REFROIDISSEMENT PASSIF : OUTIL D'ÉVALUATION ET D'AIDE À LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Hugues Boivin, ing., M.Sc.[1], André Potvin, Ph.D., M.Arch.[2]

[1]CIMA+, Société d'ingénierie, Québec, Canada, www.cima.ca
[2]GRAP (Groupe de recherche en ambiances physiques), École d'architecture, Université Laval, Québec, Canada, www.grap.arc.ulaval.ca

RÉSUMÉ

Cet article présente une méthode simplifiée qui permet aux concepteurs de bâtiments de vérifier en phase préconcept, de façon sommaire et interactive, l'influence des principaux choix architecturaux sur la capacité à refroidir un bâtiment par la ventilation naturelle. Les outils de simulation sont depuis longtemps un atout pour les études en contrôle de l'environnement. Toutefois, très peu offrent une simple évaluation du dimensionnement des ouvertures au stade préconcept sans devoir y investir un minimum d'apprentissage.

L'outil informatique développé dans le cadre de cette recherche, HUVENT, permet de supporter les concepteurs de bâtiments ventilés naturellement par rapport à l'orientation du bâtiment, la disposition et le dimensionnement des ouvrants. L'outil HUVENT vise à reconnaître et à respecter la démarche « d'essais-erreurs » propre au processus de conception. Le besoin pour un tel outil s'est fait sentir par les auteurs lors de leurs activités d'enseignement en ateliers avancés d'architecture et des travaux de consultation dans le cadre de divers projets professionnels. Une étude de validation de l'outil a été effectuée et celle-ci démontre que les résultats de HUVENT suivent la même tendance que les résultats obtenus par le logiciel éprouvé AIOLOS (Dascalaki E. et al. 1998).

INTRODUCTION

Cette présente recherche s'inscrit dans le contexte très présent des changements actuels du climat planétaire. Le réchauffement du climat québécois entraîne une plus grande contrainte en climatisation et implique une redistribution mensuelle de la consommation énergétique des mois d'hiver vers les mois d'été. Pour la ville de Québec, l'effet du réchauffement pourrait induire une augmentation de la consommation d'électricité en climatisation de l'ordre de 141% et une réduction de la consommation d'électricité en chauffage de 20% d'ici 2015 (Bergeron 1997).

De plus, en réponse à des nouveaux standards de vie des occupants, une généralisation de l'usage de la climatisation pour les nouvelles constructions est en cours et ce qui n'est pas sans conséquence environnementale. De nos jours, au Canada, plus de quatre nouveaux bâtiments commerciaux et institutionnels sur cinq sont climatisés au moins en partie (voir figure 1 ci-dessous). La consommation d'énergie qui y est associée a augmenté de 48% de 1990 à 2001 (37 à 55 PJ) et les émissions de gaz à effet de serre reliées à l'utilisation de l'énergie nécessaire à l'opération des refroidisseurs des systèmes CVAC a augmenté de 62% (2,1 à 3,4 Mt) pour cette même période (Ressources Naturelles Canada 2003). Un compte à rebours alarmant est enclenché et il faut agir rapidement avant que le réchauffement climatique ne vienne limiter les possibilités de refroidissement passif par la ventilation naturelle.

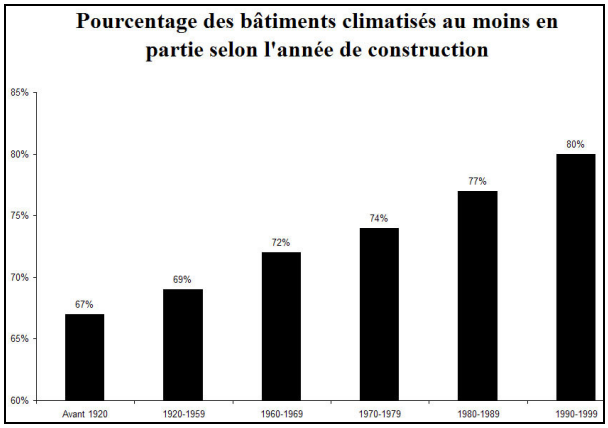

Figure 1 - Pourcentage des bâtiments climatisés au moins en partie selon l'année de construction (Ressources Naturelles Canada 2003)

On assiste actuellement à une mouvance de la science du bâtiment vers une ré humanisation de la technologie du confort en redonnant à l'utilisateur le moyen de

modifier et d'adapter son environnement immédiat par la mise en place de systèmes d'ouvrants. Il apparait clairement de la littérature consultée que les occupants manifestent un plus grand taux de satisfaction et présentent un plus grand degré de tolérance aux variations de conditions thermiques de leur environnement intérieur s'ils peuvent y exercer un certain contrôle.

La conception d'un bâtiment ventilé naturellement implique un dimensionnement adéquat et un positionnement stratégique des ouvrants en fonction des patterns de circulation d'air. Le Code national du bâtiment spécifie, en pourcentage de superficie de plancher, la superficie minimale d'ouvrants nécessaires à des fins de qualité de l'air intérieur. Outre cette balise, le concepteur dispose de peu de repère quant au dimensionnement et à la configuration des ouvrants pour satisfaire un degré de confort thermique. Le manque de méthodes de conception valides et l'incertitude quant aux performances des technologies durables explique l'hésitation des concepteurs à développer la ventilation naturelle (Breesch et Janssens 2000).

Les concepteurs requièrent donc des outils flexibles, simples et rapides qui peuvent être utilisés très tôt dans le processus de conception afin d'évaluer l'impact des premières décisions et ainsi être en mesure de convaincre les différents intervenants de l'approche préconisée.

MÉTHODOLOGIE

Le modèle analytique de HUVENT est basé essentiellement sur l'équation fondamentale de Bernoulli reprise par d'autres méthodes simplifiées telle que celle développée par Axley (Axley et al. 2002). Théorème à la base de la mécanique des fluides, l'équation de Bernoulli met en relation la vitesse d'un écoulement au travers une ouverture en fonction de son degré de pressurisation une fois le débit établi en régime permanent en conditions d'équilibre de masse (ASHRAE 2001).

Ce qui distingue particulièrement le modèle HUVENT des outils disponibles aux concepteurs relève du fait que la dimension de l'ouvrant n'est pas considérée comme une donnée d'entrée mais plutôt comme une donnée de sortie qui offre une réponse révélatrice et qui confère une signification à l'architecte. La spécificité de HUVENT réside ainsi dans sa possibilité de pouvoir faire une démarche inverse aux méthodes existantes, i.e. de fournir la dimension d'ouvrant nécessaire par mur extérieur de l'espace étudié qui permet d'évacuer efficacement la surchauffe du bâtiment.

Plus précisément, la méthode développée permet d'évaluer en fonction de la pression éolienne et de l'effet de cheminée disponible, la superficie d'ouvrant nécessaire afin que les gains thermiques totaux du bâtiment soient compensés par la capacité de refroidissement disponible sous forme sensible par le différentiel de température retrouvé entre l'air intérieur et le flux d'air extérieur admis par les ouvrants. La figure 2 illustre en un diagramme les principales équations et les interactions entre chacune des variables du modèle HUVENT.

En finalité, la dimension d'ouvrant calculée par HUVENT correspond à une valeur basée sur les statistiques des données météorologiques horaires (orientation et vitesse du vent, température et humidité relative). Pour chacune des heures où les conditions hygrothermiques sont *favorables* à la ventilation naturelle, la dimension calculée d'ouvrant par mur extérieur de l'espace étudié permet d'offrir des conditions thermiques confortables pour un certain pourcentage de temps. Ce critère de performance est fixé par le concepteur.

HUVENT est un modèle à simple zone informatisé dans un tableur et prend en considération les caractéristiques suivantes:

- quelconque climat par l'utilisation de fichiers climatiques standardisés en format CWEC/IWEC/WYEC;
- la période annuelle favorable au refroidissement passif est détectée et isolée automatiquement du calendrier annuel;
- gains thermiques totaux du bâtiment et pertes thermiques par conduction de l'enveloppe;
- localisation du site du bâtiment (obstructions avoisinantes, conditions du terrain et du milieu bâti);
- orientation et hauteur du bâtiment;
- dimension de l'espace étudié;
- orientation des ouvertures (ventilation transversale ou ventilation par une seule façade);
- position verticale des ouvrants (effet de cheminée).

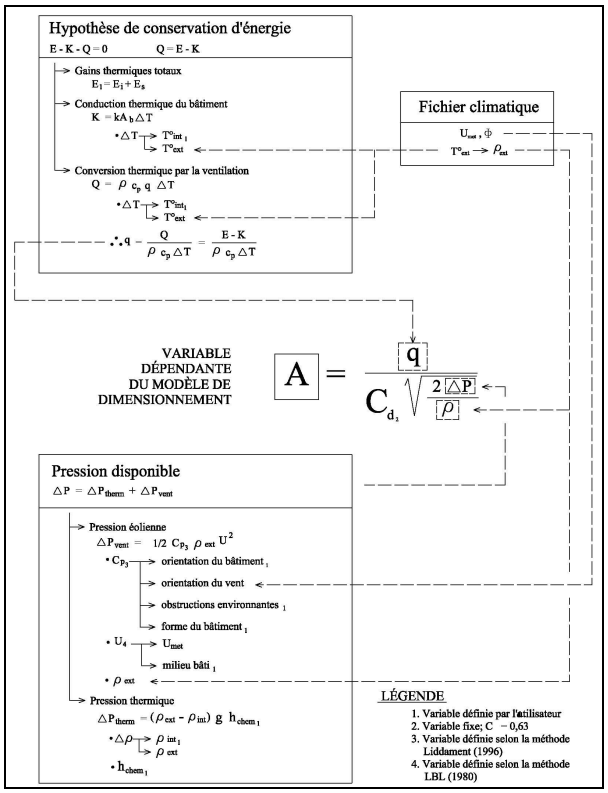

Figure 2 - Diagramme des équations du calcul de dimensionnement des ouvertures selon un critère de confort thermique

INTERFACE

HUVENT est développé sur le logiciel Excel™ (Microsoft Corporation 2003), afin d'être facilement accessible par le concepteur et d'utiliser le grand potentiel d'études comparatives de type paramétrique de ce support. Le processus itératif d'ajustement des déterminants physiques est très bien adapté au principe similaire d'itérations dans le processus de création architecturale (Potvin et al. 2004).

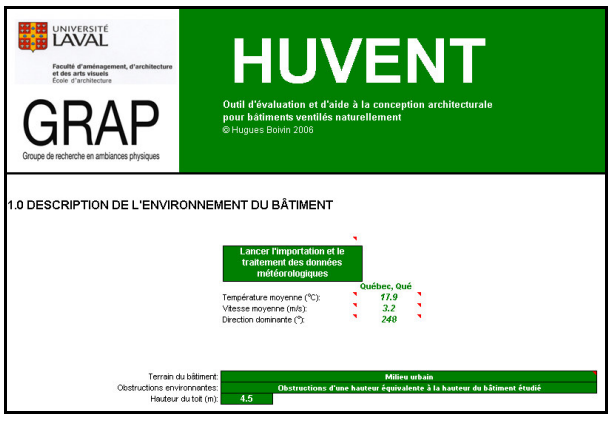

Figure 3 - Interface de modélisation

La procédure d'utilisation de l'interface est présentée sous la forme d'un diagramme à la figure 4. Le processus est composé de six grandes étapes que sont la description de l'environnement du bâtiment, les paramètres physiques du bâtiment, la description architecturale du bâtiment, le positionnement des ouvertures, le dimensionnement des ouvertures, et enfin, la journalisation du scénario étudié. L'utilisateur peut, grâce à cette dernière fonctionnalité, tester par la suite l'influence de certains paramètres architecturaux en modifiant les valeurs entrées et en relançant un nouveau calcul de dimensionnement.

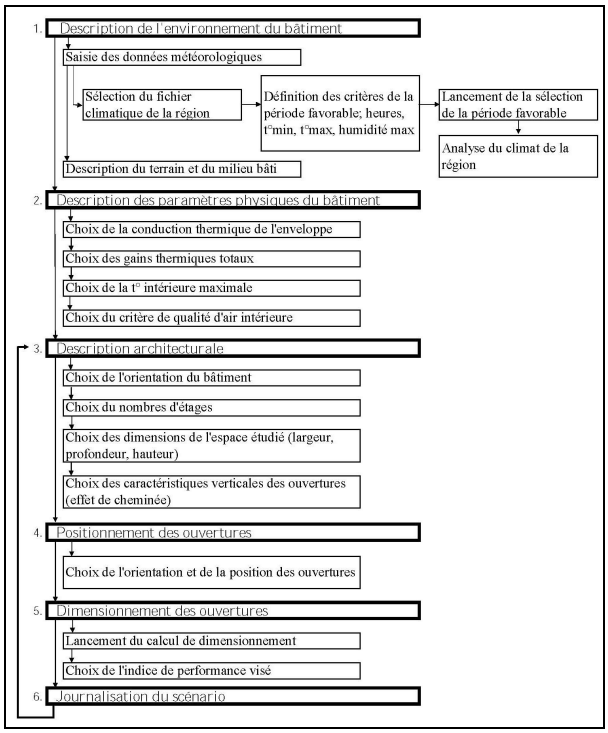

Figure 4 - Diagramme de la procédure d'utilisation de l'outil HUVENT

L'interface permet au concepteur d'analyser en détails les degrés de pression naturelle de chacun des murs extérieurs de l'espace étudié et de cibler les façades les plus avantageuses à traiter et de déterminer la position verticale des ouvertures afin de tirer plein profit du potentiel de l'effet de cheminée. Les orientations et le positionnement vertical des ouvertures sont ajustés par le concepteur pour assurer le flux de ventilation maximal. L' « état » de pressurisation de chacune des façades est indiqué à l'utilisateur par un code de couleur attribué aux débits volumétriques (voir figure 5). Les façades en « pression positive » sont en bleues et la façade la plus pressurisée du bâtiment a une trame de fond bleue. Les façades en « pression négative » sont en rouge et la façade la plus sous-pressurisée du bâtiment a une trame de fond rouge.

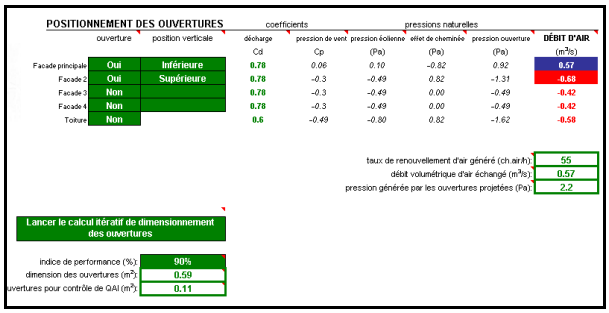

Figure 5 - Interface de modélisation; positionnement et dimensionnement des ouvertures

Pour conserver l'état d'équilibre massique, l'espace étudié ne peut admettre plus d'air qu'il n'en évacue. Donc, pour générer une circulation d'air, le concepteur doit penser à positionner des ouvertures sur une ou des façades en « pression positive » (les façades pressurisées peuvent admettre de l'air) et aussi sur une ou des façades en « pression négative » (les façades sous-pressurisées peuvent évacuer de l'air). Ainsi, pour créer un flux maximal, le concepteur a intérêt à disposer des ouvertures sur la façade la plus « pressurisée » et sur la façade la plus « sous-pressurisée ».

Le concepteur détermine ainsi sur quelle(s) façade(s) les ouvrants sont disposés en choisissant « oui » ou « non »; oui signifiant que la façade dispose d'ouvrants. Ces informations permettent notamment à l'outil de détecter si l'espace se trouve dans une situation de ventilation transversale ou de ventilation par une seule façade.

VALIDATION

Une étude de validation a été réalisée dans le but de vérifier la conformité de l'outil HUVENT et d'en soulever ses limites. Plus spécifiquement, l'étude de validation a pour objectif de vérifier que HUVENT peut mesurer correctement, sur une base relative, l'influence de certains choix architecturaux quant à leur capacité à refroidir un bâtiment par la ventilation naturelle.

Afin de valider les résultats de l'outil HUVENT, ceux-ci ont été comparés aux résultats obtenus par des méthodes éprouvées et reconnues par la science du bâtiment et dont le degré de représentativité de leur méthode est équivalent à celui de HUVENT. Entre autres, les résultats de HUVENT ont été comparés à ceux obtenus par le logiciel AIOLOS, logiciel qui a été testé et validé lors de nombreuses expérimentations dans le cadre des travaux du projet PASCOOL. La comparaison inter modèle est fréquemment utilisée afin d'évaluer la précision et la fonctionnalité des outils de simulation (Guimont 2002).

L'étude comparative des deux méthodes a permis de démontrer que les résultats de HUVENT présentent une bonne concordance tendancielle avec les résultats obtenus par AIOLOS (voir figure 6). HUVENT génère des résultats logiques et cohérents avec les principes physiques impliqués. Par contre, il faut rappeler que les modèles analytiques simplifiés, tels que HUVENT, demeurent des méthodes approximatives qui doivent être utilisées avec précautions (Allard 1998).

Considérant que HUVENT vise à assister les concepteurs à prendre des décisions architecturales aux étapes préconcepts et que ce qui leur importe à ce stade-ci c'est de pouvoir mesurer, sur une base relative, l'influence d'un choix architectural sur un autre. Dans ce sens, ce qui est décisif pour le concepteur c'est de pouvoir comparer des scénarios architecturaux et d'en évaluer leurs impacts en ce qui a trait à la proportion.

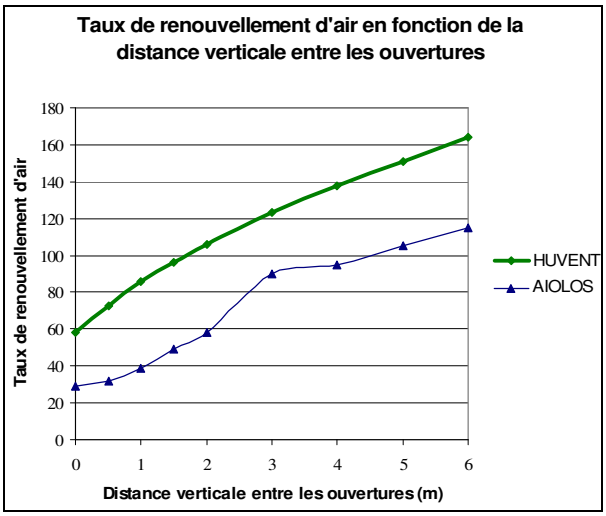

Figure 6 - Résultats de l'analyse comparative des modèles HUVENT et AIOLOS

ANALYSE CLIMATIQUE

Sous notre climat dominé par des besoins en chauffage, l'applicabilité et l'intégration de la ventilation naturelle sont souvent remises en question. Cette section dresse un portrait comparatif des climats québécois et Nord européen en ce qui a trait au potentiel d'application du refroidissement passif par la ventilation naturelle. L'outil HUVENT peut être utilisé pour ce type d'analyse. La fonction de HUVENT qui permet de sélectionner la période *favorable* des données météorologiques annuelles est utilisée afin de comparer, pour des villes données, cette portion annuelle où les conditions météorologiques conviennent au refroidissement passif.

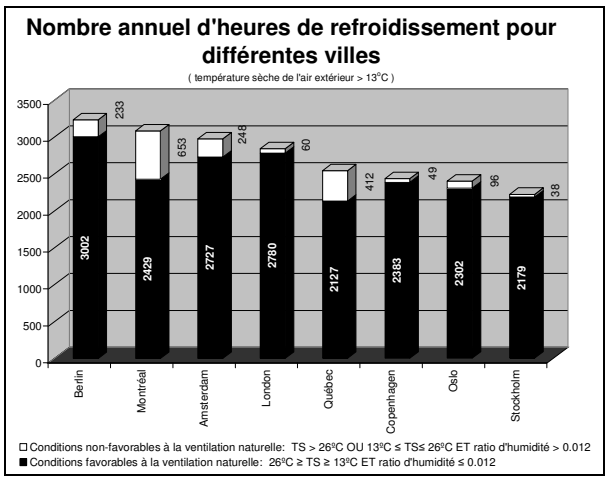

Figure 7 - Analyse du nombre d'heures de refroidissement de Québec et Montréal en comparaison avec différentes villes nord-européennes

L'analyse des fichiers météorologiques réalisée par HUVENT démontre que Québec présente un nombre d'heures annuelles favorables similaire à Copenhague au Danemark (voir figures 8 et 9) où la ventilation naturelle n'est plus remise en question comme stratégie de refroidissement des bâtiments.

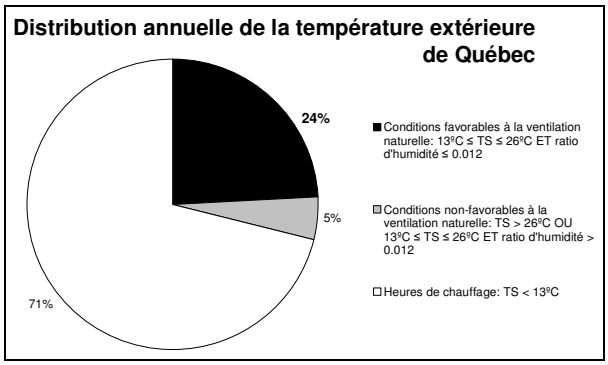

Figure 8 - Distribution annuelle de la température extérieure de Québec

Toutefois au Québec, contraints par une étroite plage de confort thermique régie par les normes en vigueur et les exigences réglementaires en matière de qualité d'air intérieur, les ingénieurs se doivent professionnellement de doter les bâtiments de systèmes de contrôle de l'humidité, de ventilation et de refroidissement mécaniques. Avec le cadre législatif actuel, il apparaît inévitable que les bâtiments institutionnels montréalais soient également dotés de climatisation mécanique et ce, malgré une haute qualité de conception et des gains internes modérés (Bourgeois et al. 2004). Ainsi, toute aspiration à une réduction sur le coût d'immobilisation du capital lié à la qualité d'air intérieur par la ventilation naturelle ou hybride est pratiquement sans fondement.

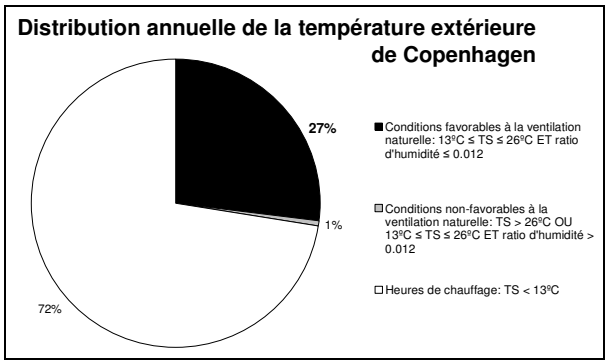

Figure 9 - Distribution annuelle de la température extérieure de Copenhague

CONCLUSION

L'analyse des outils existants et la lecture de la littérature sur l'intégration de la simulation informatique au processus de conception permettent de constater une problématique générale : les outils existants ne sont pas appropriés aux besoins des architectes qui ne peuvent ainsi participer efficacement au processus de prise de décision. Dans le contexte actuel de préoccupations hygiéniques, énergétiques, économiques et environnementales, le processus de conception des bâtiments s'est considérablement complexifié et les concepteurs doivent maintenant valider leurs hypothèses de design du comportement physique à l'aide d'outils souvent issus de domaines professionnels connexes, mais encore distants d'un point de vue de langage professionnel de travail. Il y a un réel besoin d'outils flexibles, simples et rapides qui peuvent être utilisés très tôt dans le processus de conception afin d'évaluer sommairement l'impact des premières décisions et ainsi être en mesure de convaincre les différents intervenants de l'approche préconisée (Balcomb 1998; Lewis et Lunneberg 2001).

HUVENT permet, grâce à une interface simple et orientée vers les besoins des architectes, de supporter les concepteurs de bâtiments ventilés naturellement par rapport à l'orientation du bâtiment, la disposition et le dimensionnement des ouvrants dans le but de maintenir un confort thermique aux occupants en période de surchauffe.

Dans le contexte actuel d'*hyper climatisation*, et considérant que le compte à rebours sur le réchauffement du climat est bien enclenché et que les opportunités de refroidissement passif seront de plus en plus limitées, il apparait urgent que les décideurs publics, concepteurs et propriétaires de bâtiments endossent une position idéologique qui saura favoriser une ré humanisation des environnements intérieurs et qui saura stimuler les occupants à développer une plus

grande tolérance aux fluctuations thermiques. Sans changement de comportement, il n'y aura pas de transformation des marchés ni de développement durable (AQME 2004).

Au cours des dernières années, dans le cadre de travaux de consultation du GRAP en matière de la construction bioclimatique, les auteurs de cette recherche ont participé activement au processus de conception de récentes réalisations[1]. Ces expériences ont permis de constater le défi important que pose l'intégration de stratégies passives dans le climat et la législation québécoise auprès des concepteurs de bâtiments.

RÉFÉRENCES

Allard, F. (1998). *Natural Ventilation in Buildings A design Handbook*, James & James, London.

AQME. (2004). *Pour mieux comprendre la complexité de l'efficacité énergétique et sa contribution au secteur énergétique du Québec*. Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie.

ASHRAE *Handbook Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA (2001).

Axley, N., Emmerich, S.J., A method to assess the suitability of a climate for natural ventilation of commercial buildings. *Indoor Air* (2002).

Balcomb, J. D. (1998). The coming revolution in building design. P. L. A. Award, ed., *Passive and Low Energy Architecture*, Lisbon, Portugal.

Bergeron, L. (1997). *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat*. Association de climatologie du Québec.

Bourgeois, D., Haghighat, F., et Potvin, A. (2004). Making the case for hybrid ventilation and adaptive comfort theory in Canada: conclusions drawn from a literature review. Actes de conférence *IAQVEC 2004, the 5th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Toronto, Canada.

Breesch, H., et Janssens, A. (2000). *How to apply building simulation tools in the design of natural and hybrid ventilation*. Actes de conférence FTW PhD Symposium, University Ghent , Belgium.

Dascalaki, E., Klitsikas, N., et Santamouris, M. (1999). The AIOLOS software version 1.0. Commision of the European Communities, Athens, Greece.

Guimont, P. (2002). *Méthode d'évaluation de la climatisation passive par l'usage de la masse thermique et de la ventilation nocturne dans les immeubles administratifs au Québec*. Mémoire, Université Laval, Québec, Canada.

Lewis, M., et Lunneberg, T. A. (2001). Applying simplified simulation tools and techniques to the design of new commercial buildings. Actes de conférence *IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil.

Microsoft Corporation (2003), Office Excel.

Potvin, A., Demers, C., et Boivin, H. (2004). PET - Les profils d'équilibre thermique comme outil d'aide à la conception architecturale. Actes de conférence *eSIM2004*, Vancouver, BC.

Ressources Naturelles Canada. (2003). *Guide de données sur la consommation d'énergie, 1990 et 1995 à 2001*. Office de l'efficacité énergétique, Ottawa, ON.

[1] Pavillon Eugene-H-Kruger (2005) et le Pavillon CIFSS (en construction) à l'Université Laval, Québec, Canada, le siège social de la Caisse de dépôt et placement du Québec (2003) à Montréal, Québec, Canada et le Laboratoire d'expertise en pathologie animale du Québec (en cours) à Québec, Canada.