

Exploration de la consommation énergétique et du confort thermique des bâtiments résidentiels en bois: lumière sur le rôle des occupants

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, une bonne connaissance de leur consommation énergétique et de leur comportement thermique est nécessaire. Les outils de simulation énergétique de bâtiments sont fort utiles pour approfondir ces connaissances, mais on observe malheureusement souvent des écarts entre la consommation réelle d'un bâtiment et ce qui était attendu. Cet écart entre la prédiction et la réalité s'explique par le fait que la simulation énergétique de bâtiments fait appel à de nombreuses hypothèses qui peuvent influencer le résultat de la simulation. Le comportement des occupants est notamment difficile à représenter fidèlement lors des simulations de bâtiments. Or, vu le grand impact que les occupants ont sur la performance d'un bâtiment, il est essentiel d'avoir une représentation viable de cet aspect de la simulation.



Le CIRCERB

La chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval est une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée jumelée à un consortium industriel. Évoluant au sein de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, la chaire oeuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Trois axes de recherche orientent son programme de recherche du CIRCERB: Concevoir, Construire et Exploiter.

La publication

Du Labo au chantier est une nouvelle publication de Cecobois qui a pour objectif la diffusion des travaux de recherche du CIRCERB. Elle vise la vulgarisation de projets réalisés par des étudiants à la maîtrise, au doctorat.





Tableau 1 Description des systèmes mécaniques du bâtiment

Chauffage	Chauffage urbain à partir d'une centrale à biomasse.		
	Système à eau chaude avec échangeurs de chaleur et radiateurs.		
	Température d'entrée de l'eau dans le bâtiment: 85°C		
Ventilation	Préchauffage de l'air à l'aide de murs solaires.		
	Ventilateur récupérateur de chaleur de 85% d'efficacité.		
	Capacité totale de ventilation: 4 000 m³/h (2 350 cfm)		
	Un interrupteur On/Off par logement.		
Eau chaude domestique	4 réservoirs d'eau chaude de 450 L (1 800 L).		
	Chauffée par le chauffage urbain avec échangeurs de chaleur (capacité de 300 kW).		
	Installation d'une boucle de recirculation.		
Climatisation	Aucune climatisation dans les logements.		

C'est avec l'objectif d'analyser la consommation énergétique des bâtiments résidentiels en bois à haute performance énergétique en se concentrant principalement sur le rôle joué par les occupants que Jean Rouleau a entrepris son projet de doctorat à la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB). Réalisé sous la direction de Louis Gosselin, professeur en génie mécanique à l'Université Laval et la co-direction de Pierre Blanchet, professeur en sciences du bois et professeur titulaire du CIRCERB, le projet visait à quantifier l'impact de l'enveloppe des bâtiments, de leurs systèmes mécaniques et des occupants sur sa demande en énergie, dans le cas d'une construction résidentielle en bois.

⟨⟨ (...) l'utilisation de ces deux systèmes constructifs dans un même bâtiment permet la comparaison de leur performance énergétique. >>

Étude d'un bâtiment existant

Les Habitations Trentino, un logement social situé dans l'éco quartier de la Cité Verte dans la ville de Québec, ont servi de laboratoire à ce projet de recherche. Ce bâtiment a été mis en place par la Société d'Habitation du Québec (SHQ) comme outil de démonstration de la faisabilité et de la rentabilité des bâtiments à faible consommation énergétique. Le bâtiment a donc été conçu et construit selon de hauts standards d'efficacité énergétique, avec des objectifs de performance se situant entre les exigences de Novoclimat (50 kWh/m²) et de Passivhaus (15 kWh/m²). Différentes mesures y ont été implantées pour diminuer les besoins en chauffage du bâtiment: notons par exemple le chauffage urbain à partir d'une centrale à biomasse, le préchauffage de l'air à l'aide de murs solaires et une enveloppe optimisée visant à réduire les besoins en chauffage. Le tableau 1 présente une courte description des systèmes mécaniques du bâtiment.

Le bâtiment de quatre étages possède une superficie totale de 2 924 m² et abrite 40 logements couvrant 55 à 75 m² chacun. Deux systèmes de construction distincts séparés par un mur mitoyen ont été utilisés; d'un côté de l'immeuble, 20 logements construits en ossature légère en bois et de l'autre 20 logements construits en bois lamellé-croisé (CLT). Les panneaux de CLT possèdent une masse thermique plus grande que l'ossature légère; l'utilisation de ces deux systèmes constructifs dans un même bâtiment permet la comparaison de leur performance énergétique.

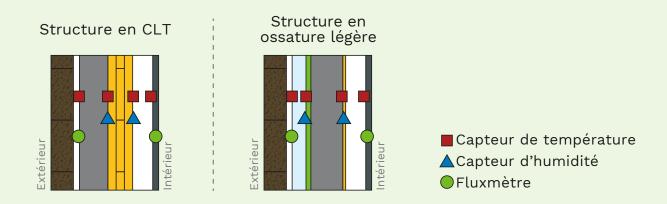


Figure 1 Positionnement des capteurs dans l'enveloppe, selon le système structural

Tableau 2 Données mesurées dans les logements

Données	Pour les 8 logements «super- instrumentés»	Pour les 32 autres logements	Pour le bâtiment au complet
Température de l'air [°C]	X		
Humidité de l'air [%]	X		
Contrôle du système de ventilation [On/Off]	X		
Contrôle des fenêtres [On/Off]	Х		
Profil de température au sein de l'enveloppe [°C]	X		
Profil d'humidité au sein de l'enveloppe [%]	X		
Flux thermique à travers l'enveloppe [W/m²]	X		
Énergie pour le chauffage [kWh]	Х	X	Χ
Énergie pour l'eau chaude domestique [kWh]	X	X	Χ
Quantité d'eau chaude domestique [m³]	X	X	
Électricité consommée [kWh]	Х	X	
Énergie pour le chauffage du sous-sol [kWh]			Χ
Électricité consommée par la salle mécanique [kWh]			Х
Données météo			Х

«Ce sont au total environ 350 capteurs qui ont été installés dans le bâtiment. (...) Des mesures ont été prises et enregistrées à toutes les 10 minutes pendant plus de 3 ans. »

Au moment de réaliser les travaux de recherche, les occupants du bâtiment, au nombre de 90, étaient constitués principalement de jeunes familles. Les frais de chauffage et d'eau chaude étaient inclus dans le bail des locataires.

Le bâtiment a été instrumenté lors de sa construction afin de mesurer sa performance énergétique et comparer les deux systèmes de construction. Des capteurs ont été installés dans huit des 40 logements, soit ceux situés dans les quatre coins inférieurs et supérieurs de l'immeuble. Ce sont au total environ 350 capteurs qui ont été installés à différents endroits dans le bâtiment pour enregistrer des données telles que la température, l'humidité et les flux de chaleur (Figure 1). Des mesures ont été prises et enregistrées à toutes les 10 minutes pendant plus de 3 ans (38 mois). L'ensemble des données mesurées dans cette étude est présenté au Tableau 2.

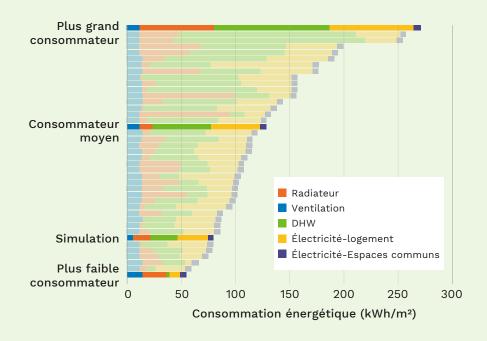


Figure 2 Une grande variation parmi la consommation des 40 logements étudiés

Suivi de la performance énergétique

Une évaluation post-occupationnelle du bâtiment a permis de dresser un portrait de son comportement thermique. Cette analyse a mené à des premiers résultats intéressants ; elle a révélé une grande variation de consommation énergétique et de confort thermique entre les logements (Figure 2).

En effet, malgré leur similarité, une grande disparité a été observée dans la consommation énergétique des logements à l'étude. Chez le plus petit consommateur, la demande fut de 54,1 kWh/m² par année alors qu'elle fut de 273,0 kWh/m² pour le logement qui a consommé le plus. La consommation énergétique moyenne pour l'ensemble des logements fut quant à elle de 129,3 kWh/m², Parmi l'ensemble des 40 logements étudiés, seulement six d'entre eux ont moins consommé que ce que les simulations énergétiques avaient prédites (74,3 kWh/m²), la grande majorité étant supérieure à cette valeur.

Les résultats ont démontré que le chauffage, l'eau chaude domestique et les appareils électriques occupent une part égale dans la distribution des besoins en énergie du bâtiment (Figure 3)). Alors que dans une habitation

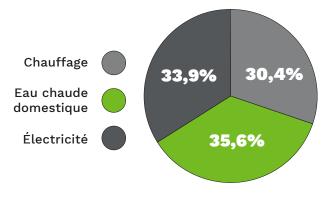


Figure 3 Répartition de la consommation énergétique du bâtiment à l'étude du bâtiment

typique c'est environ 60% de l'énergie consommée qui est vouée au chauffage des espaces, dans le bâtiment à l'étude environ 30% de la demande en énergie est consommée par les radiateurs et par les serpentins de chauffage des systèmes de ventilation. La faible part que prend le chauffage des espaces dans la répartition de la consommation énergétique est un aspect qui distingue Les Habitations Trentino des habitations typiques. Même si le bâtiment n'a pas atteint les objectifs initiaux en matière de performance énergétique, cet écart avec les bâtiments moyens démontre l'efficacité des mesures prises pour minimiser la demande en chauffage de ce bâtiment d'habitation. Ces mesures

MARS 2020

permettent de diminuer le rôle du chauffage dans le bilan énergétique et de céder du terrain à la consommation d'eau chaude, l'utilisation de l'éclairage et des appareils électriques.

Les variations inter-logements sont non seulement présentes pour la consommation énergétique, mais également lorsqu'on compare la présence de surchauffe. Pendant l'été, certains logements ont régulièrement un environnement intérieur trop chaud pour être considéré comme étant confortable selon les standards alors que d'autres logements ne vivent pas ce problème. Parmi les logements les plus chauds, on dénote que pendant 57% de la saison estivale il y a de la surchauffe. De juin à août, la température intérieure dans les logements les plus chauds dépasse 28°C en moyenne trois heures par jour. Cela montre qu'il est important de considérer cet élément lors de la conception de bâtiments n'ayant pas de climatisation.

« Malgré leur similarité, une grande disparité a été observée dans la consommation énergétique des logements à l'étude. >>

Un des objectifs de cette thèse était de comparer la performance énergétique d'appartements avec une structure légère de bois à celle d'appartements employant du CLT. En termes de demande de chauffage, les données ne montrent pas de différences notables entre les appartements ayant une structure légère de bois et ceux misant sur les panneaux massifs de CLT. L'ajout de masse thermique ne semble pas modifier la quantité globale de chaleur à fournir aux logements. Par contre, les données de température mesurées ont démontré que les appartements en CLT sont plus chauds en été et donc moins confortables que ceux en ossature légère. Les simulations ne suggèrent quant à elles aucune distinction entre les deux types de structures. Cette disparité dans les mesures prises sur le site peut potentiellement

être expliquée par le fait que le bloc en ossature légère soit plus ombragé durant l'été que le bloc en CLT. Ce dernier a aussi une orientation plus rapprochée du Sud.

Étude de l'influence des occupants

Lors de la conception de bâtiments, la diversité du comportement des occupants est habituellement négligée. Des profils typiques d'occupants basés sur des moyennes sont souvent utilisés pour représenter les occupants dans les simulations énergétiques de bâtiments. Étant donné la grande influence que les occupants peuvent avoir sur la performance d'un bâtiment, cette hypothèse d'un comportement typique peut affecter la justesse des résultats de simulation. Les travaux de Jean Rouleau ont donc cherché à savoir comment les différents comportements des occupants peuvent influencer la performance globale de logements ainsi que le dimensionnement de systèmes mécaniques.

Les résultats obtenus démontrent que la demande en chauffage est particulièrement sensible à l'étage où se situe un logement, au taux d'ouverture des fenêtres en hiver, à la consommation d'électricité et à la température de consigne. La consommation totale d'énergie est influencée par ces mêmes paramètres, mais aussi par la consommation d'eau chaude. Une basse température de consigne pour le système de chauffage combinée à une faible utilisation des appareils électriques mène à des environnements intérieurs trop froids pour être confortables. D'un autre côté, surconsommer de l'électricité peut être néfaste en termes de confort thermique puisque la chaleur générée par les appareils électroniques engendre de la surchauffe. Par rapport aux aspects comportementaux, l'orientation n'a pas d'influence significative sur la consommation énergétique d'un logement et le confort thermique qu'il offre à ses occupants. Il en va de même pour la quantité de masse thermique dans l'enveloppe du logement. Ce dernier point contredit ce qui est observé réellement dans le bâtiment, où l'ajout de masse thermique (appartements en CLT) semblait provoquer plus de surchauffe durant l'été.

Des simulations ont été effectuées pour quantifier l'impact des occupants sur la performance énergétique des bâtiments résidentiels. Ces simulations se basent sur un outil

stochastique du comportement des occupants développé durant cette thèse. Les résultats obtenus par ces simulations montrent que la demande en chauffage d'un logement, sa consommation totale d'énergie et son confort thermique sont très sensibles aux gestes posés par les occupants. Un modèle de régression linéaire a également été construit à partir des résultats de simulation pour mesurer l'influence des divers paramètres. Un bâtiment à plusieurs unités logements est moins robuste au comportement des occupants qu'une maison unifamiliale, mais les résultats suggèrent qu'il demeure difficile de prévoir avec exactitude la performance d'un bâtiment multirésidentiel si l'aspect stochastique du comportement des occupants est négligé. L'utilisation de profils plus précis du comportement des occupants peut aussi améliorer le dimensionnement des systèmes mécaniques, notamment les systèmes d'eau chaude.

Conclusion

Cette étude aura permis de démontrer l'importance du rôle des occupants dans la consommation énergétique des bâtiments. Bien que les détails de conception et la qualité de la construction soient importants pour atteindre de hauts standards d'efficacité énergétique, le comportement des occupants l'est tout autant. Il a expliqué les grandes variations de consommation énergétique entre les 40 logements à l'étude. Plus précisément, l'utilisation du chauffage et de l'eau chaude domestique expliquent une grande partie des différences de consommation énergétique des logements. Le rôle de l'occupant explique également les écarts entre le comportement réel du bâtiment et le comportement anticipé dans les simulations.

Bien que les objectifs initiaux de performance énergétique n'ont pas été rencontrés, les Habitations Trentino présentent tout de même des besoins en chauffage réduits en comparaison à la moyenne des habitations. Le système structural n'a pas semblé affecter la consommation énergétique des logements, mais les logements construits en CLT ont semblé moins confortables en été.



Partenaires du CIRCERB



Partenaires majeurs Cecobois

