augmentation de la résistance thermique du mur diminuera les charges de pointe et pourrait, par conséquent, diminuer la taille des systèmes CVCA. En modifiant les systèmes CVCA dans le modèle de simulation, on constate une augmentation des économies d'énergie du bâtiment pouvant aller jusqu'à 8 %. Cette économie d'énergie supplémentaire ne se réalisera pas si aucun changement n'est apporté à la conception et à la modélisation des systèmes CVCA. La quantification de ces retombées est souvent sommairement estimée ou même exclue de l'analyse économique puisque les honoraires et le temps de travail des ingénieurs limitent la modélisation à un certain nombre de systèmes¹⁹. Ces éléments mettent en évidence l'importance d'une bonne collaboration entre les architectes et les ingénieurs dont la complémentarité des rôles permet de prendre des mesures cohérentes, performantes et optimisées. Chaque professionnel doit se concentrer sur les choix conceptuels les plus prometteurs lors de la conception et envisager plusieurs essais avant d'obtenir un résultat optimal.

1.2 LE CADRE CONTRACTUEL

La séquence traditionnelle conception-soumission-construction des projets ne favorise pas les efforts d'optimisation ni la synergie. Les professionnels sont rarement liés entre eux et signent des contrats indépendants. Dans certains cas, une rémunération à pourcentage décourage les ingénieurs en mécanique de s'investir pour réduire les coûts des systèmes mécaniques sur lesquels est basée leur rémunération. Dans le cas de contrats à forfait, les professionnels vont se limiter à leurs obligations contractuelles. Une recherche d'optimisation demande du temps et des efforts, et la formation pour pouvoir utiliser des logiciels performants coûte cher.

Il faut que les contrats soient conçus non pas pour décourager les professionnels à consentir cet effort supplémentaire, mais au contraire pour les inciter à le faire. Cependant, compte tenu des ressources internes, le nombre de projets peut entraîner un manque de disponibilité chez les professionnels malgré les délais supplémentaires accordés par le client. Il n'existe pas de formules parfaites. Il faut s'en tenir au choix d'une équipe en fonction de la compétence de ses membres et de la confiance qu'ils inspirent, dans un cadre contractuel qui leur donne la latitude voulue pour guider le client vers les meilleures solutions. Le Tableau 1 présente une classification des approvisionnements selon trois types, le mode traditionnel, discuté plus haut et qualifié ici de forme fractionnée, la forme intégrée et la forme négociée.

Les contrats transactionnels de type fractionné sont les moins propices pour inciter les professionnels à collaborer entre eux. Ils réduisent la synergie des équipes du fait que la collaboration et l'innovation représentent des risques et demandent des efforts additionnels à chacune des firmes²⁰.

Tableau 1
Forme d'approvisionnement

Forme d'approvisionnement	Explication	Exemple
Fractionnée	Les professionnels et les constructeurs ont des contrats séparés qui sont souvent de nature forfaitaire.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Construction traditionnelle (<i>design-bid-build</i>) ■ Entrepreneur-gérant ■ Concours
Intégrée	Il existe un seul contrat pour la conception, la construction et quelquefois le financement.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conception-construction (<i>design-build</i>) ■ <i>Build-Operate-Transfer</i> (BOT), <i>Design-Build-Operate-Transfer</i> (DBOT), <i>Design-Build-Own-Operate-Transfer</i> (DBOOT) et autres ■ Partenariat public-privé
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"> ■ Gérance de construction (avec conseiller, à semi-risque, à risque) ■ Partenariat

Source : Winch, G. *Managing Construction Projects: an information processing approach*. 2002. Blackwell.

Les modes contractuels qui favorisent la collaboration entre les acteurs et les intervenants sont les modes intégrés et négociés. Les modes négociés, comme la gérance de construction, sont relativement bien connus et permettent une grande flexibilité pour intégrer les parties prenantes en amont et obtenir la participation du constructeur et des opérateurs. Les modes intégrés favorisent la synergie entre les concepteurs et les constructeurs, mais ne laissent pas de place au client dans la recherche de solutions optimales.

Certains dispositifs peuvent être ajoutés au mode fractionné ou traditionnel pour encourager ou obliger les professionnels à rechercher des solutions performantes, telles la provision d'honoraires pour défrayer le temps de participation à des charrettes de conception ou à la préparation de simulations ou l'obligation contractuelle d'atteindre un niveau de performance minimal. Le succès de ces mesures est très variable. La motivation et l'expertise de l'équipe ainsi que des conditions raisonnables demeurent les ingrédients les plus propices à la recherche de solutions optimales.

20. FORGUES, D. et J. COURCHESNE (2008), *La conception intégrée au Québec : Constats*. Rapport réalisé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 191p.

CHAPITRE 2 >

LE CONTEXTE DE LA SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

2.1	Les exigences en matière d'efficacité énergétique	14
2.2	Les programmes incitatifs	15

LE CONTEXTE DE LA SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

Les choix du client sont habituellement influencés par des variables économiques. Au Québec, l'impact sur le coût de construction est souvent un facteur déterminant. Dans cette approche, on ne tient pas compte du fait que les coûts énergétiques sur un cycle de vie de trente ans seront de beaucoup supérieurs à l'argent économisé lors de la construction du bâtiment. Il revient aux professionnels de faire ressortir les enjeux du coût global, associés aux cibles du client, qui se déclinent en quatre temps :

1. satisfaire aux normes minimales;
2. profiter des programmes incitatifs pour rechercher une meilleure performance à moindre coût;
3. chercher à obtenir une certification environnementale qui pourrait augmenter la valeur de l'équipement;
4. adopter une stratégie à long terme, qui apportera le meilleur retour sur l'investissement, en optimisant les solutions en fonction du coût global sur une période minimum de trente ans.

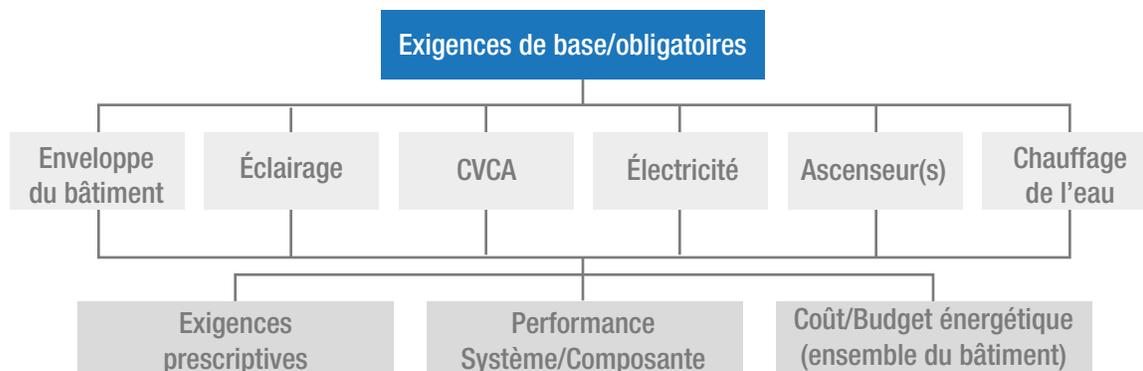
2.1 LES EXIGENCES EN MATIÈRE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Les pratiques de simulation reconnues se basent sur les exigences des codes en matière d'efficacité énergétique du bâtiment. Ceux-ci sont souvent de nature prescriptive et précisent les exigences minimales à respecter pour que chaque élément de construction, tel que le niveau d'isolation minimum ou l'efficacité des équipements, soit conforme au code. La Figure 3 montre les principaux éléments et les chemins de conformité pour les codes de l'énergie du bâtiment moderne. Au Québec, trois codes et normes sont utilisés par les professionnels comme référence en matière d'efficacité énergétique dans les bâtiments :

1. le Règlement sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments;
2. le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 1997;
3. la norme ASHRAE 90.1.

Figure 3

Les principaux éléments et les chemins de conformité pour les codes du bâtiment en matière d'efficacité énergétique



Source : Hui, S.C. Effective use of building energy simulation for enhancing building energy codes. 2003. Building Simulation 2003, IBPSA: Eindhoven, Netherlands.

2.1.1 Le Règlement sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments

Au Québec, les exigences en matière d'efficacité énergétique applicables à la construction des grands bâtiments d'habitation et des bâtiments commerciaux, institutionnels et industriels sont contenues dans le Règlement sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments. Cette réglementation, qui date de 1983, prescrit entre autres des normes de résistance thermique, d'étanchéité des ouvertures dans l'enveloppe extérieure, des niveaux d'isolation, de fenestration et de systèmes CVCA. De nouvelles exigences en matière d'efficacité énergétique des bâtiments sont actuellement en développement et seront incluses dans le Code de construction du Québec dans une révision à venir.

2.1.2 Le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments 1997 et le Code national de l'énergie pour les bâtiments 2011

Le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments 1997 (CMNÉB 1997) publié par le Centre canadien des codes, est encore très utilisé au Québec malgré la publication du Code national de l'énergie pour les bâtiments 2011 (CNÉB 2011) qui le remplace. Ces codes proposent des exigences minimales pour assurer l'efficacité énergétique des bâtiments au Canada. Ils n'ont pas force de loi au Québec.

2.1.3 La norme ASHRAE 90.1

La norme ASHRAE 90.1 est mentionnée dans le programme de certification LEED comme étant l'une des options pour atteindre la performance énergétique souhaitée. Elle s'applique aux éléments de l'enveloppe du bâtiment et aux systèmes CVCA. Trois options sont suggérées pour répondre aux exigences de la norme :

1. l'approche simplifiée pour les systèmes de climatisation;
2. les dispositions obligatoires requises pour le chemin prescriptif;
3. les dispositions obligatoires requises pour le budget des coûts de l'énergie.

Chaque option comporte des avantages et des inconvénients en matière de rigueur et de complexité qui peuvent avoir des impacts sur la conception du bâtiment²¹.

2.2 LES PROGRAMMES INCITATIFS

Les mesures financières incitatives sont mises en place par les gouvernements pour encourager la construction de bâtiments plus performants. Entre autres, au Québec, Hydro-Québec, Gaz Métro et le Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles offrent des programmes de soutien à la conception de bâtiments efficaces.

21. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2013), Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings, 174 p.

CHAPITRE 3 >

LES PROCESSUS ET LES MÉTHODES

3.1	La vue d'ensemble	19
3.2	La préconception	21
3.3	L'esquisse	22
3.4	Le dossier préliminaire	23
3.5	Le dossier définitif	26
3.6	La construction	27
3.7	La mise en service	28
3.8	L'exploitation	28

LES PROCESSUS ET LES MÉTHODES

La performance énergétique d'un bâtiment dépend de ses caractéristiques architecturales, mécaniques et électriques. Différentes approches sont disponibles pour l'évaluer, dont l'analyse du coût global et l'analyse globale des émissions et du coût de l'énergie. Dans la plupart des cas, la modélisation détaillée des systèmes permet de déterminer la consommation d'énergie d'un bâtiment. La mise en service et un suivi de la consommation vont permettre une meilleure performance dans l'exploitation du bâtiment.

Le code de pratique de l'architecte divise le projet en quatre grandes étapes : la préconception, l'esquisse, le dossier préliminaire et le dossier définitif.

Traditionnellement, les trois premières étapes dépendent principalement du travail de l'architecte alors que l'ingénieur n'interviendra qu'à la quatrième étape pour ajouter des systèmes CVCA afin de compenser pour les lacunes dans l'environnement intérieur du bâtiment²². D'après plusieurs auteurs, il est facile de réduire de près de 50 % la consommation d'énergie d'un bâtiment si l'architecte utilise des principes de base reconnus tels que les approches bioclimatiques et passives. Cette réduction peut même atteindre 80 % si on fait un effort particulier^{23,24}. Pour atteindre cet objectif à l'aide de mesures passives, l'architecte doit avoir les connaissances nécessaires pour croiser les principes physiques de la science du bâtiment et la conception architecturale.

Il est important de préciser qu'il n'est pas possible de réaliser des économies d'énergie considérables en optimisant seulement l'éclairage et les systèmes CVCA. Par conséquent, les stratégies passives sont indispensables pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment²⁵. Un bâtiment à haute efficacité énergétique sera conçu en considérant tous ses aspects, et le processus de conception intégrée s'avère particulièrement efficace pour atteindre cet objectif (voir fascicule 2).

Les outils de simulation énergétique ont été initialement conçus pour assister le processus de dimensionnement des systèmes CVCA d'un bâtiment et étaient surtout utilisés par les ingénieurs en mécanique. Vers le milieu du XX^e siècle, les architectes s'appuyaient sur l'expertise des ingénieurs pour assurer le confort du bâtiment à l'aide de moyens mécaniques, et ils ont commencé à abandonner l'art de concevoir de façon bioclimatique²⁶.

L'accroissement en popularité des certifications environnementales telles que LEED a permis une résurgence de ce concept et incite davantage les professionnels à considérer le bâtiment dans son ensemble lors de sa conception. Dans cette optique, les outils de simulation permettent d'évaluer l'impact des diverses stratégies envisagées. Deux types de stratégies sont possibles : passif et actif. En ce qui concerne la simulation énergétique, l'approche optimale consiste à évaluer plusieurs stratégies (processus itératif) simultanément. Toutefois, cette approche ne peut pas toujours être adoptée. Dans un processus de conception intégré (voir fascicule 2), l'optimisation des solutions par simulation énergétique de façon séquentielle permettra tout de même d'accroître la performance énergétique du bâtiment.

22. LECHNER, Norbert (2000), Heating, Cooling, Lighting: Design methods for architects. 2nd ed. New York, 640 p.

23. TRELOAR, Graham J. et collab. (2001), An analysis of the embodied energy of office buildings by height, Facilities, 19 (5/6), 204-214 p.

24. PEREZ FERNANDEZ, Nicolas (2008), The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings. School of Architecture, Victoria University of Wellington, 133 p.

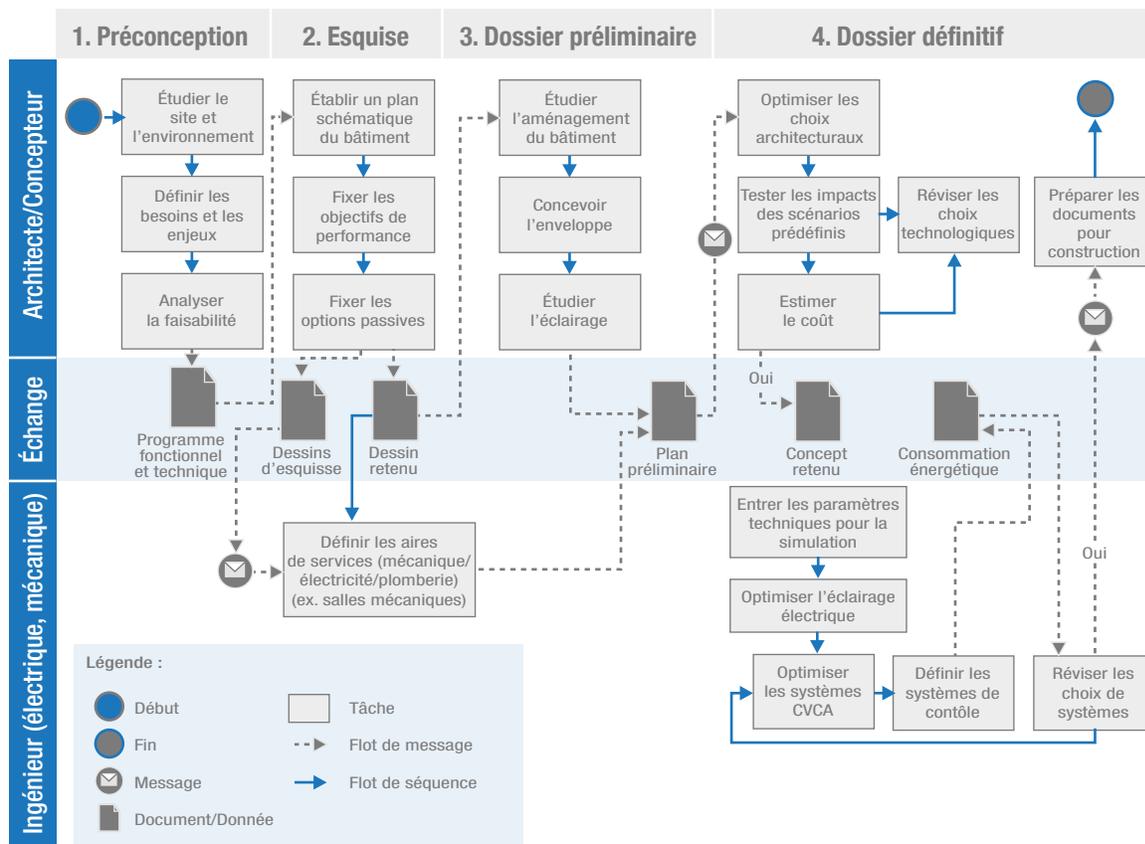
25. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2011), Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings, in Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, 196 p.

26. ANDERSON, Kjell (2014), Design energy simulation for architects: guide to 3D graphics. 272 p.

3.1 LA VUE D'ENSEMBLE

Le flot de travail illustré à la Figure 4 montre une démarche générique d'optimisation énergétique en mode traditionnel qui s'inspire des normes et des pratiques appliquées au Québec. Ce flot de travail présente les activités de production de l'information (les rectangles) pour chacun des acteurs ainsi que le flot de données ou de documents générés qui doivent être échangés entre ces acteurs. Deux types de flèches permettent de relier les activités : les flèches à ligne pleine (représentant les flux de séquence) et les flèches en pointillé (représentant les flux de message). Les flux de séquence relient les activités d'un même acteur tandis que les flux de message sont utilisés pour faire passer de l'information d'un acteur à un autre, par l'entremise d'un courriel ou d'un autre moyen de communication ou d'échange d'information.

Figure 4
Flot de travail du processus d'optimisation énergétique en mode traditionnel



Source : ASHRAE. Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings, in Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building. 2011. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta Ga.

Les stratégies passives croisent les principes physiques et la conception architecturale (voir l'annexe A pour une description de ces stratégies). Elles peuvent représenter des économies substantielles en énergie à un moindre coût. Les stratégies du froid et du chaud doivent être considérées simultanément lors du processus de conception.

La stratégie du froid (figure 5) est basée sur la conservation de l'énergie en réduisant les déperditions thermiques par l'enveloppe et en tirant parti des gains solaires directs pour raccourcir la saison de chauffage. Cette stratégie se décompose en trois tactiques : conserver, capter/emmagasiner et restituer. Conserver signifie améliorer en priorité l'enveloppe, les murs et les vitrages; capter/emmagasiner et restituer l'énergie sont en lien avec la masse thermique du bâtiment. Quant à la stratégie du chaud (figure 6), elle consiste à protéger au maximum les ouvertures des entrées solaires et à évacuer la chaleur pour éviter de surchauffer le bâtiment²⁷.

Figure 5
Exemple de stratégie du froid

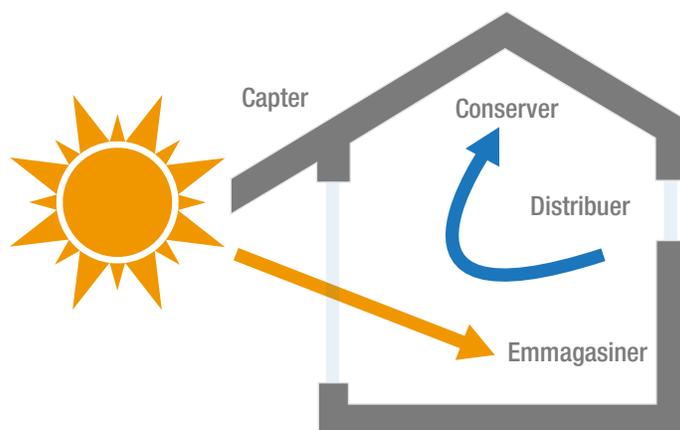
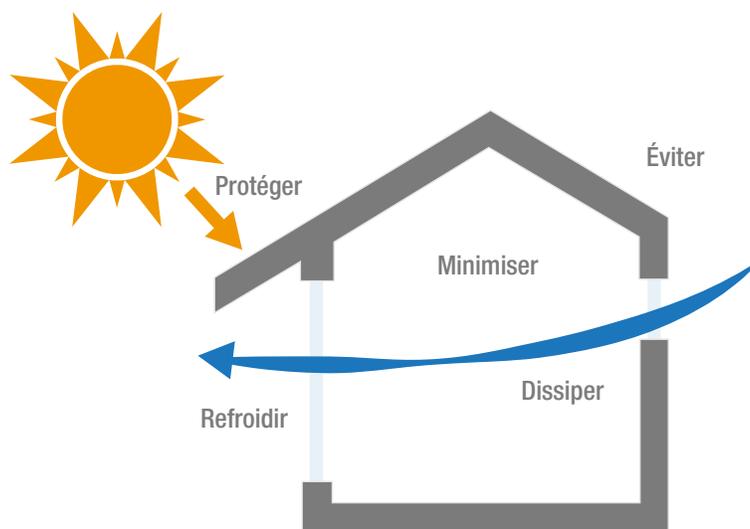


Figure 6
Exemple de stratégie du chaud



27. SAUCIER, M.-C. et J.-P. SAUCIER (2009), Architecture à faible énergie pour demain : principes, physique et pratique, Université Laval et Hydro-Québec.

Les figures 7 à 12 reprennent sous forme de processus détaillé les étapes et les boucles de rétroaction du flot de travail. Les activités et les documents qui y sont répertoriés sont répartis dans les quatre phases traditionnelles des contrats des professionnels. Les boucles décisionnelles (représentées par des losanges) indiquent si le cycle de production peut se poursuivre ou s'il est requis de conduire une nouvelle itération avant d'être autorisé à passer aux activités suivantes. Dans cette démarche optimisée, l'architecte participe à la recherche de stratégies passives en amont du projet, en améliorant, entre autres, la performance de l'enveloppe et en favorisant l'éclairage naturel. L'ajout d'un modéleur dans l'équipe de l'architecte permet de réaliser des simulations pour étudier et comparer les options d'implantation sur le site, de volumétrie et d'ouvertures, ainsi que la performance de l'enveloppe et des systèmes de vitrage.

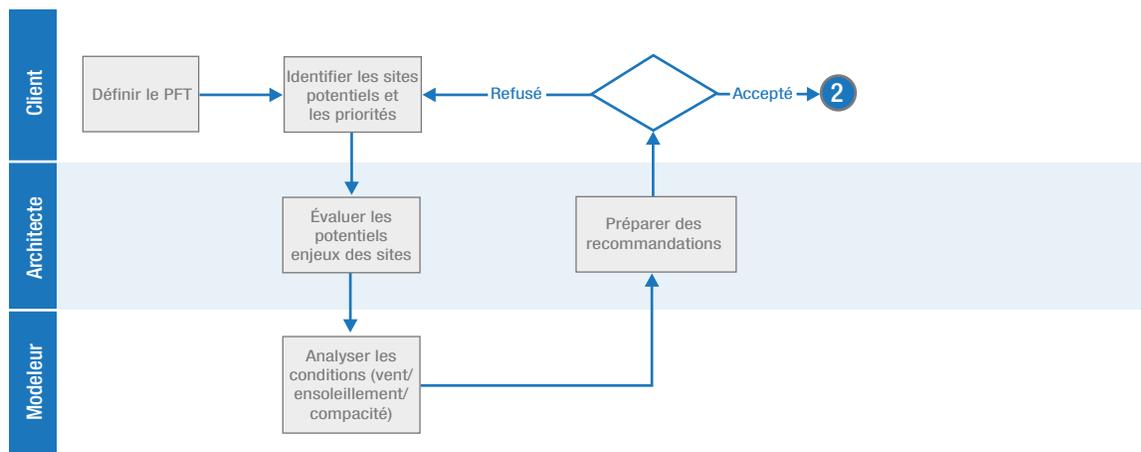
3.2 LA PRÉCONCEPTION

La phase de préconception consiste à prendre des décisions sur le programme et sur le site en fonction du marché et de la faisabilité financière et technique. C'est dans cette phase que se trouvent les possibilités d'optimisation énergétique les plus importantes. Les éléments à prendre en considération lors de la préconception sont :

- la réduction de la superficie de construction grâce à une optimisation du programme fonctionnel et technique (PFT) et à la recherche de solutions d'aménagement novatrices (bureau à la carte, mobilier compact, etc.);
- le choix d'une option (construction neuve, reconversion d'un bâtiment existant, reconfiguration ou agrandissement) qui minimisera la consommation d'énergie tout au long du cycle de vie du bâtiment;
- le choix d'un site pour une construction neuve qui offre le meilleur potentiel pour profiter des énergies passives.

Figure 7

Processus de préconception



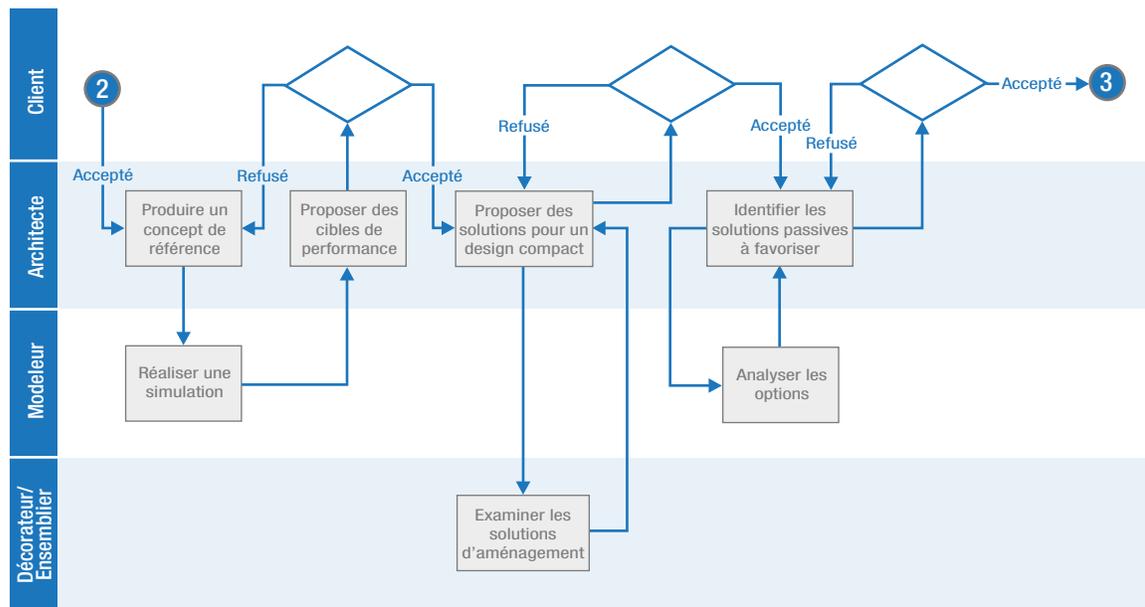
3.3 L'ESQUISSE

L'esquisse consiste à traduire le programme en termes de volumétrie et de configuration spatiale. Dans une optique d'optimisation énergétique, c'est à l'étape de l'esquisse que les options doivent être produites et validées. À cette étape, les objectifs d'optimisation sont les suivants :

- établir les cibles de performance;
- créer un design compact (en optimisant les aménagements pour réduire les besoins en espace);
- optimiser la volumétrie;
- déterminer les stratégies passives et les choix de construction potentiels.

Pour cette phase, les principaux intervenants sont le professionnel (architecte, décorateur ensemblier ou autre), le modelleur et le représentant du client (gestionnaire de projet ou autre). Des représentants de différents services peuvent être invités à participer pour évaluer comment un même espace pourrait être utilisé pour remplir plusieurs fonctions. Des stratégies comme le bureau partagé sur réservation (hotteling) ou le mobilier ergonomique compact peuvent être utilisées pour réduire les besoins en espace. Un des avantages d'intéresser les usagers au projet tient au fait qu'on peut alors les sensibiliser à l'impact de leurs comportements sur la performance énergétique. Par la suite, ils pourraient, par exemple, accepter une plus grande variation de la température de consigne à l'intérieur de la plage de confort.

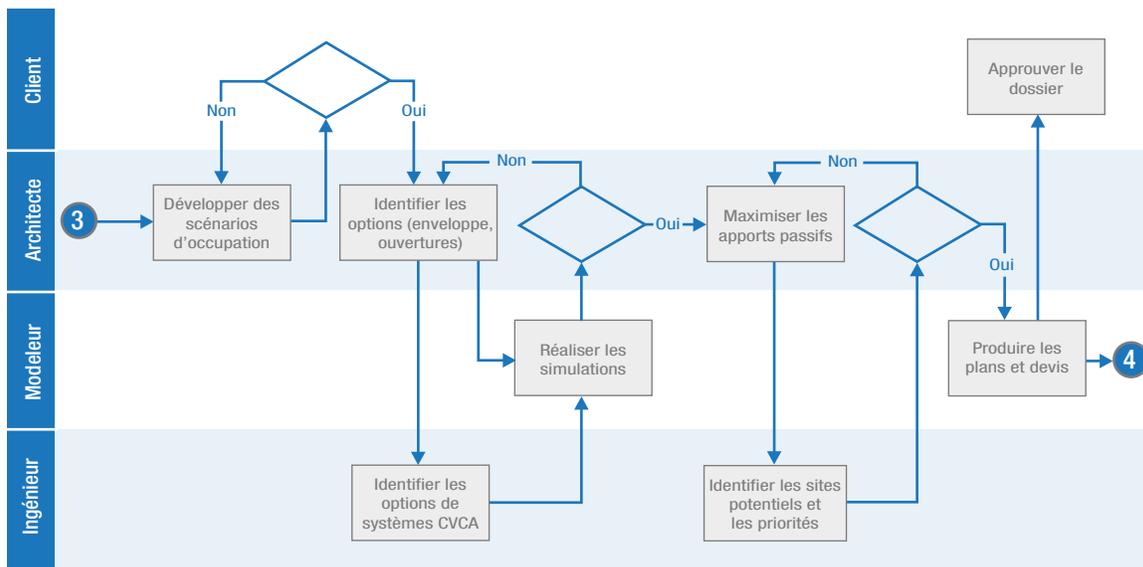
Figure 8
Processus de l'esquisse



3.4 LE DOSSIER PRÉLIMINAIRE

Le dossier préliminaire est la dernière phase qui offre un potentiel élevé d'optimisation. Elle consiste à faire le blocage des espaces et à prendre les décisions sur l'emplacement, la forme et la dimension des percées et des ouvertures.

Figure 9
Processus du dossier préliminaire





YMCA Cartierville

Dans l'établissement du YMCA Cartierville, l'utilisation d'un outil de simulation pour concevoir et choisir des options pour les systèmes CVCA a conduit à des stratégies d'efficacité énergétique qui ont entraîné des économies d'énergie de l'ordre de 54 %, équivalant à 200 000 \$ par année. Dans ce cas, la simulation énergétique a permis d'évaluer plusieurs scénarios pour développer un concept qui inclut la récupération de chaleur et la géothermie. L'analyse des charges maximales, des données des équipements et du bâtiment à charge partielle a fait en sorte que le dimensionnement des systèmes soit adéquat. Une roue d'enthalpie ainsi qu'une récupération à l'aide des boucles d'eau sont les principaux éléments qui ont permis d'atteindre les objectifs d'efficacité énergétique²⁹. L'approche du YMCA Cartierville, qui a utilisé la simulation énergétique pour connaître les interactions entre les systèmes, démontre clairement la pertinence d'avoir recours à des outils de simulation dans le processus de conception.

L'enveloppe du bâtiment

L'optimisation de l'enveloppe est une opération complexe qui demande une collaboration étroite entre l'architecte et l'ingénieur, car elle a un impact direct sur les systèmes qui seront mis en place pour compenser les gains et les pertes. Les solutions passives peuvent aussi s'avérer plus coûteuses que les solutions actives, particulièrement en matière de vitrage. Plusieurs essais peuvent donc s'avérer nécessaires avant d'arriver aux meilleures combinaisons passif/actif en ce qui concerne la performance par rapport aux coûts. La conception d'une enveloppe performante devrait inclure l'étude des caractéristiques suivantes :

- **L'emplacement et le dimensionnement des ouvertures** : Le dilemme des architectes est de concilier esthétique et performance. Sur le plan esthétique, l'impact visuel d'une fenestration généreuse est souhaitable. Le défi consiste à choisir les emplacements les plus judicieux pour les ouvertures de façon à maximiser la vue et l'éclairage naturel, tout en évitant l'éblouissement et en minimisant la surchauffe et les pertes thermiques. Des logiciels de simulation comme Ecotect ou Radiance offrent à l'architecte des visualisations qui facilitent ces choix.

- **Le type de vitrage et les cadres** : Même très performant, le vitrage aura une résistance thermique passablement plus faible que l'enveloppe. Son choix est complexe, car il faut considérer de nombreux facteurs, dont le facteur isolant (valeur U), la construction (vitrage, pellicule low-E, gaz, intercalaires), le coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS) et la transmission de lumière visible (TLV). Le vitrage peut inclure plusieurs dispositifs (tablette de lumière, verre à faible émissivité). Le cadre est l'élément le moins performant de la fenêtre. Sa surface doit être la plus réduite possible.
- **La protection solaire** : Elle englobe une série de dispositifs pour réduire la chaleur excessive et l'éblouissement : pare-soleil, écrans externes, insérés dans la fenêtre ou placés à l'intérieur de celle-ci, contrôlés manuellement ou automatisés, etc. Certains de ces dispositifs peuvent être très coûteux et d'autres ne sont pas adaptés à notre climat. Une réflexion s'impose pour faire des choix judicieux.
- **La résistance thermique effective de l'enveloppe** : Elle est très importante pour que les ingénieurs puissent faire des choix optimaux pour les systèmes. L'étanchéité et les ponts thermiques sont souvent négligés par les architectes dans le calcul de la résistance effective, laquelle se trouve alors surestimée.

Les systèmes CVCA

L'utilisation de stratégies actives, combinée à une approche passive efficace, permet d'atteindre des conditions intérieures stables à moindre coût. La conception de systèmes CVCA (systèmes actifs) performants devrait inclure l'étude de certaines mesures :

- Les systèmes de récupération d'énergie offrent un potentiel intéressant de réduction de la charge. Toute possibilité de récupération de chaleur devrait être considérée en priorité afin de réduire l'utilisation des équipements de chauffage :
 - récupération de la chaleur de l'air évacué à l'aide d'un échangeur, d'un serpentin ou d'un autre dispositif;
 - récupération de la chaleur des équipements de refroidissement (voir annexe C) et de chauffage (chaudière au gaz);
 - récupération de la chaleur d'un bâtiment voisin.
- Le refroidissement par une source naturelle (*free cooling*) peut réduire ou éliminer la nécessité de recourir au refroidissement mécanique pendant une partie de l'année. Il faut toutefois s'assurer que ce mode de refroidissement n'est activé que s'il n'y a aucun besoin de chauffage dans le bâtiment afin de toujours prioriser la récupération de chaleur.
- La gestion de l'apport d'air frais, soit en fonction de l'occupation ou en utilisant des capteurs de CO₂, permet une diminution des charges de chauffage, d'humidification et de ventilation associées à l'apport d'air extérieur.

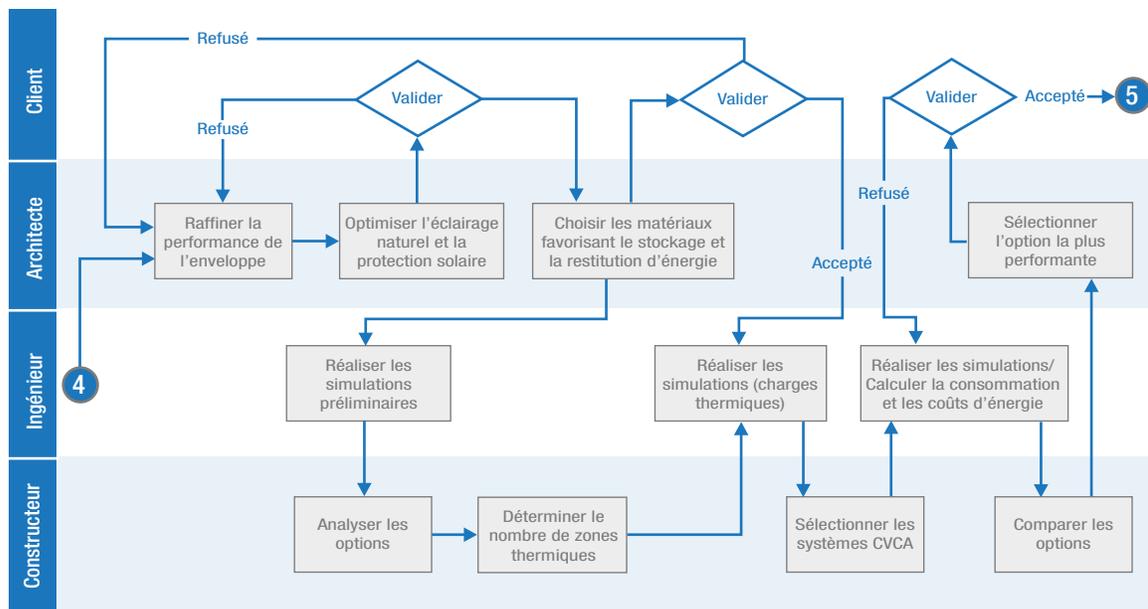
3.5 LE DOSSIER DÉFINITIF

La préparation du dossier définitif consiste à rassembler l'information pour décrire les assemblages, les composants et les systèmes du projet de construction. Les objectifs d'optimisation sont les suivants :

- analyser de façon plus détaillée la solution choisie et simuler la consommation énergétique;
- raffiner l'optimisation en matière d'assemblages, de composants et de systèmes;
- préciser les exigences en matière de ventilation, de climatisation et de chauffage (débit d'air requis, charges de climatisation et de chauffage) et sélectionner les systèmes;
- optimiser les solutions en recherchant les synergies par itérations successives.

À cette étape, la synergie entre l'architecte et l'ingénieur sur les décisions d'optimisation complexes de l'enveloppe, des ouvertures et des systèmes CVCA pour maximiser le ratio bénéfices/coûts est souhaitable.

Figure 10
Processus du dossier définitif



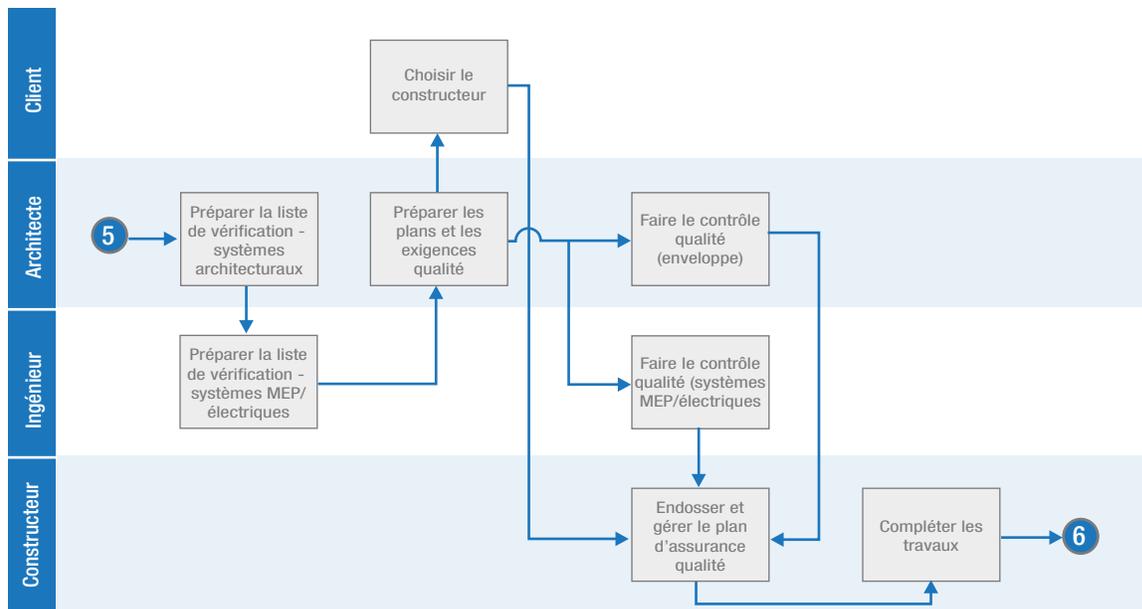
3.6 LA CONSTRUCTION

Durant la construction, le travail des professionnels consiste à mettre le processus d'assurance qualité en place pour obtenir la performance recherchée et contrôler la qualité du travail de l'entrepreneur. Ce dernier est responsable de l'atteinte des exigences énoncées par les professionnels. Les objectifs d'optimisation et d'assurance qualité (AQ) lors de la construction sont les suivants :

- analyser l'impact des différentes solutions de conception sur la performance énergétique;
- préparer la liste de vérification en fonction des composants et des éléments considérés comme cruciaux;
- mettre l'expérience des entrepreneurs spécialisés à profit pour optimiser les composants et les éléments considérés comme cruciaux;
- établir la garantie et les cibles de consommation d'énergie pour la première année d'exploitation.

Le client et les professionnels doivent s'entendre sur une révision des honoraires en fonction du travail additionnel demandé par la mise en place du plan d'assurance qualité au chapitre de la performance énergétique.

Figure 11
Processus durant la construction



3.7 LA MISE EN SERVICE

La mise en service est une phase cruciale pour s'assurer que la performance du bâtiment atteint les cibles. Les objectifs d'optimisation et d'assurance qualité lors de celle-ci sont les suivants :

- s'assurer que tous les systèmes sont opérationnels, convenablement calibrés et satisfont aux critères de conception;
- s'assurer que l'équipe de gestion et d'entretien a reçu la formation adéquate et dispose de l'information nécessaire pour exploiter et maintenir les systèmes à un niveau de performance conforme aux exigences.

3.8 L'EXPLOITATION

L'exploitation est une phase importante dans un processus d'amélioration continue. C'est ici que les données peuvent être saisies pour vérifier si la performance satisfait aux cibles qui ont été fixées. Les objectifs de vérification de la performance lors de l'exploitation sont les suivants :

- s'assurer que les cibles sont atteintes;
- corriger les éléments de non-conformité;
- fournir une rétroaction aux professionnels et au constructeur dans une perspective d'amélioration continue.

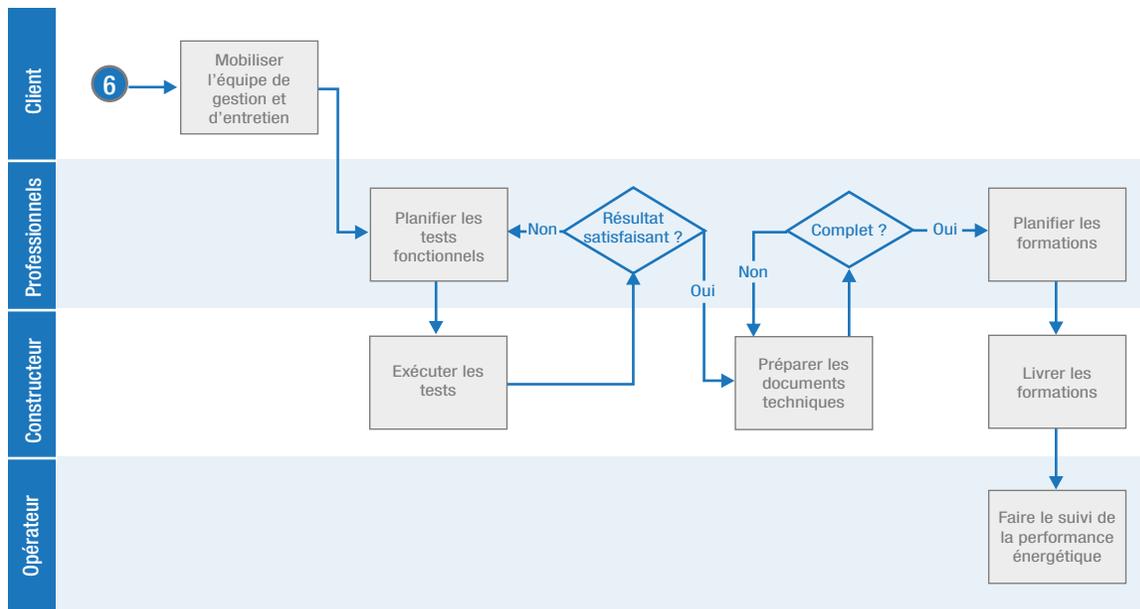
L'opérateur ou l'agent de mise en service :

- trouve les composants et les éléments essentiels à la performance énergétique;
- développe et inclut dans l'appel d'offres les exigences d'assurance qualité pour la performance énergétique;
- s'assure que les entrepreneurs spécialisés sont informés des exigences de qualité et disposent des compétences et des équipements pour les respecter;
- fait le contrôle de qualité nécessaire pour s'assurer que les exigences sont respectées.

Le client :

- avise l'entrepreneur et les professionnels des écarts dans la performance planifiée et attendue dans l'année de garantie. S'il y a non-conformité, des rectifications peuvent être demandées à l'entrepreneur;
- informe les professionnels, dans les premières années d'exploitation, de la performance réelle de l'équipement sur une base annuelle.

Figure 12
Processus durant la mise en service



CHAPITRE 4 >

LES OUTILS DE SIMULATION

4.1	Les outils de simulation des stratégies passives	32
4.2	Les outils de simulation des stratégies actives	33

LES OUTILS DE SIMULATION

Les ingénieurs n'ont plus l'exclusivité des outils de simulation. De plus en plus d'outils sont accessibles à l'architecte qui souhaite analyser les options passives. En début de projet, l'utilisation d'outils de simulation simplifiés ou d'analyse de problématiques permet d'évaluer et d'éliminer certaines pistes de solution ou d'investigation ou d'en découvrir de nouvelles. Cette révolution représente de nouveaux défis dans les rôles respectifs de l'architecte et de l'ingénieur en matière d'optimisation énergétique. Ce dernier étant plus qualifié pour interpréter les données de plusieurs de ces outils, il est important de resserrer les liens entre les deux disciplines. L'architecte doit travailler avec l'ingénieur à procéder à des essais successifs dès la phase de l'esquisse. Il est à noter que le paiement des honoraires des ingénieurs en mécanique doit être calculé en tenant compte de l'effort supplémentaire fourni. Cependant le client doit savoir qu'il aura un retour sur l'investissement très rapide par une réduction de ses coûts d'exploitation et par une réduction des coûts relatifs aux modifications qui peuvent survenir sur le chantier. En effet, une intervention plus précoce de l'ingénieur permet une meilleure coordination entre les spécialités.

4.1 LES OUTILS DE SIMULATION DES STRATÉGIES PASSIVES

Le Tableau 2 présente un éventail des principaux éléments passifs à considérer lors de la conception ainsi que certains outils utilisés ou disponibles pour évaluer l'impact sur la performance du bâtiment.

Tableau 2

Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles pour les stratégies passives

Stratégie d'optimisation	Caractéristique	Outil
Site et volumétrie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forme/compacité ■ Orientation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Construction traditionnelle (<i>design-bid-build</i>) ■ Entrepreneur-gérant ■ Concours
Enveloppe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résistance thermique ■ Fenestration ■ Ponts thermiques ■ Inertie thermique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Windows 7.2 ■ FRAMEPlus ■ THERM 7.3 ■ Outils DOE (HAP, EE4, eQuest/CanQuest, etc.) ■ Outils EnergyPlus (OpenStudio, DesignBuilder, etc.) ■ TRNSYS ■ ESPr
Éclairage naturel	Voir Tableau 4 à la page 41	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ecotect ■ Radiance ■ Daysim ■ Dialux

4.2 LES OUTILS DE SIMULATION DES STRATÉGIES ACTIVES

Les outils de simulation permettent généralement de procéder à deux types d'analyses : (1) déterminer les charges de chauffage et de refroidissement pendant le processus de conception, et (2) faire une analyse de la consommation énergétique et des coûts. La charge de conception est utilisée pour concevoir les systèmes CVCA. Les analyses de consommation énergétique et de coûts permettent d'estimer la consommation mensuelle et le coût annuel d'énergie, de comparer les différentes options en matière d'efficacité selon l'approche du coût global et de calculer les émissions annuelles de gaz à effet de serre (GES).

Certains outils sont conçus pour être utilisés dans les phases initiales de conception, d'autres pour faire des analyses plus poussées afin d'optimiser la conception. L'utilisateur doit être en mesure de sélectionner l'outil le mieux adapté à la situation. Le Tableau 3 présente un aperçu des outils disponibles pour l'analyse et la modélisation des bâtiments. Une description de ceux-ci figure à l'annexe D et la liste complète des outils disponibles se trouve à l'adresse : http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

4.2.1 Sélection d'un outil de simulation énergétique

La plupart des outils de simulation énergétique des bâtiments calculent d'abord les charges de chauffage et de refroidissement de chaque zone pour chaque heure de la période simulée. Ils évaluent la réponse des systèmes à ces charges et la consommation d'énergie qui en découle. Les calculs se font de manière séquentielle ou simultanée. Une approche de calcul simultanée donne des résultats supérieurs, puisque l'interaction entre les différents modules est instantanée.

Tableau 3
Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles

Étape	Exigence	Outil	Item à vérifier
Préconception	<ul style="list-style-type: none"> ■ Analyses rapides ■ Comparaison des résultats ■ Réduction des options à considérer ■ Modélisation des stratégies de contrôle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Analyse BIN modifiée (lorsque la charge n'est pas complètement dépendante des conditions ambiantes) ■ eQuest ■ SIMEB 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Enveloppe ■ Fenestration ■ Ponts thermiques ■ Inertie thermique
Conception des systèmes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résultats précis ■ Méthodes acceptées par l'industrie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ HAP ■ TRACE ■ EE4 ■ eQuest/CanQuest ■ SIMEB 	<ul style="list-style-type: none"> ■ L/s/m² ■ L/s/kW
Analyses énergétiques/coûts	<ul style="list-style-type: none"> ■ Précision ■ Conforme aux exigences des codes et des normes ■ Méthodes acceptées par l'industrie ■ Flexibilité ■ Permet la modélisation de stratégies de contrôle complexes 	<ul style="list-style-type: none"> ■ EnergyPlus ■ OpenStudio ■ DesignBuilder ■ DOE2 ■ HAP ■ TRACE ■ eQuest/CanQuest ■ EE4 ■ TRNSYS ■ SIMEB 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Coûts d'exploitation/m² ■ Retour sur l'investissement ou autres mesures économiques

Source : 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.

CONCLUSION

L'intégration des outils de simulation énergétique dans le processus de conception comporte plusieurs avantages, mais aussi des limitations et des défis importants tels que l'absence de valeur par défaut, la variation du niveau de précision, la complexité des outils et l'interopérabilité entre les applications pour la saisie et le transfert des données. Le manque d'interopérabilité entre les logiciels limite l'échange de données entre les applications (tels que les outils de CAO et de modélisation CVCA). Par exemple, dans eQuest, des données graphiques manquantes et des problèmes d'échelle peuvent survenir à la suite de l'importation de fichiers CAO, en particulier s'il s'agit de fichiers plus volumineux. Ce problème peut avoir des conséquences sur le flux de travail et sur le processus de collaboration et de communication entre les intervenants²⁹.

29. ATTIA, Shady et collab. (2012) Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs, 155-169 p.

RÉFÉRENCES

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, An Architect's Guide to Integrating Energy Modeling in the Design Process [En ligne] [www.aia.org/practicing/AIAB097932] (Consulté le 10 avril 2015).

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2009), 2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals, 880 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2011), Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings, in Achieving 50% Energy Savings Toward a Net Zero Energy Building, 196 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2010), ASHRAE GreenGuide – The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings, 3rd ed., 464 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2013), Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings, 174 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2013), Guideline 0-2013: The Commissioning Process, 68 p.

ANDER, Gregg D. Whole Building Design Guide: Daylighting [En ligne] [www.wbdg.org/resources/daylighting.php] (Consulté le 14 avril 2015).

ANDERSON, Kjell (2014), Design energy simulation for architects: guide to 3D graphics. 272 p.

ATTIA, Shady et collab. (2012) Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs, 155-169 p.

BOURDAGES Chantale et Olivier BRODEUR (2012), ASHRAE Technology Award: Sustainability at the Y, 56-60 p.

BOYD, C. Paulson, Jr., M.ASCE (1976), Designing to reduce construction costs. Journal of the construction division, 587-592 p.

BUSBY PERKINS+WILL et STANTEC CONSULTING LTD (2007), Roadmap for the Integrated design process, 86 p.

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (2006), Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques [En ligne] [www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/OuvragesPublicsCoutGlobal.pdf] (Consulté le 25 mai 2015).

COLE, Raymond J. et Paul C. KERNAN (1996), Life-cycle energy use in office buildings, 307-317 p.

COLE, R.J., MILLER, N. et SCHROEDERS, S. (2008), Building Green: Adding Value through Process. Canada: UBC School of Architecture.

CRAWLEY, Drury B. et collab. (2008), Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Building and Environment 43(4), 661-673 p.

FORGUES, D. et J. COURCHESNE (2008), La conception intégrée au Québec : Constats. Rapport réalisé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 191p.

GRUNDEN, Naida et Charles HAGOOD, C. (2012) Lean-Led Hospital Design: Creating the Efficient Hospital of the Future. 338 p.

- HENSEN, Jan L. M., et Roberto LAMBERTS (Editors) (2011), *Building Performance Simulation for Design and Operation*. London and New York: Spon Press, 550 p.
- HESPUL (2014), *Prise en compte du bio-climatisme et des apports solaires dans un projet d'aménagement* [En ligne], [www.hespul.org/wp-content/uploads/2014/02/HESPUL-Eco-Urbanisme-FICHE-Bioclimatisme.pdf] (Consulté le 4 mai 2015).
- HUI, Sam C. M. (2003), *Effective use of building energy simulation for enhancing building energy codes*. In Proc. of the IBPSA Building Simulation 2003 Conference, 11-14 August 2003, Eindhoven, Netherlands, 8 p.
- INSTITUT DE CONSEIL ET D'ÉTUDES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ICEDD) (2004) *Conception énergétique d'un bâtiment tertiaire*, 94 p.
- KAVANAUGH, S.P. (2006), *HVAC Simplified*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 236 p.
- LECHNER, Norbert (2000), *Heating, Cooling, Lighting: Design methods for architects*. 2nd ed. New York, 640 p.
- LUCUIK, Mark et al. (2005), *Analyse de rentabilité pour les bâtiments écologiques au Canada*, 68 p.
- MAILE, Tobias, Martin FISCHER et Vladimir BAZJANAC (2007), *Building Energy Performance Simulation Tools: a Life-Cycle and Interoperable Perspective*, Working paper, 43 p.
- MENEZES, Anna Carolina et collab. (2012), *Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap*. *Applied Energy* 97: 355-364.
- MILLETTE, Jocelyn, Simon SANSREGRET et Ahmed DAOUD (2011), *SIMEB: Simplified interface to DOE2 and EnergyPlus - A user's perspective - Case study of an existing building*. *Building Simulation 2011*, IBPSA: Sydney, Australia, 7 p.
- MISSION INTERMINISTÉRIELLE POUR LA QUALITÉ DES CONSTRUCTIONS PUBLIQUES (2006), *Ouvrages publics & Coût Global - Une approche actuelle pour les constructions publiques*, 100 p.
- OPTIS, Michael, et Peter WILD (2010), *Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings*, *International Journal of Life Cycle Assessment* 15(7): 644-51.
- PANTELIMON NEGRUT, Viorel (2011). *La conception et la gestion des bâtiments résidentiels durables*. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure, 191 p.
- PEREZ FERNANDEZ, Nicolas (2008), *The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions of medium size commercial buildings*. School of Architecture, Victoria University of Wellington, 133 p.
- POLYTECHNIQUE MONTRÉAL, *Les pavillons Lassonde primés par l'association des ingénieurs-conseils du Québec* [En ligne] [www.polymtl.ca/carrefour/article.php?no=2283] (Consulté le 21 avril 2015).
- PROJETS VERTS, *Les pavillons Lassonde* [En ligne] [projetsverts.voirvert.ca/projets/les-pavillons-lassonde] (Consulté le 21 avril 2015).
- REED, Bill., S. Rick FEDRIZZI et collab. (2009), *The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability*, John Wiley & Sons, Inc. 432 p.

RESSOURCES NATURELLES CANADA. Base de données complète sur la consommation d'énergie, de 1990 à 2011 [En ligne] [oe.e.rncan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux_complets/liste.cfm] (Consulté le 29 avril).

RIVOIRE, Janine et Stéphanie BAUREGARD (2009), L'efficacité énergétique à l'épreuve de l'usage [En ligne] [www.cnfpt.fr/sites/default/files/synthese_rstt_patrimoines_immobiliers_publics_22.03.11_int_ext.pdf] (Consulté le 29 avril).

SAUCIER, M.-C. et J.-P. SAUCIER (2009), Architecture à faible énergie pour demain : principes, physique et pratique, Université Laval et Hydro-Québec.

SAUNDERS, C.L., et collab. (2012), Utilizing measured energy usage to analyze design phase energy models, IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST 2012), 16-18 May 2012. Piscataway, NJ, USA.

THOMASSEN, Mats (2011). BIM and Collaboration in the AEC Industry, 85 p.

TRELOAR, Graham J. et collab. (2001), An analysis of the embodied energy of office buildings by height, Facilities, 19 (5/6), 204-214 p.

WINCH, Graham M. (2002), Managing Construction Projects: an information processing approach, 480 p.

WINDOWS (2015), Daylighting [En ligne] [www.commercialwindows.org/daylight.php] (Consulté le 23 avril 2015).

ANNEXE A >

MESURES PASSIVES

Plusieurs mesures passives peuvent être considérées lors de la conception d'un bâtiment afin de minimiser le recours aux systèmes CVCA pour maintenir le confort et par le fait même améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. Voici une brève description des mesures et des éléments à considérer.

Orientation et volumétrie

La première approche consiste à étudier la forme du bâtiment, puisqu'elle influence la gestion de l'énergie. Une des questions essentielles à se poser concerne sa compacité. Elle représente le rapport entre le volume habitable et l'ensemble des surfaces de déperdition. Dans les climats tempérés, les déperditions thermiques des bâtiments se font principalement par conduction au droit de l'enveloppe. Il s'ensuit que, ces pertes sont d'autant plus réduites que les surfaces d'enveloppe sont optimisées par rapport au volume habitable³⁰. Ainsi, plus les bâtiments sont denses, moins ils sont soumis à la température extérieure et plus ils sont énergétiquement efficaces.

Dans cette perspective, le bâtiment doit pouvoir tirer tout le profit du potentiel solaire, c'est-à-dire maximiser le captage solaire en hiver pour fournir de la chaleur gratuite à l'édifice, tout en en minimisant ces gains de chaleur pendant l'été. Le captage solaire consiste essentiellement à optimiser l'orientation du bâtiment et à installer du vitrage performant. La première stratégie de captage consiste à étudier l'orientation solaire au tout début de la conception pour examiner les différentes possibilités d'organisation des pièces selon leur usage et les besoins en chaleur. Dans un deuxième temps, l'utilisation de protections solaires permettra de tirer profit du soleil en hiver et de limiter ses effets en été (réductions des apports indésirables), donc de réduire la charge de climatisation. L'orientation des bâtiments est à corrélérer avec la surface vitrée afin de favoriser les apports solaires passifs en hiver. D'un point de vue thermique, les surfaces vitrées verticales sont mieux adaptées aux rayons d'hiver, tout en limitant la pénétration des rayons en été. À l'inverse, les ouvertures horizontales apportent très peu de chaleur en hiver et causent de la surchauffe en été³¹.

Enveloppe

L'enveloppe du bâtiment doit transformer les agressions extérieures en confort pour ses occupants. Cependant, les transferts de chaleur à travers le bâtiment représentent souvent la plus grande perte d'énergie pour celui-ci. Les besoins en chauffage et en refroidissement seront plus ou moins importants selon les propriétés de l'enveloppe : plus elle est performante, moins il sera nécessaire d'avoir recours aux systèmes énergétiques pour tempérer le bâtiment, et plus la consommation d'énergie sera faible.

30. HESPUL (2014), Prise en compte du bio-climatisme et des apports solaires dans un projet d'aménagement [En ligne], [www.hespul.org/wp-content/uploads/2014/02/HESPUL-Eco-Urbanisme-FICHE-Bioclimatisme.pdf] (Consulté le 4 mai 2015).

31. INSTITUT DE CONSEIL ET D'ÉTUDES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ICEDD) (2004), Conception énergétique d'un bâtiment tertiaire, 94 p.

Durant les phases initiales de conception, les points à considérer concernant l'enveloppe incluent l'orientation de l'édifice, le taux de fenestration des façades, l'isolation thermique des parois (opaques, translucides), l'inertie thermique, les types de vitrage, les ombrages disposés. Le niveau d'isolation de tous les points de l'enveloppe doit être le même pour éviter les ponts thermiques (discontinuité dans la couche isolante), ces derniers pouvant compromettre les efforts investis dans l'isolation en causant d'importantes pertes thermiques. Une enveloppe performante se doit de garantir une étanchéité suffisante en limitant au maximum les infiltrations et exfiltrations d'air inopportunes.

Étant donné que le vitrage fait partie des grandes sources de déperdition thermique des bâtiments, choisir un vitrage performant en fonction de l'orientation du bâtiment et des besoins en chauffage est essentiel. C'est pourquoi la priorité lors du choix d'un vitrage sera le captage de l'énergie solaire ou sa conservation (bilan thermique positif) ou les deux. Il faut aussi limiter la surface des ouvertures pour diminuer les déperditions thermiques, tout en assurant un éclairage naturel des espaces pour le confort des occupants.

L'enveloppe du bâtiment permet aussi l'inertie thermique de celui-ci, laquelle joue un rôle important dans la régulation de la température intérieure tout au long de l'année. Dans ce cas, la simulation permet de mieux choisir les matériaux et de mesurer l'impact de l'inertie sur les performances énergétiques du bâtiment.

Éclairage

Il existe une autre façon de réduire la consommation d'énergie ou la chaleur présente dans les bâtiments : la réduction des gains internes, particulièrement celle de l'éclairage artificiel. Une bonne gestion de la lumière naturelle, alliée au contrôle de l'éclairage artificiel, peut se traduire par de substantielles économies d'énergie et un plus grand confort visuel.

Le choix de l'éclairage naturel est plus complexe que de simplement se procurer des fenêtres à haut niveau de transmission lumineuse. L'intégration de cette composante est une question d'équilibre entre la pénétration de la lumière du jour et son contrôle, pour empêcher l'éblouissement, ainsi que sa distribution uniforme dans le bâtiment³².

L'éclairage électrique doit permettre d'assurer un éclairage suffisant et homogène. Les facteurs suivants doivent être pris en considération : réflectance des surfaces, hauteur des plafonds et des appareils d'éclairage, niveaux et rapport d'éclairage, niveaux et rapport de luminances, température de couleurs, indice de rendu de couleur, éclairage naturel, contraintes spatiales³³. Un éclairage direct utilisant de bons diffuseurs peut généralement permettre d'atteindre l'homogénéité et les niveaux d'éclairage recherchés sans risque d'éblouissement. L'éclairage indirect peut aussi être utilisé, puisqu'il constitue un bon moyen d'obtenir à la fois une diffusion optimale et une réduction des risques d'éblouissement, à condition qu'il ne soit pas produit par des sources ponctuelles. Dans ce cas, les plafonds devraient être bas et avoir une teinte claire (facteur de réflexion plus grand que 0.7) afin de minimiser les pertes d'énergie liées à ce type d'éclairage.

32. WINDOWS (2015), Daylighting [En ligne] [www.commercialwindows.org/daylight.php] (Consulté le 23 avril 2015).

33. ANDER, Gregg D. Whole Building Design Guide: Daylighting [En ligne] [www.wbdg.org/resources/daylighting.php] (Consulté le 14 avril 2015).

Les dépenses énergétiques d'éclairage sont importantes et un bâtiment bien conçu permet de les réduire même par ciel couvert. La connaissance de la capacité d'éclairement du site à différentes heures et périodes de l'année aide à organiser l'aménagement et à tirer le meilleur parti de l'éclairage naturel. Cet aspect doit être étudié dans les phases initiales de conception. Il permet d'une part de réduire les dépenses d'électricité en matière d'éclairage et, d'autre part, de diminuer celles de la climatisation qui sert à éliminer la chaleur créée par les luminaires. La simulation utilisée pour estimer la propagation de la lumière sous ses aspects quantitatif et qualitatif constitue une base de données que le concepteur peut utiliser comme outil d'aide à la décision dès les phases initiales du processus de conception. Le Tableau 4 résume le processus et les aspects à considérer pour optimiser l'éclairage d'un bâtiment.

Tableau 4
Processus de conception pour l'éclairage

Étape	Analyse	Facteur
Dossier esquisse	<ul style="list-style-type: none"> ■ Apport de la lumière du jour <ul style="list-style-type: none"> □ Composants directs □ Composants indirects 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Climat et conditions météorologiques ■ Environnement du bâtiment (effets de masque, réflexions sur des bâtiments et végétation avoisinante) ■ Localisation géographique et latitude du bâtiment
Dossier préliminaire	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forme du bâtiment ■ Orientation des façades ■ Répartition des ouvertures ■ Position de l'ouverture ■ Type de vitrage 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pénétration de la lumière naturelle ■ Ouverture zénithale versus latérale ■ Facteur de transmission du vitrage ■ Matériel des surfaces ■ Protection solaire

ANNEXE B >

TYPE DE SYSTÈME ET D'ÉQUIPEMENT

Les systèmes et les équipements CVCA peuvent être caractérisés de plusieurs façons. Voici une brève description des principaux types afin de faciliter le processus de sélection et de modélisation des systèmes.

Systèmes décentralisés

Les systèmes décentralisés servent une zone unique et sont installés à proximité ou à l'intérieur de l'espace qu'ils conditionnent. Ce type de système peut être facilement utilisable dans la plupart des bâtiments. Pour ce type de système, le refroidissement de l'air se produit par expansion directe. Le coût d'achat, la facilité d'installation et le peu d'espace de plancher qu'ils occupent dans la salle mécanique en font une option intéressante. Les systèmes décentralisés sont plus appropriés pour les bâtiments de petite ou de moyenne taille sans zones thermiques multiples.

Systèmes centralisés

Les systèmes centralisés regroupent les équipements requis pour le chauffage et la climatisation de nombreux espaces dans un même endroit. Le refroidissement est pratiquement toujours fourni à l'aide d'une boucle d'eau glacée produite par un refroidisseur et distribuée par un réseau de tuyaux aux unités de traitement d'air ou aux ventilo-convecteurs situés dans les espaces. Similairement, une chaudière est utilisée pour produire de l'eau chaude qui sera distribuée aux unités de traitement de l'air. Les systèmes centralisés permettent un meilleur contrôle des conditions de confort avec une efficacité énergétique supérieure et un plus grand potentiel de gestion de la charge et de la récupération de chaleur. Les systèmes centralisés sont plus appropriés pour les bâtiments de grande taille à zone thermique multiple.

Systèmes de distribution de l'air

Les systèmes de distribution de l'air peuvent être conçus pour répondre aux besoins en apport d'air extérieur, en refroidissement sensible et latent, en préchauffage, en humidification et en déshumidification. Dans la majorité des cas, aucun refroidissement supplémentaire ni humidification n'est alors nécessaire dans la zone. Le même système peut aussi répondre aux besoins de chauffage, soit dans l'unité principale ou dans la zone. Dans certaines applications, le chauffage provient d'une autre source de chaleur.

Le principe de fonctionnement d'un tel système est basé sur l'alimentation en air d'une pièce à des conditions permettant l'absorption des gains de chaleur sensible et latente de l'espace afin d'atteindre les conditions ambiantes souhaitées. Puisque les gains de chaleur dans l'espace fluctuent dans le temps, une stratégie est requise pour y arriver. Les deux principales stratégies dans ce cas sont : 1) faire varier la quantité d'air d'alimentation en variant le débit ou fournir de l'air par intermittence; ou 2) faire varier la température de l'air d'alimentation, soit en modulant la température ou en conditionnant l'air de façon intermittente.

Équipements primaires

Les équipements primaires permettent la transformation d'un carburant ou de l'énergie électrique pour le chauffage ou le refroidissement³⁴. Ces équipements servent l'ensemble du bâtiment ou plusieurs bâtiments et incluent les chauffe-eau, les chaudières, les refroidisseurs, les tours de refroidissement et l'équipement de pompage des boucles de circulation des fluides. La prise de décision au niveau de la conception, de la sélection et de l'optimisation de ces équipements joue un rôle important pour accroître l'efficacité énergétique. En effet, les plus grandes économies de consommation d'énergie peuvent être réalisées en sélectionnant le bon équipement (haute efficacité thermique et bonne taille) et le type de combustible pour la centrale thermique.

Équipements secondaires

Les équipements secondaires incluent tous les éléments de l'ensemble du système énergétique du bâtiment installé entre la centrale thermique et les zones occupées du bâtiment. Ils comprennent généralement les équipements de chauffage, de refroidissement, d'humidification, de traitement de l'air, de distribution d'air avec les conduites associées, les registres et les ventilateurs.

Les systèmes secondaires sont les principaux utilisateurs d'énergie dans les bâtiments. Bien que leur conception soit influencée par les systèmes passifs (enveloppe et masse thermique, fenestration, volumétrie, orientation, éclairage artificiel) et les besoins en confort des occupants, le type de système sélectionné joue un rôle important dans la consommation d'énergie. Les économies d'énergie des systèmes secondaires sont influencées par l'efficacité des unités, la sélection adéquate des équipements, la définition précise des débits d'air requis, la détermination de la stratégie de récupération de chaleur et le réglage adéquat du système de contrôle.

34. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2009), 2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals, 880 p.

ANNEXE C >

LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR LE REFROIDISSEMENT

Dans plusieurs bâtiments, malgré de grands surplus d'énergie thermique dans certaines zones en période de chauffage, au même moment les chaudières consomment beaucoup de combustible ou d'électricité pour produire la chaleur requise pour combler les besoins d'autres zones. La récupération de chaleur sur le refroidissement consiste à récupérer ces grandes quantités d'énergie thermique, autrement rejetées dans l'environnement, et à les utiliser pour répondre aux besoins en énergie thermique du bâtiment.

L'énergie ne peut disparaître, selon le principe de conservation de l'énergie. Elle peut sortir du bâtiment par l'enveloppe ou par l'évacuation d'air vicié, mais il est impossible qu'elle disparaisse, elle est simplement transformée. C'est un principe physique de base.

Une pompe qui a une efficacité globale de 50 % transforme 50 % de l'énergie électrique en énergie thermique et 50 % en énergie cinétique induite à un fluide. L'énergie cinétique est par la suite transformée en énergie thermique par la friction du fluide à l'intérieur des conduits. Si cette énergie cinétique n'était pas transformée, il suffirait de donner une impulsion au fluide et il circulerait dans la boucle de façon perpétuelle. C'est la même chose pour la ventilation. Dans le cas d'un ascenseur dont l'efficacité est de 80 %, 20 % de l'énergie électrique est transformée en énergie thermique et 80 % en énergie potentielle. Cette énergie potentielle induite aux passagers qui montent dans l'ascenseur est par la suite transformée en chaleur par les freins de l'ascenseur lorsque ces passagers redescendent. Dans le cas d'un appareil d'éclairage d'une efficacité énergétique de 90 %, 10 % de l'énergie électrique est transformée en énergie thermique et 90 % en énergie lumineuse. Cette énergie lumineuse est par la suite convertie en énergie thermique lorsqu'elle est absorbée par les surfaces.

Sans égard à l'efficacité des équipements, toute consommation électrique est par conséquent convertie en chaleur. Il est donc permis d'affirmer que, mis à part quelques exceptions somme toute mineures, comme l'éclairage extérieur, la chaleur évacuée par l'air vicié et les eaux grises, la consommation électrique d'un bâtiment résulte en un apport égal d'énergie thermique à l'intérieur de son enveloppe.

Même en excluant le chauffage électrique, la majeure partie de cet apport thermique est présente en période de chauffage. Lorsque les équipements de refroidissement ne sont pas conçus pour récupérer cette énergie, une partie de l'apport thermique compense partiellement les pertes par l'enveloppe, mais la majeure partie de la chaleur dégagée par les ordinateurs, l'éclairage, le refroidissement-réfrigération et les autres équipements électriques ainsi que celle dégagée par les occupants sont évacuées hors du bâtiment de deux façons :

- par *refroidissement gratuit* en remplaçant l'air chaud intérieur par de l'air froid provenant de l'extérieur;
- par des équipements mécaniques comme des refroidisseurs.

Le *refroidissement gratuit* permet de diminuer la consommation électrique des équipements de refroidissement. Par contre, lorsque le bâtiment est humidifié, il y a une importante augmentation de la consommation des équipements d'humidification. Par exemple, de l'air extérieur à -5 °C dont le taux d'humidité relative est de 70 % verra son taux d'humidité relative passer à 10 % dans un bâtiment à 22 °C. Il faut donc ajouter beaucoup de vapeur, dans les systèmes de ventilation, au mélange de cet air et de l'air recirculé afin de maintenir un taux d'humidité relative supérieur au niveau prescrit (par exemple 25 %) pour assurer le confort et la santé des occupants. Lorsqu'il y a de l'humidification, le *refroidissement gratuit* est donc loin d'être gratuit et l'économie d'énergie de cette façon de faire est beaucoup plus faible qu'il n'y paraît.

En cessant le *refroidissement gratuit* et en utilisant des refroidisseurs appropriés pour la récupération de chaleur en période de chauffage, une grande part de la chaleur produite par les chaudières peut être remplacée par la chaleur évacuée des zones en surplus de chaleur. Certains refroidisseurs peuvent évacuer la chaleur en produisant de l'eau de chauffage à 66 °C (150 °F). Cette température est suffisante pour les réseaux de chauffage, ce qui permet de refroidir les zones en surplus de chaleur en évacuant cette dernière dans les réseaux de chauffage existants. On peut ainsi éviter, en partie, le fonctionnement des équipements de production de chaleur :

- En produisant de l'eau de chauffage sans les chaudières.
- En chauffant l'eau chaude sanitaire jusqu'à 60 °C, sans utiliser d'éléments électriques ou de brûleurs, à l'aide d'un échangeur de chaleur avec système de recirculation en continu.
- En préchauffant l'eau destinée à l'humidification par un échangeur de chaleur avant d'arriver aux chaudières à vapeur. Ces dernières consomment ainsi beaucoup moins d'énergie, car elles n'ont plus qu'à porter à ébullition une eau déjà préchauffée à 50 °C plutôt qu'une eau d'aqueduc qui se situe à 5 °C l'hiver et 20 °C l'été.

La récupération de chaleur sur le refroidissement permet l'arrêt des tours de refroidissement par temps froid. Or l'utilisation des tours de refroidissement par temps froid cause une usure prématurée en raison de la formation de glace. Cette mesure réduit donc les coûts d'entretien des tours de refroidissement et allonge leur durée de vie. De plus, les tours de refroidissement étant parmi les plus grands consommateurs d'eau des bâtiments, la récupération de chaleur permet donc de réduire la consommation d'eau potable des bâtiments de façon notable. La réduction des besoins d'humidification résultant de l'arrêt du *refroidissement gratuit* entraîne aussi une économie d'eau potable.

ANNEXE D >

OUTILS DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE

Nous présentons ici une brève description des outils de simulation énergétique les plus souvent utilisés au Québec ainsi que leurs principales caractéristiques.

DOE2

DOE2 est un programme d'analyse de l'énergie de tout le bâtiment développé en 1993 qui calcule la performance énergétique et le coût global. La version actuelle est DOE-2.2e. Le programme prédit la consommation énergétique sur une base horaire à partir des données météo, de la géométrie du bâtiment, de la description des systèmes CVCA et des tarifs d'énergie. La méthode des facteurs de transfert est utilisée pour déterminer le transfert de chaleur transitoire dans les murs alors que la méthode des facteurs de pondération est utilisée pour déterminer le comportement thermique des espaces du bâtiment.

EE4

EE4 est une interface utilisant le moteur de simulation DOE2.1e très populaire au Québec. Elle a été développée afin d'évaluer et de mettre en application les règles particulières à la validation de la conception de bâtiments neufs selon le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments (CMNÉB-1997) de Ressources naturelles Canada.

eQUEST

eQuest est une interface utilisant le moteur de simulation DOE2.2e. C'est un outil de simulation énergétique convivial qui permet une analyse de la performance de l'ensemble du bâtiment dans toutes les phases de conception. L'outil produit des résultats de qualité en intégrant un assistant de création de bâtiment, un module de mesures d'efficacité énergétique (EEM) et un module d'affichage graphique des résultats. Le module de création des bâtiments d'eQUEST simplifie et accélère le processus de simulation et permet aux utilisateurs de créer un modèle de bâtiment afin de faire une analyse détaillée des technologies de construction. La possibilité de modéliser plusieurs scénarios simultanément à l'aide du module d'assistance est l'un des avantages les plus remarquables d'eQUEST, puisqu'il permet de comparer graphiquement les résultats des différentes options. L'outil permet aussi d'estimer les coûts de consommation énergétique, l'éclairage naturel, le contrôle de l'éclairage et la mise en œuvre automatique de mesures d'efficacité énergétique.

CAN-QUEST

CAN-QUEST est une version canadienne d'eQUEST qui inclut une interface disponible en anglais et en français. Elle a les mêmes fonctionnalités qu'eQuest, mais permet aussi de démontrer la conformité au CNÉB 2011, alors qu'eQUEST est utilisée pour vérifier la conformité avec le standard ASHRAE 90.1.

EnergyPlus

EnergyPlus, développé par le département de l'Énergie des États-Unis, est un moteur de simulation qui utilise un fichier texte pour les données d'entrée et les résultats de simulation. La charge du bâtiment est calculée à un pas de temps défini par l'utilisateur. Cette information est par la suite envoyée au module de simulation des systèmes du bâtiment. Le module de simulation des systèmes d'EnergyPlus calcule la charge de chauffage/refroidissement et la réponse du système. La méthode de calcul, qui est la méthode des bilans, permet une prédiction plus précise de la température de l'espace, du dimensionnement des équipements et du confort des occupants. De plus, l'outil permet d'évaluer des séquences de contrôle réalistes, l'humidité d'adsorption et de désorption des éléments de construction, les systèmes radiants de chauffage et de refroidissement, ainsi que le flux d'air interzone³⁵.

DesignBuilder

DesignBuilder est une interface utilisant le moteur de simulation EnergyPlus qui permet de mener aisément à bien des analyses sur la consommation d'énergie, le confort intérieur et le dimensionnement des équipements CVCA. DesignBuilder offre la possibilité de simuler plusieurs types de systèmes CVCA couramment utilisés. De plus, les utilisateurs peuvent créer leur propre modèle de systèmes CVCA et indiquer le niveau de détail à toutes les étapes du processus de conception.

OpenStudio

OpenStudio est un plugiciel pour Google SketchUp et EnergyPlus. Ce module d'extension permet aux utilisateurs de créer rapidement la géométrie d'un bâtiment et de choisir l'espace des attributs en utilisant la fonctionnalité intégrée dans SketchUp. L'application d'OpenStudio est un outil de modélisation énergétique graphique. Il comprend la visualisation et l'édition de calendriers, l'édition des charges des constructions et des matériaux, une interface « glisser-déposer » pour affecter des ressources à des espaces et à des zones, un module de visualisation des systèmes CVCA et un outil de conception des systèmes d'eau chaude sanitaire. OpenStudio donne également accès aux données de la bibliothèque de composants de construction au modelleur.

SIMEB

SIMEB est un outil de simulation développé par Hydro-Québec qui analyse le comportement énergétique des bâtiments commerciaux et institutionnels. Cet outil permet à tous les membres de l'équipe de conception (concepteurs, professionnels du bâtiment, ingénieurs, techniciens, etc.) d'accompagner leurs clients dans l'utilisation de concepts intégrés pour les nouveaux bâtiments et de rénovations énergétiques pour les bâtiments existants. SIMEB offre plusieurs fonctionnalités, y compris un module qui permet la calibration de la simulation basée sur l'historique des factures énergétiques, un assistant rapide pour la modélisation d'un bâtiment et un module d'analyse des profils horaires³⁶. La fonction Archétype permet de générer rapidement un modèle de bâtiment en entrant un minimum de données à l'étape de l'esquisse.

SIMEB permet de définir les caractéristiques de construction telles que les aspects architecturaux, l'enveloppe thermique, les horaires d'occupation, la densité et le type d'éclairage, et les systèmes CVCA pour analyser la consommation d'énergie. La plateforme de calcul peut être utilisée avec les moteurs de calcul DOE et EnergyPlus.

35. CRAWLEY, Drury B. et collab. (2008), Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment* 43(4), 661-673 p.

36. MILLETTE, Jocelyn, Simon SANSREGRET et Ahmed DAOUD (2011), SIMEB: Simplified interface to DOE2 and EnergyPlus - A user's perspective - Case study of an existing building. *Building Simulation 2011, IBPSA: Sydney, Australia*, 7 p.

TRNSYS

TRNSYS est un outil flexible comprenant une interface graphique, un moteur de simulation, et une bibliothèque de composants qui inclut différentes compositions d'enveloppe et des équipements CVCA standard et d'énergie renouvelable. La méthode des bilans est utilisée pour déterminer le transfert de chaleur. Cet outil de simulation permet le dimensionnement et l'analyse des systèmes CVCA, la simulation des flux d'air multizones, la simulation de l'énergie électrique, la conception solaire et l'analyse de la performance thermique des bâtiments et des systèmes de contrôle.

HAP

L'outil de conception HAP (Hourly Analysis Program) de l'entreprise Carrier comprend deux modules, un qui permet l'estimation de la charge et l'autre une analyse énergétique sur une base horaire. Les transferts de chaleur dans le bâtiment sont calculés par la méthode des facteurs de transfert de l'ASHRAE. Le module d'analyse de l'énergie fait une simulation heure par heure des charges et de l'opération des équipements pour une année complète.

TRACE

Le logiciel TRACE, développé par TRANE, permet la modélisation des systèmes de distribution de l'air et diverses options de configuration et de contrôle des systèmes CVCA. Il peut comparer différentes solutions et évaluer le coût global et le retour sur l'investissement des options choisies. Les modèles disponibles permettent d'analyser rapidement les impacts des modifications des débits d'air, du réglage des thermostats, de l'occupation et du type de construction sur les charges. Les usagers peuvent sélectionner différentes méthodes de calcul telles que TETD, CLTD/CLF, ASHRAE RTS, etc.

