

ACTIVITÉS DE RECHERCHE EN MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS CHEZ HYDRO-QUEBEC

Jocelyn Millette¹, Karine Lavigne¹, Simon Sansregret¹, Michel Dostie¹

¹Laboratoire des Technologies de l'Énergie, Institut de Recherche d'Hydro-Québec
Shawinigan, Québec, Canada

RÉSUMÉ

Un portrait des activités de recherche et développement dans le domaine de la simulation énergétique du bâtiment chez Hydro-Québec est présenté en relation avec ses besoins et ceux de ses clients.

Un plan de développement d'un outil de **simulation** énergétique du **bâtiment** (SIMEB) est présenté. Les fonctionnalités *Bâtiments archétypes*, *Calibration assistée*, *Balisage de la puissance maximale appelée*, la notion de *Bâtiments métriques* et l'introduction de *Nouvelles technologies* sont retenues afin de répondre aux besoins ciblés.

L'amélioration des fonctionnalités sera intégrée dans l'outil par le biais de nouvelles versions. Une vision structurée du développement est nécessaire à la stabilité et à une évolution du progiciel.

La diffusion libre du progiciel vise à favoriser les échanges entre les utilisateurs et la transformation de marché envers l'utilisation des outils de simulation pour augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments.

INTRODUCTION

Cet article présente un portrait des activités de recherche et développement dans le domaine de la simulation énergétique des bâtiments entreprises chez Hydro-Québec depuis les dernières années et les orientations futures de celles-ci basées sur la perception des besoins d'Hydro-Québec et du marché québécois.

Dépendamment de la tâche à réaliser, plusieurs approches ont été utilisées : la modélisation directe avec des codes maisons et des codes publics (HOT2000, DOE2.1E, Energy Plus, CFX) et la modélisation inverse basée sur une approche boîte noire, boîte grise, réseau de neurones et ce, à l'aide de mesures expérimentales à large échelle.

Hydro-Québec a été active dans le domaine de la modélisation des bâtiments pour différentes raisons :

- obtenir un portrait détaillé de sa clientèle qui utilise massivement l'électricité comme source d'énergie

pour le conditionnement de l'air (43% de 50 Twh/an dans le résidentiel [1] et 55% de 27 TWh/an dans le commercial et institutionnel (2000) [2]),

- penser et proposer des programmes d'économie d'énergie touchant l'enveloppe des bâtiments, les équipements et produits reliés aux bâtiments, tout en étudiant leur interaction [3],
- évaluer l'impact des programmes d'économie d'énergie applicables aux bâtiments [4,5] sur la consommation énergétique et qualité de l'air,
- étudier l'impact des thermostats électroniques et programmables sur l'énergie consommée et la puissance appelée sur le réseau de distribution [6],
- étudier l'impact sur les réseaux et les transformateurs de distribution d'une reprise après panne prolongée d'un groupe de bâtiments [7],
- étudier et proposer de nouvelles technologies de conditionnement de l'air associées aux bâtiments [8],
- effectuer des redressements de consommation d'électricité lors de subutilisation d'énergie [9],
- informer ses clients sur leur consommation d'électricité [10] (*Diagnostic Mieux Consommer*),
- offrir un outil de calcul normalisé de l'appui financier par Hydro-Québec concernant les mesures d'efficacité énergétique à réaliser dans les bâtiments commerciaux et institutionnels (CI) : **Progiciel d'Évaluation des Projets (PEP)** [11],

Le progiciel PEP consiste en une interface pour le moteur de calcul DOE2.1E. Il sert à calculer un appui financier basé sur la valeur des économies résultant de mesures d'efficacité énergétique appliquées à un bâtiment. Ces économies résultent de la différence entre la simulation du bâtiment proposé et celle du bâtiment de référence. Le bâtiment de référence représente le bâtiment sans mesure d'efficacité énergétique mais doté de certaines valeurs normalisées. Le bâtiment proposé est constitué du bâtiment de référence augmenté des mesures d'efficacité énergétique. Cette interface permet donc une description à haut niveau d'un bâtiment, une découpe en zones thermiques à partir du concept de zones fonctionnelles [12], une normalisation des paramètres et une comparaison entre différents scénarios.

BESOINS ET ORIENTATION DES TRAVAUX

Les travaux réalisés ont permis de démontrer les possibilités des outils de simulation de bâtiments pour combler les besoins d'Hydro-Québec et ceux de ses clients. Les bâtiments CI consomment environ 20% de l'électricité totale au Québec. De cette quantité, environ la moitié est consommée par les équipements de Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'Air (CVCA). Les objectifs du Plan Global en Efficacité énergétique (PGEÉ) d'Hydro-Québec visant des économies de 4.7 TWh à l'horizon 2010 et de 8 TWh pour 2015, l'efficacité énergétique dans les bâtiments est une avenue essentielle à l'atteinte de ces objectifs.

Dans l'atteinte de ces économies d'énergie, les outils de simulation de bâtiment peuvent être utiles notamment dans :

- l'établissement de potentiels technico-économiques des mesures d'efficacité énergétique,
- l'évaluation des résultats des programmes en efficacité énergétique,
- l'analyse systémique des produits CVCA
- le développement, l'évaluation et l'offre de nouvelles technologies plus efficaces dans le bâtiment,
- la réalisation d'un design intégré d'un nouveau bâtiment,
- l'analyse comparative entre les bâtiments
- le recommissioning des bâtiments,
- l'établissement d'une offre commerciale par les fournisseurs d'énergie à leurs clients.

Bien que les codes de calcul et les ordinateurs les supportant soient de plus en plus performants, les outils de simulation sont peu utilisés dans le design et la rénovation des bâtiments. L'effort nécessaire et le peu de valeur ajoutée perçue limitent souvent le recours à ces outils.

Avec l'avènement des compteurs communicants, permettant la mesure d'énergie et de puissance aux 15 minutes, des équipements de sous-mesurage de plus en plus populaires, de grandes quantités d'informations sont de plus en plus disponibles afin d'améliorer la qualité et le détail des simulations des bâtiments existants.

Pour évaluer l'impact des nouvelles technologies, réaliser un design de bâtiment plus efficace ou faire une offre commerciale, un outil plus prédictif que le PEP

concernant l'énergie consommée et de la puissance appelée est nécessaire.

L'outil devra donc posséder les caractéristiques suivantes : offrir une rapidité dans la représentation du bâtiment, minimiser le volume d'informations à saisir, conserver un temps de calcul court, proposer une interface simple et intuitive, offrir une confiance dans les résultats.

PLAN DE DÉVELOPPEMENT ET OUTILS PROPOSÉS

Le moyen retenu pour répondre aux besoins de l'entreprise est une version améliorée et parallèle au progiciel PEP; le progiciel SIMEB. Cette version améliorée permet aux utilisateurs familiers avec le PEP de réutiliser la description de leur bâtiment dans l'interface SIMEB pour des fins de design et de développement. Le but étant la diffusion gratuite de ce progiciel et son utilisation par un grand nombre d'intervenants dans plusieurs domaines, une transformation de marché envers l'utilisation d'outils de simulation pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les bâtiments est visée.

Pour réaliser les objectifs précédemment cités, cinq axes de développement ont été entrepris : les fonctionnalités *Bâtiments archétypes*, *Calibration assistée*, *Balisage de la puissance maximale appelée*, la notion de *Bâtiments métriques* et l'introduction de *Nouvelles technologies*. Les travaux s'échelonneront sur quelques années, des versions intermédiaires ayant ces fonctionnalités plus ou moins achevées seront déployées. Une rétroaction des usagers est nécessaire à l'amélioration de celles-ci.

Bâtiments archétypes

Cette fonctionnalité permet, à partir d'informations sommaires tels : la vocation, la superficie de plancher et l'année de construction, de générer un bâtiment aux caractéristiques représentatives du parc immobilier québécois ou un groupe de bâtiments tirés au hasard dont la distribution statistique des caractéristiques est celle du parc immobilier québécois.

L'information servant à peupler les champs du progiciel SIMEB provient de bases de données diverses émanant, entre autres, de programmes commerciaux antérieurs d'Hydro-Québec [13, 14], d'informations obtenues du programme d'appui financier à l'optimisation énergétique des bâtiments [11] et d'hypothèses d'ingénierie. Pour une vocation, une

année de construction et une superficie données, les données architecturales (azimuth, nombre d'étages, type de contact avec le sol, pourcentage de fenestration, superficies et types de zones fonctionnelles, proportion et distribution des murs extérieurs par zones, valeurs RSI, type de vitrage) et le type de système CVCA (central, terminal, chaudière et refroidisseur) sont déterminés. Les figures 1 et 2 montrent des exemples de relation obtenues des bases de données étudiées. Une fois les champs du SIMEB remplis de valeurs typiques, l'utilisateur peut les modifier à son gré et raffiner la description de son bâtiment dans l'interface détaillée. L'utilisateur expérimenté peut même modifier le code destiné au moteur de calcul.

La notion de *Bâtiments archétypes* propose une définition de bâtiment à complexité variable selon les besoins et les attentes de l'usager. Cette fonctionnalité permet d'établir une simulation du bâtiment lors des phases préliminaires de conception et de proposer dès lors des mesures et des concepts novateurs en matière d'efficacité énergétique. Elle permet aussi d'établir rapidement le potentiel technico-économique de mesures d'efficacité énergétique ou de produits pour un segment de marché ou un type de bâtiment.

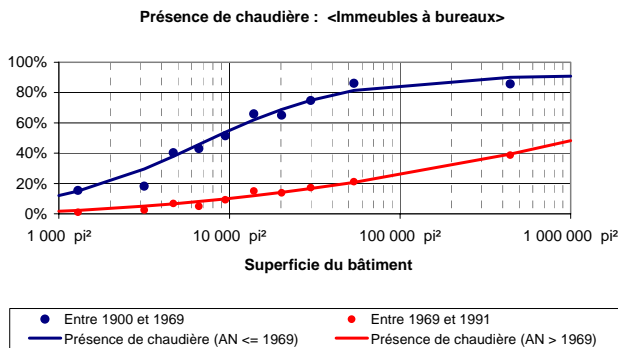


Figure 1. Présence de chaudière vs l'âge et la superficie

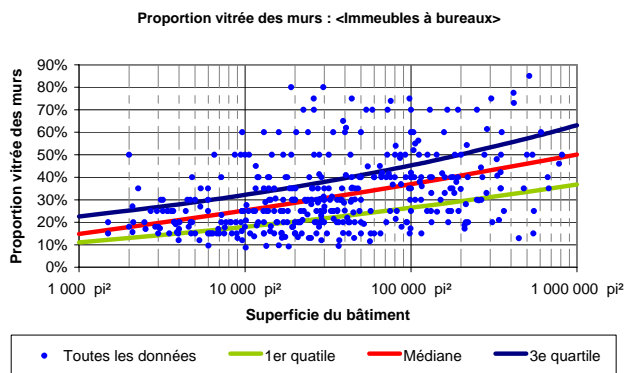


Figure 2. Proportion vitrée vs superficie du bâtiment

L'interface *Bâtiments archétypes* est présentement implanté et la vocation « Immeubles à bureaux » est définie. Cette fonctionnalité s'enrichira d'autres vocations dans le futur, notamment les institutions d'enseignement.

Calibration assistée

L'utilisation de simulations énergétiques nécessite une multitude de données qui sont souvent difficiles à obtenir et pour lesquelles les valeurs sont souvent estimées. La fonctionnalité *Calibration Assistée* permet de proposer des ajustements aux valeurs de certains de ces paramètres afin de faire concorder les résultats de la simulation et les mesures de consommation d'énergie et de puissance.

Deux niveaux de calibration sont proposés dépendamment de la fréquence des mesures de consommation.

La méthode basée sur les relevés mensuels est décrite en détails dans [15]. Basée sur les différences de profil entre la consommation mesurée et celle simulée, une pré-calibration permet de valider le choix des paramètres à ajuster et d'en limiter le nombre aux plus significatifs. Pour ce faire, des modèles simples de consommation énergétique utilisant le concept de températures d'équilibre, de consommation de base et de facteurs d'enveloppe sont mis en œuvre. Ensuite, une méthode de Levenberg-Marquardt est utilisée pour calculer les ajustements nécessaires à la minimisation des écarts entre les valeurs simulées et facturées. L'interaction négligeable entre les paramètres de simulation et l'utilisation de la pré-calibration permettent un temps de calcul raisonnable pour ce type d'outil. Cet outil est implanté dans le logiciel SIMEB.

La disponibilité de mesures d'énergie et de puissance aux 15 minutes fournies par les compteurs communicants permet d'envisager l'analyse de ces données dans le domaine fréquentiel. De cette façon, il est pensable d'extraire des profils types journaliers de consommation ; semaine, fin de semaine, jours fériés et de comparer les profils réels à ceux obtenus à partir de la simulation. Des méthodes d'analyse de regroupement sont aussi étudiées. Cette information pourrait permettre à l'utilisateur de poser un regard critique sur les horaires de fonctionnement des appareils CVCA ou d'occupation postulés afin de réaliser la simulation. Les travaux se poursuivent afin d'implanter ce type d'analyse dans le logiciel.

L'utilisation de cette fonctionnalité peut permettre une meilleure comparaison avec des bâtiments similaires, la détection d'anomalies de fonctionnement et une meilleure évaluation de l'impact de mesures d'efficacité énergétique à réaliser dans un bâtiment existant.

Balilage de la puissance maximale appelée

D'une utilisation au cas par cas, les données de consommation peuvent aussi être exploitées en groupe de façon statistique. Un balilage a été réalisé pour comparer la consommation annuelle spécifique à chaque usage, pour chaque vocation.

Un balilage concernant la puissance maximale appelée permet d'évaluer la justesse du calcul de la puissance maximale appelée calculée par la simulation. Cet aspect est particulièrement intéressant pour palier aux limitations concernant le calcul de la puissance maximale appelée liées à l'utilisation de DOE2.1E comme moteur de calcul.

En étudiant les mesures de puissance moyenne et de puissance maximale appelée par période d'un groupe de 2848 bâtiments, il a été montré qu'il existe une relation statistique entre la distribution des facteurs d'utilisation et la puissance moyenne appelée [16]. Cette distribution se resserre lorsque la puissance moyenne augmente. Pour un quartile donné de la distribution, le ratio puissance maximale sur puissance moyenne est une fonction linéaire du log de la puissance moyenne, tel que défini par l'équation (1).

$$\frac{P_{\max}}{P_{\text{moyen}}} = a \cdot \log(P_{\text{moy}}) + b \quad (1)$$

Les valeurs de a et b dépendent du quartile considéré. Il est donc possible de qualifier la prédiction de la puissance appelée obtenue par simulation. Ce balilage de la puissance est intégré dans le progiciel SIMEB.

En utilisant une approche fréquentielle, des travaux de caractérisation de la consommation mesurée aux 15 minutes est aussi en cours sur des groupes de bâtiments afin d'établir des profils typiques de puissance appelée selon les vocations.

Bâtiments métriques

Une des questions de l'utilisateur d'outils de simulation énergétique de bâtiments demeure le niveau de précision de la simulation réalisée. Plusieurs études

présentent des simulations calibrées effectuées sur un ou deux bâtiments et en quantifient l'écart avec des données globales de consommation mesurées. Cependant peu d'études traitent de la consommation détaillée en énergie et en puissance appelée pour chacun des postes de consommation (éclairage, chauffage, climatisation,...).

Il est proposé d'établir un ensemble de bâtiments pour lesquels les relevés des équipements CVCA et des données architecturales sont disponibles et pour lesquels des mesures de consommation énergétique sont réalisées aux 15 minutes pour différents usages et équipements CVCA. De plus, une entrevue avec le gestionnaire du bâtiment permettra d'établir les horaires d'occupation, de fonctionnement des différents équipements et des ajustements des points de consigne. Ces informations détaillées concernant l'utilisation du bâtiment contribueront à valider les méthodes d'analyse fréquentielle et de regroupement et de mieux calibrer les simulations. Les bâtiments d'Hydro-Québec sont visés en premier lieu pour faire partie de cet ensemble.

Cet ensemble de bâtiments constitue un banc d'essai permettant de quantifier la précision des différents outils de simulation.

À l'aide de ses compteurs communicants, Hydro-Québec est bien positionnée pour constituer cette base de données.

Développement et intégration de nouvelles technologies

Le progiciel SIMEB permet d'intégrer et de promouvoir de nouvelles technologies efficaces :

Le contrôle de la stratification des systèmes de chauffage périphériques

Dépendamment de la localisation des bouches de retour d'air, de la puissance installée des équipements de chauffage périphériques, de leur positionnement dans la pièce et de leur stratégie de contrôle, une partie de l'énergie dégagée par ceux-ci est retournée dans le système central pour être évacuée ou conditionnée. Un choix judicieux d'équipement et de positionnement permet de réaliser une conception plus efficace. Des analyses par CFD et des mesures dans une chambre de visualisation ont permis d'obtenir des résultats préliminaires significatifs [17]. Des corrélations obtenues par des simulations CFD détaillées seront implantées dans SIMEB afin de pallier aux limitations

du moteur de calcul utilisé et afin de conserver des temps de calcul raisonnables et compatibles avec l'utilisation visée.

Le couplage des équipements CVCA et du solaire passif

L'intégration efficace des systèmes CVCA et des technologies solaires passives nécessite une modélisation détaillée des interactions entre le bâtiment, les systèmes CVCA, les systèmes de stockage et les occupants. Une précision accrue des mouvements d'énergie entre les composantes du système et une modélisation en régime transitoire est nécessaire [18]. Pour ce faire, le logiciel SIMEB effectue un découpage détaillé et adéquat des bâtiments par zone thermique. Cependant, une migration vers un code de calcul transitoire tel Energy Plus et un couplage avec les modèles développés (modèles zonaux, CFD dégradé) pour les grands espaces (atriums) et les systèmes de stockage sont nécessaires.

Les systèmes d'accumulation thermique

L'utilisation de système de stockage pour niveler la pointe de puissance appelée d'un bâtiment nécessite l'intégration d'un modèle du système de stockage et une bonne prédiction de la puissance appelée par le bâtiment.

La prise en charge de ces nouvelles technologies permet de les étudier et de permettre à l'utilisateur de les évaluer dans le contexte qu'il désire et de les appliquer à son bâtiment. Ces modèles sont en développement et seront intégrés dans le progiciel.

CONCLUSION ET ORIENTATIONS FUTURES

Une approche incrémentale est retenue dans la réalisation du progiciel. Les différentes versions proposeront les fonctionnalités discutées à différents niveaux d'avancement. Cette approche permet de faire évoluer ces fonctionnalités selon la rétroaction des utilisateurs. Une première version est prévue à l'été 2008.

La définition des bâtiments archétypes s'enrichira de vocations supplémentaires et incorporera les données d'autres bases de données.

Les travaux de caractérisation de la consommation par analyse de regroupement et fréquentielle permettront de bonifier la calibration assistée concernant la définition

des horaires d'opération du bâtiment et d'établir une base de comparaison entre les bâtiments.

Les objectifs présentés dans ce plan développement imposent la migration du progiciel vers un moteur de calcul mieux adapté au calcul transitoire. Une migration progressive vers Energy Plus est en cours. Afin de conserver des temps de calcul raisonnable, une approche hybride Energy Plus et DOE2.1E est envisagée en premier lieu.

La vision structurée du développement permet d'assurer une architecture suffisamment souple du progiciel lui permettant d'évoluer et de s'installer chez les utilisateurs.

La diffusion libre du progiciel vise à favoriser les échanges entre les utilisateurs et la transformation de marché envers l'utilisation des outils de simulation pour augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments.

RÉFÉRENCES

- [1] Hydro-Québec, (2002), *Session #2 d'échanges et d'information 9 avril 2002 – Potentiel technico-économique d'économies d'énergie au marché résidentiel*, Régie de l'énergie du Québec, Cause 3473
- [2] Hydro-Québec, (2002) *Session #3 d'échanges et d'information 10 avril 2002 – Potentiel technico-économique d'économies d'énergie aux marchés commercial et institutionnel*, Régie de l'énergie du Québec, Cause 3473
- [3] Moreau, A., (1994), *Étude de l'impact des gains internes sur la charge thermique dans le secteur résidentiel*, Association Canadienne de l'Électricité, ACE-94-105, Canada
- [4] *Projet EVAL-ISO*, (1994) *Rapport final sur le potentiel d'amélioration de l'enveloppe thermique des habitations du Québec*, Hydro-Québec
- [5] Millette, J., Dumont, E., (1997) *Instrumentation caractéristique de l'échantillon et méthodes d'analyse des données de consommation énergétique Projet PAQET*, LTEE-97-038, Hydro-Québec
- [6] Laperrière, A., Bouchard, J., Nesreddine, H., Handfield, L., (2004), *Impact des thermostats électroniques programmables sur le réseau d'Hydro-Québec : 3 volumes*, LTE-RT-0505-1à3-2004, Hydro-Québec
- [7] Moreau, A., *Comportement thermique des résidences pendant et après une panne de courant reprise après panne*, Colloque interuniversitaire franco-québécois : Thermique des systèmes à

température modérée, 4e, mai 1999, Montréal (QC) et LTEE-RT-0032/1998, Hydro-Québec

[8] Baribeault, J., Brassard, R., Dumont, E., *Wall mounted electric convection heater*, Brevet US 6,490,410

[9] Millette, J., Laperrière, A., Desbiens, G., Charette, D., *Manuel technique : JAG2.0*, LTE-RT-0458-2004, Hydro-Québec

[10] *Diagnostic mieux consommer*
http://www.hydroquebec.com/residentiel/description_diagnostic.html,

[11] Progiciel PEP
http://www.hydroquebec.com/partenaires/outils/progiciel_install.zip

[12] Bellemare, R., Sansregret, S., (2008), *Élaboration d'un algorithme de génération de zones thermiques visant à faciliter la saisie de données à l'intérieur d'un logiciel de simulation horaires de bâtiments*, eSIM 2008, Québec, Canada

[13] Hydro-Québec, *Suivi des comportements énergétiques – Marché commercial 1992*, Groupe commercialisation et affaires internationales, Vice-présidence Efficacité énergétique, service Conception de programme, Marché commercial

[14] Hydro-Québec, *Programme d'analyse énergétique des bâtiments (PAEB) 1991-1997*

[15] Lavigne, K., Millette, J., (2008), *Calibration assistée dans la modélisation énergétique des bâtiments*, eSIM 2008, Québec, Canada

[16] Dostie, M., Lavigne, K., (2006), *Développement du logiciel SIMEB : Qualification de l'estimé de la demande de pointe mensuelle*, Rapport LTE-RT-2006-0152, Hydro-Québec

[17] Handfield, L., *Essais de stratification avec la boucle d'air*, LTE-RT-2008-0005, Hydro-Québec

[18] *Project 1.1 Integration of photovoltaic-thermal systems with facades, roofs and HVAC systems*, Solar buildings research network, Montreal, Canada