REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES AVANTAGES ET LIMITES DES MÉTHODES DE MODÉLISATION DES BÂTIMENTS À DES FINS D'INTERVENTION COMMERCIALE : LE CAS D'HYDRO-QUÉBEC

Michel Parent, Patrice Raymond
Technosim Hydro-Québec
mparent@technosim.com, raymond.patrice@hydro.qc.ca

RÉSUMÉ

La modélisation énergétique de bâtiments commerciaux existants, dans le but d'identifier la répartition de la consommation entre les différents usages, est une tâche fréquemment accomplie par différents intervenants du secteur de l'efficacité énergétique, dont les entreprises de service public, les entreprises de services éconergétiques, les ingénieurs conseils, etc. Étant donné les contraintes de temps et d'apprentissage reliées à une modélisation détaillée des bâtiments commerciaux, plusieurs approches simplifiées sont employées afin d'obtenir la répartition de la consommation d'énergie. La majorité de ces approches se base sur les données de facturation afin de calibrer une simulation ou même de construire l'ensemble du modèle. Afin de déterminer les contraintes et les limites de cette approche ainsi que les autres options de modélisation pouvant être employées, sur une base régulière, pour des bâtiments existants, une revue de la littérature technique sur les méthodes de modélisation des bâtiments commerciaux devant reproduire des données de facturation, ou encore du mesurage plus détaillé, fut effectuée.

La principale observation qui ressort de la revue de littérature est qu'une méthode unique d'analyse et de modélisation des bâtiments commerciaux ne peut être appliquée à grande échelle, par exemple dans le cadre d'audits énergétiques, sans introduire de sérieux problèmes de justesse des analyses ou, à l'opposé, un niveau d'effort injustifié.

INTRODUCTION

Un grand nombre d'intervenants, souvent reliés à des entreprises de services publics, utilisent des modèles empiriques fondés sur des relevés d'équipement (puissance installée), des règles du pouce (coïncidence de charge et heures d'utilisation) et la facture réelle de leurs clients pour répartir la consommation énergétique entre les usages et les équipements de bâtiments commerciaux. Ceci de manière à identifier l'impact de mesures correctives sur la facture du client. Dans la majorité des cas, les valeurs réelles fournies par la facture constituent un point de repère important pour expliquer et justifier auprès du client l'orientation qu'ils lui proposent.

Cette valeur perçue de présenter une analyse énergétique épousant le profil de consommation facturée a amené l'utilisation d'un modèle d'analyse par régression linéaire par certains intervenants du milieu pour l'analyse de la consommation des bâtiment commerciaux. Beaucoup d'utilisateurs sont séduits par les avantages de cette méthode d'analyse par régression dû à sa simplicité d'utilisation et son cycle court d'analyse.

L'évolution de l'approche commerciale d'Hydro-Québec commande l'utilisation d'outils d'analyse les mieux adaptés pour réaliser des diagnostics énergétiques et pour proposer au client des solutions techniques adaptées à ses besoins.

Sachant qu'une approche de modélisation détaillée peut répondre en partie à ces nouvelles exigences, il existe néanmoins des réserves quant à l'utilisation d'une telle approche : elle s'adapte plus difficilement à la reproduction de la facture; elle exige de l'utilisateur une expertise accrue au niveau des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) et de l'enveloppe du bâtiment; le risque d'erreur d'interprétation des données recueillies est plus élevé; les cycles d'analyse sont plus long.

Les modèles doivent généralement servir à établir la répartition de la consommation selon différents usages et estimer l'impact de mesures d'optimisation de la consommation et de la puissance sur la facture d'un client.Toutefois, les limites d'applicabilité des différentes méthodes d'analyse des bâtiments commerciaux poussent Hydro-Québec à vouloir connaître les différentes options qui sont possibles pour effectuer ce type d'intervention ainsi que les limites de chaque méthode.

MÉTHODE

Pour atteindre l'objectif principal du projet, une revue de la littérature technique sur les méthodes de modélisation des bâtiments commerciaux qui doivent

reproduire des factures énergétiques réelles, ou des mesures, fut effectuée. Une première revue a été effectuée à partir des articles techniques disponibles sur le site Web de l'ASHRAE (American Society of Heating and Air-Condtioning Engineers) ainsi que de ceux référés au chapitre 30 du ASHRAE Handbook – Fundamentals 1997. Cette revue fut jumelée à une recherche sur les principales banques de données techniques, tel Engineering Index et Energy Science and Technology, afin de compléter la revue pour la période entre 1995 et 2000. Les articles pertinents ont été commandés pour procéder à une évaluation détaillée afin de faire ressortir les forces, les faiblesses et les limites de différentes méthodes répertoriées.

Enfin, à la lumière des résultats de la recherche et de l'expérience notre expérience dans l'utilisation et le développement de logiciels de modélisation de bâtiments commerciaux, des orientations possibles de développement et d'utilisation des différentes méthodes sont proposées.

REVUE DES MÉTHODES D'ANALYSE

La revue de littérature a permis d'identifier 4 familles d'approches différentes servant à l'analyse énergétique des bâtiments commerciaux. Ces différentes méthodes d'analyse diffèrent en complexité ainsi qu'au niveau des objectifs visés lors de leur utilisation. Il est à noter que les méthodes complexes de reconnaissance de forme, tel les réseaux de neurones, ont été exclues de l'analyse.

La revue de littérature démontre qu'il n'existe pas de solution unique applicable de manière raisonnable à l'ensemble des bâtiments commerciaux. La diversité des bâtiments, des systèmes, des vocations et les variations d'usage au sein même d'un bâtiment rend l'analyse énergétique de ceux-ci particulièrement difficile. Pour les mêmes raisons, la comparaison directe entre bâtiments en apparence similaires est parfois sujette à une large incertitude.

De manière générale, l'approche à adopter pour l'analyse énergétique d'un bâtiment va dépendre des objectifs visés par l'analyse, de l'information disponible sur le bâtiment et de la complexité du bâtiment. Il est donc peu probable qu'une approche unique sera utilisable pour l'ensemble d'un parc de bâtiments commerciaux.

Indices énergétiques globaux

La méthode la plus simple d'analyse de consommation se base sur les indices unitaires globaux, dont la plus fréquente est la consommation annuelle totale par unité de surface. Des études ont parfois utilisé cet indicateur pour évaluer l'économie d'énergie attribuable à des mesures d'efficacité énergétique par l'analyse des factures avant et après l'implantation de celles-ci (1) ou pour comparer l'efficacité énergétique de bâtiments en apparence semblables.

Une approche souvent employée pour interpréter les indices globaux consiste à utiliser une valeur typique normale, provenant soit de moyennes ou d'un bâtiment considéré comme représentatif, afin d'évaluer la performance d'un bâtiment spécifique. Les bâtiments démontrant une intensité énergétique anormale peuvent alors faire l'objet d'une analyse plus approfondie. La densité de puissance est également un indicateur global fondamental dans l'analyse de premier niveau d'un bâtiment.

Toutefois, une telle analyse ne révèle pas nécessairement un potentiel d'efficacité énergétique ou des anomalies de fonctionnement puisque plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences d'intensité énergétique ou de densité de puissance pour des bâtiments apparemment similaires (1). Une normalisation de l'intensité énergétique est parfois employée pour tenter de réduire l'influence de paramètres indépendants comme la température. La correction par l'utilisation des degés-jours de chauffage est une technique relativement courante (ref. Poly-Energie, communication personnelle). Cependant, cette méthode présuppose que la consommation du bâtiment est entièrement proportionnelle à la température et que les variations annuelles ne sont attribuables qu'à ce facteur. Cette hypothèse est rarement applicable dans le secteur commercial. De plus, l'incertitude générale associée aux indices globaux en limite l'utilisation et tout raffinement dans la méthode d'analyse sera obligatoirement restreint par cette incertitude de base.

La répartition entre chauffage, climatisation et les autres usages de l'intensité énergétique est peu appropriée étant donnée le haut niveau d'incertitude reliée à cette méthode très macroscopique d'analyse et aux méthodes également empiriques habituellement utilisées pour répartir l'intensité énergétique en différentes composantes.

Avantages de la méthode :

- Le principal avantage d'une méthode d'analyse par indices globaux repose sur sa simplicité et la rapidité d'évaluation.

- La méthode permet une comparaison rapide de la consommation d'un même bâtiment d'une année à l'autre et ainsi servir d'outil de diagnostic de premier niveau de l'ensemble de la consommation.
- La méthode permet une comparaison d'un bâtiment donné par rapport à une valeur moyenne pour les bâtiments du même type et ainsi servir à détecter des problèmes potentiels ou prioriser des interventions.

Limites de la méthode :

- La méthode ne permet pas de connaître les raisons d'un écart de consommation unitaire d'une année à l'autre pour un même bâtiment.
- La méthode ne peut servir à identifier un potentiel d'efficacité énergétique ou des anomalies de consommation sur la base d'une comparaison entre un bâtiment donné et une valeur de référence.
- La méthode ne peut servir à répartir de manière juste la consommation entre les usages.
- La normalisation des indices globaux est souvent futile puisque les causes réelles de variations peuvent être multiples et non reliées au paramètre de normalisation (ex. température)

Méthode par régression simple

Les méthodes d'analyse par régression simple ont été utilisées avec un certain succès dans le secteur résidentiel pour modéliser le comportement en chauffage. Le modèle le plus connu est PRISM (Princeton Scorekeeping Method).

De façon générale, cette méthode analyse les données de facturation mensuelle d'une résidence et subdivise la consommation en deux composantes, soit une composante de charges fixes, constantes sur toute l'année, et une composante provenant du chauffage des locaux, qui varie linéairement avec la température extérieure. Le modèle ne traite donc qu'une seule variable indépendante, la température extérieure. Toute variation de consommation dont le comportement n'est pas proportionnel à la température extérieure entraînera une violation des hypothèses du modèle et une erreur dans la modélisation du bâtiment.

Pour les bâtiments commerciaux, les gains solaires, les horaires d'exploitation, les gains internes, l'humidité, l'utilisation de climatisation gratuite et les horaires de ventilation variables ont souvent une grande influence qui ne peut alors être saisie par un modèle régressif simple (18, 19). De plus, pour tous les bâtiments ayant des zones centrales qui exigent de la climatisation lorsque d'autres zones sont en chauffage, les modèles régressifs simples ne pourront traiter adéquatement la consommation.

Les résultats de modélisation de bâtiments commerciaux par régression simple sont, au mieux, mitigés dans la littérature (1,18,19). L'utilisation et l'interprétation des données sont sujettes à beaucoup de circonspection (18). Les applications dans les climats froids sont habituellement plus appropriées puisque la température influe plus fortement la consommation. (1,18). De plus, certains types de bâtiments sont plus adaptés à cette méthode. Entre autres, les écoles primaires n'ayant pas ou peu de climatisation ou d'humidification s'adaptent relativement bien à la méthode puisqu'elles respectent en bonne partie les hypothèses sous-jacentes au modèle. Toutefois, même des modèles complexes n'ont pu démontrer des résultats consistants pour des bâtiments en apparence bien adaptés au modèle (i.e. n'ayant pas de climatisation) (19).

À l'opposé, dans le cadre de la vérification d'économies d'énergie attribuables à un important programme de DSM (Demand Side Management) au Texas, les méthodes de régression linéaire se sont avérées les plus utilisées et ont rempli leur rôle adéquatement (12). L'objectif recherché dans ce cas étant beaucoup plus global que l'évaluation du profil précis d'un bâtiment unique.

Plusieurs variantes de la méthode de régression simple existent (12, 15). La plupart de celles-ci permettent de désagréger la consommation selon ses composantes principales, soit la climatisation, le chauffage et les charges indépendantes de la température, de façon automatique. Des méthodes plus complexes de régression existent mais se basent sur des relevés de consommation horaire.

Toutefois, peu importe la méthode sélectionnée, la régression simple utilise toujours l'hypothèse que le chauffage et la climatisation varient uniquement en fonction de la température. Les méthodes plus sophistiquées permettent de tenir compte de certains facteurs temporels, souvent au niveau mensuel, pouvant affecter la consommation d'énergie. Lorsque des données de mesurage journalières ou horaires sont disponibles, la méthode de régression simple peut tenir compte des horaires d'occupation de manière plus appropriée.

Il est également possible d'adjoindre aux méthodes de régression simple des modules de traitement effectuant la répartition de la consommation entre les équipements ou encore entre des zones d'un même bâtiment. Ces ajouts sont faits à l'extérieur de la

méthode de modélisation et ne modifient en rien les limites de la méthode. Dans la plupart des cas, des modèles de répartition empiriques, basés sur des observations pour des bâtiments similaires, sont utilisés.

Notons enfin que la méthode de régression simple reproduira aussi fidèlement que possible le comportement contenu dans les données d'entrée (ex. facturation). Toute anomalie, défaillance ou événement ponctuel sera donc intégré automatiquement au modèle comme étant un comportement normal. Les prévisions ultérieures du modèle et la répartition de la consommation entre les trois usages en seront conséquemment affectées. Lorsque les données comportent des anomalies apparentes, ces données devraient être rejetées (ex. facture sur une période avec défaillance connue, facture estimée,etc) (14). Toutefois, le rejet de certaines données ajoute un élément arbitraire à la méthode et l'utilisateur ne doit pas rejeter toutes les factures ne se conformant pas au modèle (14). En effet, les différences avec les résultats du modèle peuvent provenir autant de ses limites propres que d'anomalies dans la facturation. La régression simple est un outil de diagnostic de premier niveau mais il ne permet pas d'identifier de façon définitive la présence d'une anomalie (14).

Avantages de la méthode :

- Le principal avantage de la méthode de régression simple repose sur sa simplicité d'utilisation.
- La méthode permet une modélisation sur la base des données de facturation.
- La méthode permet souvent une reproduction assez fidèle des données de facturation (de par sa nature de minimisation d'erreurs). L'écart entre la facturation ayant servi à construire le modèle et les prévisions du modèle est un des éléments pouvant servir à établir la validité du modèle pour le bâtiment considéré.
- La méthode permet de reproduire le comportement du bâtiment pour de nouvelles données de température (normalisation).
- La méthode offre de désagréger la consommation entre ses trois principales composantes.
- La méthode permet une utilisation répétitive et relativement uniforme par plusieurs utilisateurs (si la méthode est implantée de manière à effectuer les calculs des points de balance et des charges fixes de façon automatique).

Limites de la méthode :

- La validité de la méthode pour les bâtiments commerciaux est variable. Lorsque les variations de consommation sont fonction de facteurs autres que la température extérieure, la méthode ne pourra modéliser adéquatement le bâtiment et répartir avec justesse la consommation par usage.
- L'interprétation des paramètres des modèles s'avère difficile (ex. température d'équilibre, charge linéaire).
- La répartition de la consommation entre différentes zones thermiques d'un bâtiment n'est pas possible à moins de disposer de mesurages pour chaque zone.
- La répartition entre différents équipements ou systèmes pour un même usage n'est pas possible.
- Le modèle reproduit toute anomalie se retrouvant dans les données de base.
- La méthode ne peut servir à évaluer la majorité des mesures d'efficacité énergétique.
- La méthode exige l'utilisation des données de température correspondant à la période de mesure.

Utilisation type :

Les méthodes de régression simple identifiées sert principalement à mesurer l'impact de mesures d'efficacité énergétique suite à leur implantation (4, 6, 19, 20, 15, 17, 14). La raison principale derrière cette vocation spécialisée des méthodes de régression simple repose sur leur simplicité. La méthode représente un compromis entre la simplicité et la justesse d'évaluation recherchées par les différentes parties (14) lors de contrats de performance.

Dans tous les cas, des mesures de consommation pré-datant et post-datant l'application des mesures sont disponibles. Cette méthode s'adapte à l'une des procédures de vérification d'économie d'énergie suggérée dans l'International Performance Measurment and Verification Protocol (IPMVP 1997) qui sert parfois de guide aux entreprises de service éconoergétique pour valider les économies attribuables à leur intervention. La validité statistique du modèle peut s'évaluer de façon très rigoureuse (réf. 16, 17, 20). Cette validation statistique permet d'établir si le modèle peut au minimum représenter le comportement du bâtiment selon l'hypothèse de base du modèle. Ce test statistique ne permet toutefois pas d'établir si d'autres variables indépendantes (ex. humidité, horaires, ensoleillement) affecteront les prévisions subséquentes du modèle. Dans ces cas, des vérifications doivent être effectuées pour s'assurer qu'il n'y a aucune modification de ces autres variables indépendantes entre la période de référence et la période suivant l'intervention. Ce type de vérification est très difficile à implanter en pratique puisque les valeurs réelles des autres variables indépendantes sont habituellement inconnues ou méconnues.

Méthode par régressions multiples

Pour contourner certaines des limites de la méthode régressive simple dans le cas des bâtiments commerciaux, d'autres méthodes dérivées ont été développées. Ces méthodes utilisent plusieurs variables indépendantes dans l'analyse des factures. Les variables indépendantes fréquemment considérées sont : l'ensoleillement, l'horaire d'utilisation, l'humidité, le vent, l'occupation…

Il n'y pas de limite sur le type de variables indépendantes qui peut être traité. Toutefois, de sérieux problèmes d'auto-corrélation peuvent se produire si les variables sélectionnées ne sont pas totalement indépendantes les unes des autres. La validation statistique de la méthode s'avère également plus complexe.

L'utilisation commerciale des méthodes de régression multiple semble relativement limitée. Une des raisons possibles pour cette apparente faible utilisation provient de la complexité accrue d'implantation de cette méthode et de la difficulté dans la sélection des variables indépendantes. La méthode ne permet d'ailleurs pas d'éliminer toutes les limites des méthodes régressives, dont le traitement du chauffage et de la climatisation simultanée, des zones multiples et de la répartition par équipement. Ce type de modèle requiert beaucoup plus de jugement de la part de l'utilisateur que la méthode simple et les gains de la méthode ne sont donc pas toujours garanties (1).

Avantages de la méthode :

- Le principal avantage de la méthode de régression multiple repose sur sa capacité de saisir plusieurs variables indépendantes affectant la consommation des bâtiments commerciaux.
- La méthode permet d'effectuer une modélisation de phénomènes non linéaires, tel l'arrêt de systèmes.
- La méthode permet souvent une reproduction assez fidèle des données de facturation (de par sa nature de minimisation d'erreurs). L'écart entre la facturation ayant servi à construire le modèle et les prévisions du modèle est un des éléments pouvant servir à établir la validité du modèle pour le bâtiment considéré.
- La méthode permet de reproduire le comportement du bâtiment pour de nouvelles données de température (normalisation).
- La méthode offre de désagréger la consommation entre ses trois principales composantes.

Limites de la méthode :

- L'implantation de la méthode est plus difficile que la régression simple. La méthode peut s'avérer instable lorsqu'un choix inapproprié de variables indépendantes est effectué.
- L'utilisation de la méthode et la sélection des variables indépendantes requiert plus d'expérience que la méthode simple.
- L'interprétation des paramètres des modèles s'avère difficile (ex. température d'équilibre, charge linéaire).
- La répartition de la consommation entre différentes zones thermiques d'un bâtiment n'est pas possible à moins de disposer de sous-mesurages pour chaque zone.
- La répartition entre différents équipements ou systèmes pour un même usage n'est pas possible.
- La méthode ne peut servir à évaluer la majorité des mesures d'efficacité énergétique.
- La méthode exige l'utilisation des données de température correspondant à la période de mesure.

Utilisation type :

Les méthodes de régression multiple identifiées dans la littérature semblent également servir à mesurer l'impact de mesures d'efficacité énergétique suite à leur implantation (12, 14). L'utilisation de cette méthode apparaît beaucoup plus limitée que pour les diverses méthodes de régression simple et sert en dernier recours lorsque les méthodes simples les plus sophistiquées ne permettent pas une modélisation adéquate (12)

Modélisation détaillée des bâtiments

Contrairement aux trois méthodes d'analyse précédentes, la méthode détaillée ne requiert pas de données de mesurage mais uniquement les caractéristiques physiques et opérationnelles du bâtiment. Les modèles détaillés peuvent également varier grandement en complexité. Des modèles simples peuvent être établis pour obtenir des estimés (ex. en suivant le standard ASHRAE TC4.7) ou des outils très détaillés comme DOE2, ESP-r , etc., peuvent permettre des évaluations fines de tous les systèmes et éléments d'un bâtiment. Le niveau de détails requis est toujours fonction des objectifs recherchés.

Pour un modèle détaillé de modélisation, la reproduction d'une facture exige de reproduire fidèlement non seulement les composantes de l'enveloppe, les systèmes et les contrôles du bâtiment mais également son exploitation et tout autre événement (ex. défaillance, interférence humaine) ayant un impact sur la facture. Un tel processus exige un niveau d'effort assez important. Ce type d'effort

est habituellement requis si l'on veut reproduire des anomalies de consommation se retrouvant dans la facture ou si de la vérification d'économie d'énergie doit être effectuée tout en intégrant l'ensemble du comportement actuel d'un bâtiment (Baselining).

Lorsque les objectifs visent tout d'abord l'optimisation de la conception, l'évaluation d'impacts de mesures ou la répartition normale de la consommation entre zones et équipements, une reproduction fidèle de la facture n'amène généralement pas de gains appréciables au niveau de ces évaluations. Dans une optique d'évaluation générique des mesures, il est souvent possible d'effectuer des simulations types qui servent à établir des règles générales de gains énergétiques attribuables à des mesures d'efficacité énergétique. L'évaluation du potentiel pour un bâtiment donné, tant du point de vue de la consommation que du point de vue économique, requiert une évaluation globale précise mais non une reproduction de facture car dans ce cas l'objectif est d'évaluer les mesures et non pas de diagnostiquer des anomalies (ex. de contrôle, d'exploitation, d'équipements).

Plusieurs études visant à calibrer les modèles détaillés à des données de mesurage ont été identifiées (3, 15, 4, 7, 5, 8, 9). Souvent, la calibration d'un modèle détaillé repose sur l'expérience de l'utilisateur du programme de simulation, sur son expertise tant au niveau des bâtiments que des méthodes de modélisation, sur le jugement et sur beaucoup d'essais et erreurs (9). Plusieurs guides, souvent sous forme de graphiques de diagnostic, ont été développés pour réduire l'incertitude reliée à ce processus. Cependant, aucune procédure prédéfinie n'a été identifiée. Même lorsqu'un modèle est dit calibré à l'intérieur de 5 % de la facture rien ne peut garantir que les profils journaliers et horaires sont corrects. Plusieurs solutions peuvent conduire à reproduire une consommation mensuelle et annuelle (9). Il ressort donc des articles techniques qu'une calibration sérieuse d'un modèle détaillé devrait se baser sur des données de mesurage horaires sur de courtes périodes. Cette procédure permet de réduire le nombre de solutions possibles permettant la reproduction des résultats et réduit le volume de données à traiter. De plus, la reproduction d'anomalies et de défaillances souvent contenues dans la facturation mensuelle n'affectera pas artificiellement le processus de calibration.

Un modèle détaillé de modélisation s'adapte donc mal à reproduire les anomalies de fonctionnement, ce qui en fait souvent du même coup un bon outil de diagnostic d'anomalies de consommation. Toutefois, cela limite les possibilités de calibration sur la base de données globales, telle la facturation qui contient trop souvent des événements ponctuels non répétitifs (anomalies). Le résultat d'une telle calibration peut potentiellement être un modèle artificiellement erroné afin de reproduire ce comportement. La calibration d'un modèle détaillé devrait donc être effectuée uniquement lorsque les données disponibles sont totalement fiables et de préférence de type horaire. De plus, une telle calibration devrait se limiter aux cas où elle est absolument requise, comme la vérification des économies d'énergie attribuable à des mesures déjà implantées (Baselining).

Il existe des règles de vérification des modèles détaillés qui diffèrent de la calibration (3). La vérification du modèle ne sert pas à reproduire fidèlement la facture mais à s'assurer de la valeur et de la représentativité globale du modèle pour un bâtiment spécifique. Cette approche est mal adaptée à la vérification d'économie d'énergie (Baselining) mais est beaucoup plus réaliste pour toutes les autres applications cherchant à modéliser un bâtiment existant. Les règles de vérification décrites dans la littérature (3, 1) reposent beaucoup sur les données de facturation mais surtout au niveau de l'appel de puissance puisque celle-ci est mois sujette à être influencée par les nombreux facteurs qui sont invariablement intégrés dans les données de consommation (3, 17). Bien qu'un tel modèle ne reproduise pas nécessairement la facture, il offre un estimé convenable de la consommation normale du bâtiment, il permet de diagnostiquer les anomalies potentielles et il permet une évaluation plus objective du potentiel d'amélioration énergétique du bâtiment.

Avantages de la méthode :

- Le principal avantage de la méthode détaillée repose sur sa capacité à saisir tous les paramètres d'influence de la consommation d'un bâtiment.
- La méthode permet d'identifier la répartition de la consommation et de l'appel de puissance entre les zones d'un bâtiment.
- La méthode permet la répartition de la consommation entre les équipements d'un bâtiment.
- La méthode permet de reproduire le comportement du bâtiment pour de nouvelles données de température (normalisation).
- La méthode offre de désagréger la consommation entre tous les usages dans un bâtiment.
- La méthode permet d'évaluer l'influence de mesures d'efficacité énergétique touchant tant le contrôle, les équipements, les systèmes que l'enveloppe du bâtiment.

- La méthode est rigoureusement valide pour tous les types de bâtiment.
- La méthode représente un bon outil de diagnostic de consommation.
- La méthode permet d'établir la consommation type normale d'un bâtiment spécifique.

Limites de la méthode :

- La méthode exige une expertise plus grande.
- Le nombre d'entrées de données est plus élevé.
- La reproduction de données de mesurage, comme la facture, s'avère difficile.
- La vérification des données doit être très rigoureuse.
- La vérification des résultats est une étape importante et qui requiert une bonne expérience.
- L'utilisation répétitive de la méthode est plus difficile et la reproduction des mêmes résultats pour un même cas par différents analystes est plus difficile que pour les méthodes régressives.
- La méthode est plus dispendieuse d'utilisation.

Utilisation type :

Les méthodes de modélisation détaillée sont normalement utilisées dans le cadre d'évaluation d'impact de mesures avant leur implantation (design), pour l'optimisation de la conception d'un bâtiment et plus rarement pour la vérification des économies attribuables à des mesures suite à leur implantation. Dans ce dernier cas, le niveau de détail des résultats excède de beaucoup ce qui est requis dans ce type d'analyse, ce qui explique que les méthodes par régression sont normalement privilégiées.

CONCLUSIONS

La principale observation qui ressort de la revue de littérature, ainsi que de l'expérience que nous possédons en modélisation énergétique des bâtiments, est qu'une méthode unique d'analyse et de modélisation des bâtiments commerciaux ne peut être appliquée à grande échelle, dans le cadre d'audits énergétiques, sans introduire de sérieux problèmes de justesse des analyses ou encore d'efforts injustifiés.

Il s'avère essentiel d'adopter une procédure d'analyse progressive qui s'ajuste aux objectifs commerciaux, aux besoins techniques, à l'importance et à la complexité du bâtiment à traiter. Une méthode d'analyse énergétique unique pour tous les bâtiments ne constituera jamais la solution optimale. Ainsi, la méthode requise pour un petit bâtiment à vocation unique (ex. petit magasin de détail) ne devrait pas être la même que pour un grand centre commercial où coexistent un grand nombre de vocations. Dans de tels cas, des compromis souvent inacceptables doivent être faits. Si une méthode simple est utilisée, l'analyse du centre commercial risque fortement d'être erronée. Cependant, une approche détaillée dans le cas du petit magasin de détail serait trop longue et dispendieuse en fonction des enjeux commerciaux. Toutefois, si les enjeux commerciaux dominent largement les enjeux techniques, une méthode unique simplifiée peut être employée. Il s'agit dans ce cas d'une décision principalement commerciale et non technique. La valeur ajoutée d'une offre technique basée sur une simulation détaillée est difficile à percevoir pour un grand nombre de propriétaires de bâtiments. La démonstration de la justesse de la méthode détaillée comparativement à une approche simplifiée est potentiellement complexe. De plus, cette méthode n'offre pas, règle générale, une reproduction fidèle de la facture. Cette reproduction est souvent employée comme barème pour juger de la qualité d'une offre technique. Dans ce cadre opérationnel, la méthode détaillée sera perçue comme inadéquate, bien qu'elle soit probablement la seule à pouvoir saisir correctement le comportement normal du bâtiment et permettre un diagnostic de sa consommation.

D'autre part, le niveau d'expertise technique requis pour utiliser les différentes méthodes d'analyse diffère fortement. Une analyse par indices globaux et par régression linéaire peut être effectuée avec un minimum de formation, quoique l'interprétation des résultats exige une connaissance approfondie des hypothèses associées à ces modèles. Les méthodes d'analyse détaillée exigent une bonne connaissance des différents éléments traités par les modèles, tel le CVC, l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage, les contrôles et tous les autres systèmes auxiliaires. De plus, afin d'obtenir des résultats fiables, il est essentiel d'avoir une bonne connaissance des hypothèses utilisées par ces modèles détaillés dans leur simulation des bâtiments et des systèmes.

Cette différentiation marquée de l'expertise technique requise pour utiliser les différentes méthodes d'analyse énergétique a comme conséquence fréquente l'utilisation de ressources spécifiques dans un processus d'analyse progressif (12). Ainsi, les traitements de premier niveau sont effectués par un groupe d'individus spécifiquement formés à l'utilisation de méthodes simplifiées. Ceux-ci peuvent alors effectuer une analyse complète pour tous les bâtiments répondant aux hypothèses et limites des méthodes de premier niveau (ex. critères statistiques). Si l'analyse de premier niveau démontre un potentiel mais que le bâtiment est trop complexe, ou l'enjeu trop grand, pour employer des

outils simplifiés, des analyses détaillées peuvent alors être effectuées par un groupe plus restreint d'individus spécifiquement formés dans l'utilisation de méthodes détaillées d'analyse.

Toutefois, peu importe l'outil de modélisation énergétique, la connaissance que l'utilisateur a des limites du logiciel sera toujours l'élément le plus déterminant dans la justesse et l'interprétation des résultats. Par exemple, dans le cas d'un modèle régressif, il est crucial que l'usager soit en mesure de déterminer si l'outil est applicable à un bâtiment donné et que les données de facturation employées ne contiennent pas d'entrées à rejeter (14). Dans le cas de logiciels de modélisation détaillée, l'utilisateur doit comprendre la manière dont fonctionnent réellement les systèmes du bâtiment ainsi que la manière dont ils sont traités dans la simulation. Dans les deux cas, l'expérience et la connaissance de l'usager détermineront la valeur des résultats.

RÉFÉRENCES

1- MacDonald, J. M., Wasserman, D. M., "Investigation of Metered Data Analysis Methods for Commercial and Related Buildings", ORNL/CON-279, Oak Ridge National Laboratory, May 1989

2- "An Expert System for Building Energy Consumption Analysis: Prototype Results", ASHRAE Transactions 1987, pp. 979 – 998 Haberl, J. S., Claridge, D. E.

3- Waltz, J. P., « Practical Experience in Achieving High Levels of Accuracy in Energy Simulations of Existing Buildings », ASHRAE Transactions: Symposia, AN-92-1-2

4- S. Katipamula and D. Claridge, USE OF SIMPLIFIED SYSTEM MODELS TO MEASURE RETROFIT SAVINGS, ASME Solar Engineering 1992, ESL-PA-92/04-06

5- "A Procedure for Calibrating the DOE-2 Simulation Program to Non-Weather Dependent Measured Loads, ASHRAE Transactions: Symposia, 1992, pp. 636 – 652, Bronson, D. J., Hinchey, S. B., Haberl, J. S., O'Neal, D. L.

6- "The Great Building Energy Predictor Shootout II: Measuring Retrofit Energy Savings, Thamilseran, S., Haberl, J. S.

7- Schuldt, M. A., Romberger, J.S., "Alternative Approaches to Baseline Estimation Using Calibrated Simulations", ASHRAE Transactions 1998,V104Pt 2

8- "Graphical Tools to Help Calibrate the DOE-2 Simulation Program, ASHRAE Journal, January, 1993, pp. 27 - 32 Haberl, J. S., Bronson, J. D., Hinchey, S. B., O'Neal, D. L.

9- "An Improved Procedure for Developing Calibrated Hourly Simulation Models, International Building Performance Simulation Association, 4th International Conference, August 14-16, 1995, Bou-Saada, T. E., Haberl, J. S.

10- D. Ruch and D. Claridge, A FOUR-PARAMETER CHANGE-POINT MODEL FOR PREDICTING ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS, ASME Solar Engineering 1991, ESL-PA-91/03-03, 7 pages

11- D. Ruch, L. Chen, J. Haberl, and D. Claridge (Revised for ASME/JSE June 1993, new copies not yet available), A CHANGE-POINT PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (CP/PCA) METHOD FOR PREDICTING ENERGY USAGE IN COMMERCIAL BUILDINGS : THE PCA MODEL, ASME Solar Engineering 1991, ESL-PA-91/03-02, 8 pages

12- " Baseline Calculations for Measurements and Verification of Energy and Demand Savings in a Revolving Loan Program in Texas, ASHRAE Transactions 1998, v.104, Pt.2, Haberl, J. S.; Thamilseran, S.; Reddy, A.; Claridge, D. E.; O'Neal, D. L.; Turner, W.D.

13- " Baselining Methodology for Facility-Level Monthly Energy Use - Part 1: Theoretical Aspects, ASHRAE Transactions 1997, v. 103, Pt. 2
Reddy, T. A., Haberl, J. S., Saman, N. F., Turner, W. D., Claridge, D. E., Chalifoux, A. T.

14- Sonderegger, R. C. , "A Baseline Model for Utility Bill Analysis Using Both Weather and Non-Weather-Related Variables", ASHRAE Transactions 1998, V. 104 Pt. 2, TO-98-12-2

15- "A Bin Method for Calculating Energy Conservation Retrofit Savings in Commercial Buildings, 9th Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates 1994, May 19-20, 1994, Arlington, Texas
Thamilseran, S., Haberl, J. S.

16- Reddy, T.A., Haberl, J. S. Elleson, J.S., "Engineering Uncertainty Analysis in the Evaluation of Energy and Cost Savings of Cooling System Alternatives Based on Field-Monitored Data", ASHRAE Transactions: Symposia, SE-99-16-1

17- Reddy, T. A., Claridge, D.E., "Uncertainty of Measured Energy Savings from Statistical Baseline Models", HVAC&R Research, Vol.6, No. 1, January 2000

18- Rable, A., Norford, L, Spadaro, J., "Steady State Models for Analusis of Commercial Building Energy Data"

19- Rabl, A., Rialhe, A., « Energy Signature Models for Commercial Buildings: test with measured data and interpretation », Energy and Buildings, 19 (1992), pp.143-154

20- D. K. Ruch, J. K. Kissock, and T. A. Reddy, MODEL IDENTIFICATION AND PREDICTION UNCERTAINTY OF LINEAR BUILDING ENERGY USE MODELS WITH AUTOCORRELATED RESIDUALS, 1993 Proceedings of the ASME-ASES-SED International Solar Energy Conference, ESL-PA-93/04-03