VALIDATION DYNAMIQUE DES MODELES DE SIMULATION DES BATIMENTS EXISTANTS

Roberge Marc-Antoine, Kajl Stanislaw, Bellemare René
École de technologie supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal H1C 1K3, Canada.
(514) 396-8517, fax. (514) 396-8530, courriel : skajl@mec.etsmtl.ca

RÉSUMÉ

L'article présente une approche dynamique de validation des modèles de simulation des bâtiments existants. La normalisation des résultats de simulation, ainsi que la répartition mensuelle des factures d'énergie sont effectuées en tenant compte des températures de base pour les degrés-jours de chauffage et de refroidissement qui peuvent varier suite aux ajustements apportés pendant la validation. Ces températures, une fois choisies, sont dans la majorité de cas considérées comme constantes. La validation est réalisée en tenant compte des fractions de consommations mensuelles relatives au chauffage, au refroidissement et à la consommation de base identifiées à partir des factures. Les modifications des modèles pendant la validation ne portent que sur les données cueillies avec le degré de véracité faible. Ce degré de véracité est identifié pendant un relevé détaillé de données techniques qui est indispensable pour ce type de validation. L'application de cette procédure de validation à l'analyse énergétique d'un bâtiment existant est aussi présentée dans cet article.

INTRODUCTION

De nos jours, on a recours à l'analyse énergétique sur les bâtiments existants afin d'évaluer l'impact de l'application de certaines mesures d'économie d'énergie sur la consommation d'énergie comme par exemple : le changement des séquences de contrôle, le remplacement des équipements CVCA ou le nouvel horaire d'utilisation de ceux-ci, etc. L'utilisation d'un logiciel performant ainsi que la qualité du fichier météorologique utilisé sont les deux éléments clés permettant d'effectuer une analyse juste et précise. Différents logiciels sont reconnus pour leur performance tels DOE-2 ou BLAST. Cependant, les modèles de simulation développés pour ces logiciels exigent un relevé détaillé de données dans le bâtiment étudié. Certaines de ces données, comme par exemple les horaires d'utilisation des équipements et d'occupation des locaux, sont difficiles à cueillir avec un degré de certitude raisonnable. Il est donc important d'évaluer le degré de véracité des données recueillies afin d'identifier les plus problématiques. Quant au fichier météorologique, il est recommandé d'utiliser le fichier de l'année pour laquelle la validation du modèle de simulation est réalisée. Malheureusement, le fichier météorologique pour le site de l'établissement à l'étude n'est parfois pas disponible ou bien n'existe pas. Lors de telles situations, un fichier météorologique type est utilisé pour la simulation. Les résultats de simulation obtenus dans ce cas doivent alors être normalisés avant de les comparer avec les consommations d'énergie facturées. La normalisation est faite en utilisant les degrés-jours de l'année de validation et du fichier météorologique type. Il est cependant à noter que cette normalisation exige l'identification des fractions de consommations mensuelles totales d'énergie facturées relatives au chauffage et à la climatisation. Cette identification est parfois difficile à réaliser dans les bâtiments utilisant une source et un compteur d'énergie.

Lors du processus de validation, il est rare que les critères de validation soient atteints dès la première simulation. La validation consiste donc à ajuster le modèle afin d'obtenir les profils de consommations et de puissances maximales mensuelles semblables aux profils provenant des factures mensuelles d'énergie. Par conséquent, la validation des modèles de bâtiments existants, lorsque le fichier météorologique type est utilisé pour la simulation, peut comporter les étapes suivantes :

1. Identifier la température d'équilibre pour le bâtiment donné qui sera considérée comme la température de base pour les degrés-jours utilisés dans la normalisation des résultats;
2. Normaliser les résultats de simulation qui dépendent des conditions météorologiques comme par exemple, la consommation attribuée au chauffage ou à la climatisation;
3. Comparer les résultats normalisés avec les factures d'énergie en identifiant, si possible, les fractions de factures relatives à la consommation due au chauffage, à la climatisation et à la consommation de base (éclairage et équipements);
4. Ajuster le modèle de simulation du bâtiment si les critères de validation ne sont pas atteints.

DESCRIPTION DE LA PROCÉDURE

Dans cet article, on présente une nouvelle approche relative aux trois premières étapes du processus de validation mentionnées ci-dessus. Cette approche a été

appliquée sur un bâtiment existant comportant des laboratoires de recherche, des bureaux et de multiples espaces communs. Il est à noter que les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel DOE-2. Le modèle de simulation du bâtiment a été développé en tenant compte des résultats des relevés détaillés de données effectuées sur celui-ci. Afin de faciliter l'ajustement du modèle lors de la validation, le degré de véracité a également été identifié pour certaines données considérées comme étant incertaines ou difficiles à évaluer. Il est à noter que le degré de véracité résulte d'un jugement subjectif fait par le cueilleur de données selon la qualité des informations disponibles. L'approche utilisée lors de la validation peut être résumée de la façon suivante :

1. Déterminer, pour le fichier météorologique type (doe) et pour l'année de la facturation (ref), les degrés-jours mensuels de chauffage (djch_doe, djch_ref) et de refroidissement (djre_doe, djre_ref) pour différentes températures de base (te_ch pour chauffage et te_re pour refroidissement) afin d'établir les courbes mensuelles des degrés-jours;
2. Comparer, respectivement pour le chauffage et la climatisation, les courbes de consommation mensuelle d'énergie obtenues par simulation avec les courbes mensuelles de degrés-jours établies à l'étape précédente. Trouver la courbe de degrés-jours pour le chauffage, et par la suite, pour la climatisation, dont l'allure correspond le mieux à la courbe de consommation mensuelle en calculant l'erreur cumulative entre les courbes adéquates. Les températures de base des courbes ainsi trouvées peuvent être considérées comme étant les températures d'équilibre pour la période de chauffage et celle de climatisation;

Pour chaque température de base et pour chaque mois :

$$rap_ch_doe = \frac{ch_men_doe}{ch_ann_doe}$$

$$rap_re_doe = \frac{re_men_doe}{re_ann_doe}$$

$$rap_dj_ch_doe = \frac{dj_ch_men_doe}{dj_ch_ann_doe}$$

$$rap_dj_re_doe = \frac{dj_re_men_doe}{dj_re_ann_doe}$$

$$err_cumul_ch = \sum_{i=1}^{12} \left(rap_dj_ch_doe - rap_ch_doe\right)_i$$

$$err_cumul_re = \sum_{i=1}^{12} \left(rap_dj_re_doe - rap_re_doe\right)_i$$

Choix des températures de base :

$$\min\left(err_cumul_ch\right) \qquad \min\left(err_cumul_re\right)$$

3. Normaliser les résultats de simulation en utilisant les degrés-jours de chauffage et de climatisation pour les températures d'équilibre déterminées à l'étape précédente;

Normalisation typique consiste à appliquer la formule suivante

$$VAL_{norm} = VAL_{doe} * \frac{dj_ref}{dj_doe}$$

Afin d'éviter division par zéro (lorsque dj_doe est zéro et dj_ref est supérieur à zéro), nous avons utilisé pour la normalisation de résultats relatifs au chauffage la formule suivante :

$$ch_men_doe_{norm} = ch_ann_doe * \left(rap_ch_men - \frac{dj_ch_men_ref - dj_ch_men_doe}{dj_ch_ann_doe}\right)$$

Pour les résultats relatifs au refroidissement, la formule semblable était utilisée;

4. Identifier les fractions de consommations mensuelles totales d'énergie facturées relatives au chauffage et à la climatisation. Pour le faire, dans les bâtiments ne comportant qu'un compteur d'énergie, on prend en considération les résultats de simulation. D'abord, on soustrait la consommation d'énergie de base (éclairage, équipements, etc.) obtenue par la simulation de l'énergie facturée. On considère le reste comme l'énergie consommée par les systèmes de chauffage et de refroidissement. La répartition pour le chauffage et le refroidissement est fait en tenant compte de relation entre ces deux types de consommations obtenue par la simulation;
5. Comparer les résultats de simulation normalisés (chauffage et climatisation) et non normalisés (consommation de base : éclairage, équipements, etc.) avec les factures d'énergie fractionnées obtenues à l'étape précédente;
6. Analyser les résultats de comparaison faite à l'étape 5 afin de vérifier si les critères de validation sont atteints;
7. Identifier les ajustements à apporter sur le modèle du bâtiment et répéter la procédure de validation à partir de la deuxième étape en utilisant le modèle de simulation ajusté.

La procédure itérative se termine lorsque les critères de validation sont atteints à l'étape 6. Elle a été développée dans le logiciel MATLAB et elle inclus aussi la saisie des résultats de simulations réalisées à l'aide du logiciel DOE-2, requise pour la validation. Il est à souligner que les températures de base pour les degrés-jours de chauffage et de refroidissement

peuvent varier suite aux ajustements apportés pendant la validation. Sonderegger [5] propose aussi la variation de ces températures sauf que dans ce cas elles sont déterminées différemment. Dans la majorité de cas, ces températures, une fois choisies, sont considérées comme constantes.

EXEMPLE DE VALIDATION

Description du bâtiment

Le bâtiment étudié est un centre de recherche hospitalier universitaire situé au Québec. L'édifice comporte un sous-sol et quatre étages (*rez-de-chaussée inclus*) pour une superficie brute d'environ 1560 m². On retrouve l'animalerie au sous-sol, des bureaux administratifs au rez-de-chaussée et enfin, des bureaux et laboratoires de recherche sur les trois autres étages. La fenestration varie de 18 à 38 % dépendamment de l'orientation de mur. Les résistances thermiques (RSI) des murs et des fenêtres sont respectivement de 4.1 et de 0.39 $m^{2o}C/W$. Pour climatiser les zones thermiques, l'édifice possède trois systèmes centraux de traitement de l'air desservis par deux chaudières à vapeur au gaz naturel et à un refroidisseur. Les trois systèmes sont à débit constant, à température d'alimentation variable avec les serpentins terminaux de réchauffage et le chauffage périphérique assuré par des plinthes électriques. Les serpentins de refroidissement et chauffage sont alimentés respectivement en eau refroidie et en eau chaude. Les systèmes # 1 et 3 sont à 100% d'air frais et ils desservent respectivement l'animalerie et les laboratoires aux étages. Ils comportent des récupérateurs de chaleur dont l'efficacité est évaluée à environ 50%. Les laboratoires et la salle de culture du bâtiment (desservis par système # 3) sont équipés de hottes d'évacuation contrôlées par l'utilisateur. Lorsque l'une d'elles est en fonction, le ventilateur de retour du système d'alimentation réduit son débit proportionnellement au débit d'évacuation de la hotte en opération. Il y a alors une réduction de la quantité de chaleur récupérée par le serpentin de récupération placé dans l'évacuation d'air en aval du ventilateur de retour du système concerné. Seul le système # 2 comprend un économiseur pour contrôler le débit d'air frais dont le minimum est 20%.

Les chaudières ont une capacité de 370 kW chacune et une efficacité à pleine charge de 80%. Il faut noter qu'une seule chaudière et qu'une seule pompe sont en opération et que les autres équipements ne sont utilisés qu'en cas de bris mécaniques. La puissance frigorifique du refroidisseur est de 345 kW et son COP est de 2.64. Il est refroidi à l'air avec dix ventilateurs d'une puissance motrice totale de 11.19 kW. De plus, selon les renseignements, les chaudières sont mises en marche relativement tard, c'est-à-dire vers la mi-novembre et arrêtées dans la période du 15 mai. Quant au refroidisseur, il suit la cédule inverse des chaudières.

Pour combler les besoins en eau chaude sanitaire (*ECS*), le bâtiment dispose d'un chauffe-eau au gaz naturel, d'une puissance de 88 kW et un réservoir d'une capacité de 260 l. L'efficacité estimée de combustion à pleine charge du chauffe-eau est de 72%. De plus, la puissance de l'ascenseur est de 30 kW et aucun système d'éclairage extérieur n'a été relevé.

Modèle de simulation

Pour modéliser le bâtiment sous le format DOE-2, nous avons identifié 42 zones thermiques (36 externes et 6 internes). Le relevé précis portait sur les données architecturaux des locaux et sur les caractéristiques de charges internes des zones telles que l'éclairage, les équipements, l'occupation, etc. Pour ces données, le relevé était si détaillé que nous les avons considérés avec un degré de véracité très élevé. Un degré de véracité élevé a aussi été attribué pour les débits des ventilateurs étant donné que nous disposions des rapports de balancement effectués peu de temps avant la modélisation. Par contre, certaines données ont été relevées avec un degré de véracité considéré comme faible. Il s'agit notamment du contrôle des points de consigne tels que la température du local (thermostats non protégés) et la température de soufflage (contrôle manuel). Il était de même pour la date de mise en service de la chaudière à gaz qui est évaluée à la mi-novembre. Étant donné que la chaudière ne dessert que les serpentins de chauffage et que les serpentins de réchauffage et les plinthes électriques complètent le chauffage dans les zones, la date de mise en opération peut varier selon les priorités du gestionnaire de bâtiment.

Pour compléter la description des paramètres du modèle, certains points spécifiques du modèle de simulation méritent d'être mentionnés :

- Ajout d'une fonction permettant de simuler l'horaire d'éclairage de l'animalerie semblable au cycle de l'éclairage de jour [1];
- Ajout d'une fonction permettant de simuler l'horaire d'utilisation de la protection solaire en fonction de l'intensité de l'ensoleillement (variation du coefficient d'ombrage SC) [1]. Application de la méthode des longueurs de fissures pour tenir compte de l'infiltration de l'air dû au vitrage. La valeur utilisée dans le modèle est 0.287 l/s m à 12 Pa, qui correspond à une fenestration de bonne qualité, et ce, pour une fenêtre ouvrante fermée;
- Usage de trois (3) systèmes de type RHFS (Constant Volume Reheat Fan System) et d'un

système de type PTAC (Packaged Terminal Air Conditioner System). Ce dernier permet de simuler des zones sans refroidissement et sans ventilation mécanique;

- Ajustement du point de consigne de température d'alimentation de façon linéaire en fonction de la température extérieure selon la plage suivante (*alimentation / extérieure*) : (13°C / 13°C , 18°C / –28.9°C);
- Ajustement des points de consigne des thermostats de toutes les zones thermiques entre 21.1 et 23.3°F selon la saison;
- Concept de modélisation des hottes des laboratoires. Étant donné que ces équipements sont utilisés sur une base irrégulière, ils ont été considérés, lors de la simulation, comme n'étant jamais utilisées. Cette hypothèse n'engendre pas d'erreurs majeures parce que lorsque l'une d'elles est en fonction, le ventilateur de retour du système d'alimentation réduit son débit proportionnellement au débit d'évacuation de la hotte en opération. Elle n'entraîne qu'une sur-évaluation de la récupération d'énergie du serpentin de récupération du système alimentant les laboratoires.

Validation

L'objectif de la validation est d'obtenir une différence de moins de 10% mensuellement et de moins de 5% annuellement, et ce, entre les résultats normalisés du DOE-2 et la facturation. La validation présentée ci-dessous comporte cinq (5) itérations suivant la procédure décrite dans cet article. Les ajustements du modèle de simulation consiste à modifier les éléments dont le degré de véracité pendant les relevés techniques du bâtiment a été identifié comme faible.

La validation sera présentée en respectant les étapes de la procédure proposée dans l'article. Il est à noter que l'étape 1 est commune pour chaque itération. Les étapes 2, 5 ,6 et 7 sont identifiées pour chaque itération. Les étapes 3 et 4 sont omises pour alléger la présentation. De plus, pour l'ensemble des figures présentées ci-dessous, les lignes continues correspondent aux répartitions mensuelles de la facturation et les barres aux résultats normalisés de la consommation du modèle adéquat de DOE-2.

Première simulation

Étape 2

Température de base pour le chauffage (élec.) : 24 °C
Température de base pour le refroidissement : 10 °C
Température de base pour le chauffage (gaz) : 24 °C

À titre d'exemple, les erreurs cumulatives (calculées selon les formules présentées dans l'étape 2 de la description de la procédure) servant au choix de ces températures sont présentées dans le tableau 1.

Tel que mentionné ci-dessus, ces températures ont été utilisées pour normaliser les résultats de DOE-2 pour les comparer aux factures d'électricité et de gaz. La température de base des degrés-jours de chauffage est tellement élevée qu'elle exige des explications.

Tableau 1: Erreurs cumulatives

Temp. [°C]	Chauffage élec.	Refroidissement
0	0.8041	0.3612
5	0.5619	0.1682
10	0.3684	0.0725
15	0.2082	0.2866
18	0.1395	0.3978
20	0.1076	0.5200
24	0.0778	1.2930

Premièrement, tel qu'il est déjà mentionné, les degrés de véracité relatifs au point de consigne dans les locaux et à la température de soufflage sont considérés comme faibles à cause des thermostats non-protégés installés dans les locaux et du contrôle manuel de la température de soufflage. Deuxièmement, les plinthes électriques assurent le chauffage d'appoint dans les locaux desservis par les systèmes de climatisation sans avoir une séquence de contrôle adéquate pour éviter le soufflage d'air relativement froid et le chauffage simultané. Cette lacune nous a été confirmée par observation de l'opération des plinthes électriques qui fonctionnaient souvent en été ce qui peut expliquer le choix des températures de base pour le chauffage (24°C) et la climatisation (10°C).

Étant donné que ces températures ont un impact important sur la normalisation des résultats obtenus par la simulation, il est à souligner que grâce à l'une des originalités de la procédure, le choix des températures de base est tel que présenté ci-dessus. Sans appliquer la procédure, le choix porterait plutôt sur les températures souvent utilisées pour ce type de bâtiment, soit une température entre 10 et 18°C pour le chauffage et une autre entre 12 et 20°C pour le refroidissement.

Étape 5 et 6

Les Figures 1 et 2 présentent une comparaison entre la répartition mensuelle de la facturation et la normalisation de la consommation du 1er modèle DOE-2. L'analyse des résultats révèle une erreur relative sur la consommation annuelle de 28,96% pour l'électricité et de 48% pour le gaz naturel. Même si l'erreur relative sur l'électricité est très importante, nous avons essayé de corriger d'abord les résultats relatifs à la consommation du gaz. On peut constater en analysant les résultats qu'il y a une différence importante pour la

consommation du gaz de base en période estivale. Il est à noter que la demande de l'ECS a été établie dans ce modèle selon le code de plomberie et que la cédule utilisée de la demande horaire correspondait aux recommandations du Code Modèle National de l'Énergie dans les bâtiments *(CMNEB)* pour les laboratoires [2].

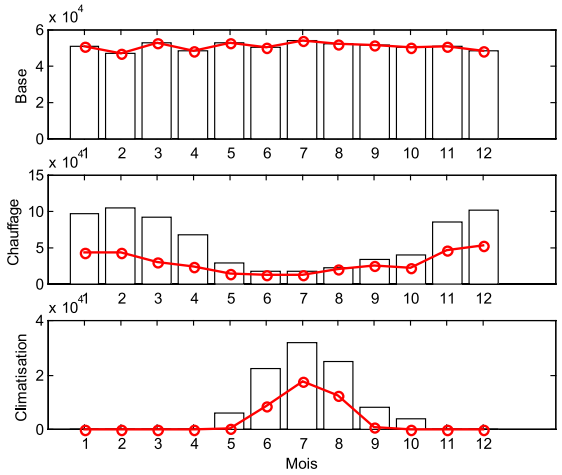

Figure 1: Répartition de la consommation d'électricité du 1er modèle

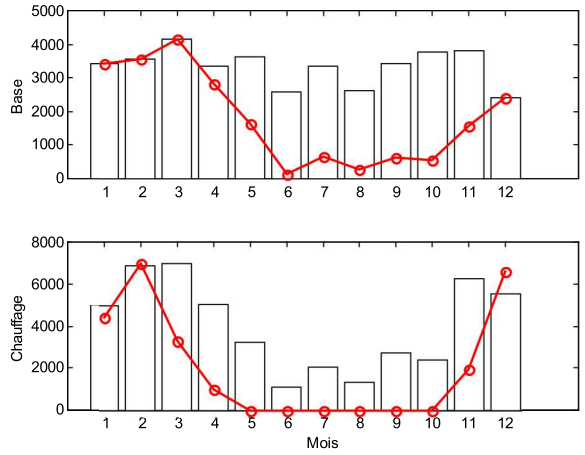

Figure 2: Répartition de la consommation de gaz naturel du 1er modèle

Étape 7

Étant donnée que durant la période d'été, le seul poste de consommation qui nécessite du gaz naturel est l'ECS, la demande maximale a été modifiée de façon à ce que la consommation de gaz en été soit comparable à celle facturée.

Deuxième simulation

Étape 2

Température de base pour le chauffage (élec.) : 24 °C
Température de base pour le refroidissement : 10 °C
Température de base pour le chauffage (gaz) : 15 °C

Étape 5 et 6

Il n'y a pas de changement au niveau des températures de base de chauffage électrique et de refroidissement et au niveau de la consommation d'électricité parce que l'ajustement du premier modèle portait seulement sur le gaz naturel. Les Figures 3 et 4 présentent une comparaison entre la répartition mensuelle de la facturation et la normalisation de la consommation du 2ième modèle DOE-2. L'erreur concernant la consommation d'énergie électrique n'a pas changé. Par contre, l'erreur sur la consommation annuelle du gaz a augmenté jusqu'à 95.57 %. Il est à noter que la consommation simulée de gaz en hiver est inférieure à celle facturée et que, pour la même période, la consommation d'électricité est trop élevée. L'ajustement doit donc viser ces anomalies.

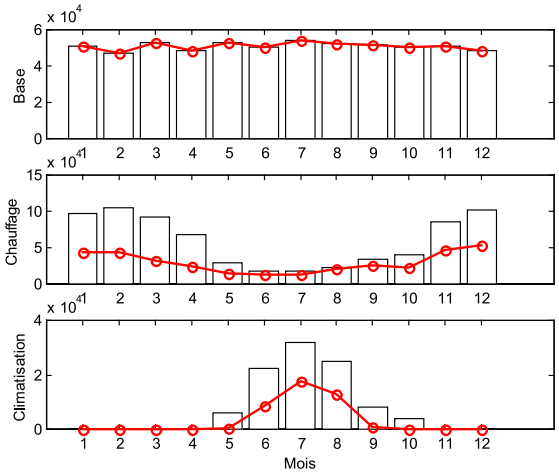

Figure 3: Répartition de la consommation d'électricité du 2ième modèle

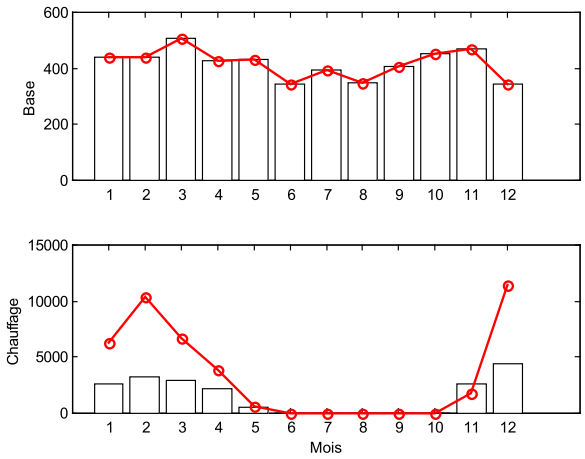

Figure 4: Répartition de la consommation de gaz naturel du 2ième modèle

Étape 7

Tel qu'il est déjà mentionné, le relevé détaillé a démontré un degré de véracité faible sur les consignes d'opération, notamment, sur les températures de

consigne de pièce et les températures de consigne d'alimentation. Tout en respectant les règles de l'art, on a proposé l'ajustement suivant :

- Le point de consigne de la température d'alimentation a été fixé à 15.8°C et 18°C respectivement en période d'hiver et d'été, contrairement au mode de contrôle du devis qui suggérait un ajustement de cette dernière en fonction de la température extérieure. Cette mesure a créé une augmentation de la consommation de gaz naturel (*serpentin de chauffage centrale*) et une diminution de la consommation d'électricité en période de chauffage. En période de refroidissement, elle s'est concrétisée par une diminution de la consommation d'électricité pour le refroidissement et le chauffage.

Troisième simulation

Étape 2

Température de base pour le chauffage (élec.) : 24 °C
Température de base pour le refroidissement : 10 °C
Température de base pour le chauffage (gaz) :10 °C

Étape 5 et 6

On peut constater une nette amélioration tant au niveau de consommation de gaz que d'électricité. Les figures 5 et 6 présentent une comparaison entre la répartition mensuelle de la facturation et la normalisation de la consommation du 3ième modèle DOE-2. L'erreur concernant la consommation annuelle d'énergie électrique est de 9.2 % et celle sur la consommation annuelle du gaz a diminuée jusqu'à 2.27 %.

Étape 7

En se référant aux degrés de véracité résultant du relevé de données, nous avons proposé les ajustements suivants :

- Le point de consigne de température des pièces a été fixé à 25°C en période de refroidissement et entre 22.9°C et 24°C en période de chauffage. Cette modification a eu pour effet d'augmenter la consommation électrique des plinthes en période de chauffage et de diminuer la consommation de chauffage en période de refroidissement.
- La date de mise en opération de la chaudière a été repoussée de 15 jours afin de diminuer la consommation de gaz pour le mois de novembre et d'augmenter la consommation d'électricité pour le chauffage. Cet ajustement résulte des anomalies décelées sur les résultats du mois de novembre.

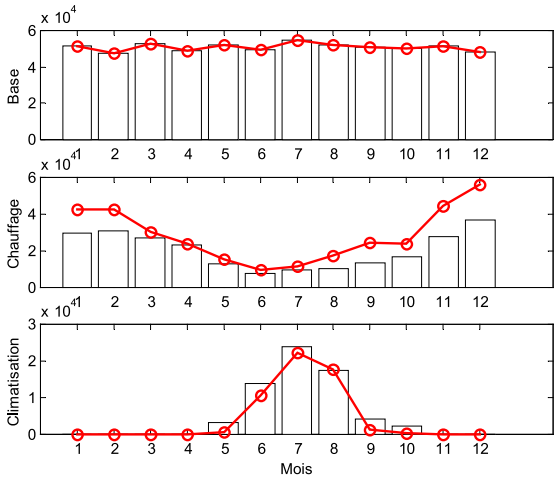

Figure 5: Répartition de la consommation d'électricité du 3ième modèle

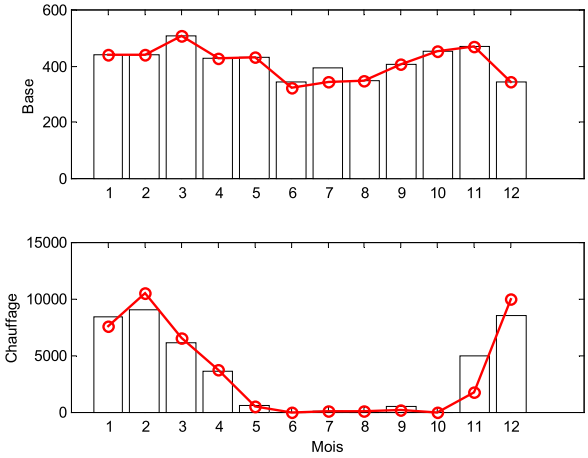

Figure 6: Répartition de la consommation de gaz naturel du 3ième modèle

Quatrième simulation

Étape 2

Température de base pour le chauffage (élec.) : 24 °C
Température de base pour le refroidissement : 10 °C
Température de base pour le chauffage (gaz) : 10 °C

Étape 5 et 6

Les figures 7 et 8 présentent une comparaison entre la répartition mensuelle de la facturation et la normalisation de la consommation du 4ième modèle DOE-2. L'erreur concernant la consommation annuelle d'énergie électrique est de 0.46 %, tandis que l'erreur mensuelle varie de 0.29 % en octobre à 8.69 % en novembre. L'erreur concernant la consommation annuelle du gaz est de 3.47 %. Par contre, l'erreur mensuelle varie beaucoup. Elle est surtout inacceptable en novembre.

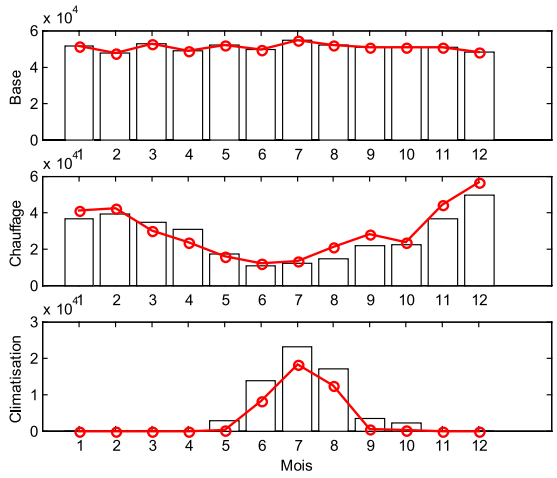

Figure 7: Répartition de la consommation d'électricité du 4ième modèle

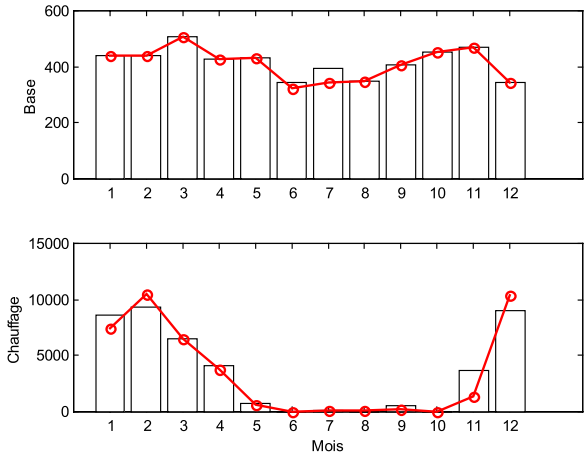

Figure 8: Répartition de la consommation de gaz naturel du 4ième modèle

Étape 7
Les ajustements suivants sont alors proposés :

- Repousser encore de 10 jours la mise en service de la chaudière à gaz. Selon le gestionnaire du bâtiment, cette mise en service était souvent retardée sans les conséquences graves sur le confort thermique, parce que les systèmes CVCA comportent des serpentins de réchauffage dans les gaines d'alimentation;
- Faire varier la température de soufflage de 15.8 à 16.9°C en novembre et décembre.

Cinquième simulation
Étape 2
Température de base pour le chauffage (élec.) : 24°C
Température de base pour le refroidissement : 10°C
Température de base pour le chauffage (gaz) : 5°C

Étape 5 et 6
Les figures 9 et 10 présentent une comparaison entre la répartition mensuelle de la facturation et la normalisation de la consommation du 5ième modèle DOE-2. Étant donné qu'il s'agit des résultats finaux, les erreurs annuelles et mensuelles relatives aux consommations de gaz et d'électricité sont présentées dans le tableau 2.

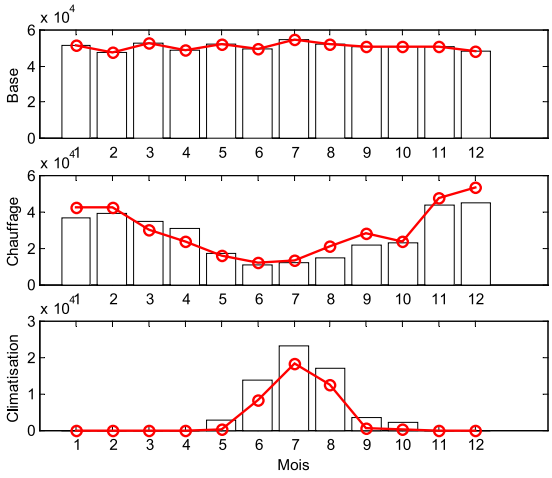

Figure 9: Répartition de la consommation d'électricité du 5ième modèle

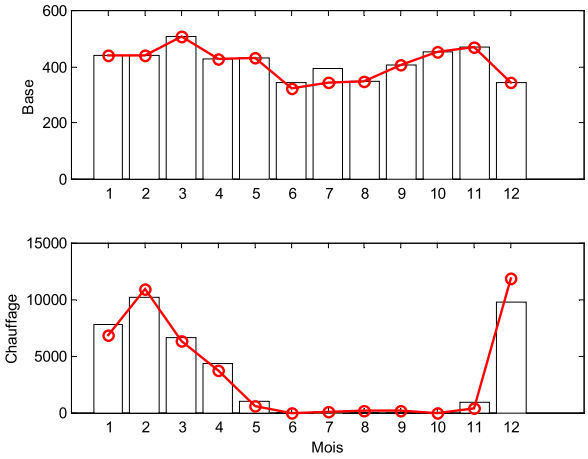

Figure 10: Répartition de la consommation de gaz naturel du 5ième modèle

L'analyse des résultats démontre que nous avons atteint les objectifs de validation pour l'électricité tant pour la consommation annuelle que pour les consommations mensuelles. Pour le gaz, l'objectif n'est atteint que pour la consommation annuelle. Le profil de consommation mensuelle correspond très bien au profil mensuel de facturation mais les erreurs relatives pour les consommations mensuelles exigent quelques explications.

- Les erreurs relatives concernant les mois d'août et de septembre sont élevées mais il s'agit des

différences absolues de l'ordre de 140 m^3 de gaz. Étant donné l'irrégularité d'utilisation de l'ECS surtout avec une animalerie dans le bâtiment, cette erreur est tout à fait acceptable.

- Pour les autres mois avec des erreurs supérieures à 10%, les différences absolues sont de 427 m^3 en mai et jusqu'à 2100 en décembre. Même pour le mois de novembre avec l'erreur relative de 52.5%, cette différence n'est que de 483 m^3 de gaz. Ces différences sont vraisemblablement dues à l'impact de l'utilisation des hottes de laboratoire sur l'efficacité des récupérateurs de chaleur des systèmes #1 et 3 tel qu'il est expliqué précédemment. Dans nos modèles, nous avons fixé l'efficacité de ces récupérateurs. En réalité, pour diminuer les différences au niveau de consommations mensuelles, il a fallu introduire au logiciel DOE-2 une fonction permettant de simuler une cédule appropriée d'utilisation des hottes et de calculer l'efficacité qui en résulte. Cependant, étant donné l'irrégularité d'utilisation des hottes, il nous semble que le modèle validé, sans comporter une telle fonction, peut pleinement servir à évaluer la majorité des mesures d'économie d'énergie.

Tableau 2: Sommaire des erreurs relatives à la consommation de gaz et d'électricité

Mois	DOE (électricité)	Facture (électricité)	Ereur (abs.) relative	DOE (gaz)	Facture (gaz)	Erreur abs.) relative
	MWh	MWh	%	m^3	m^3	%
1	88.47	93.85	6.1	8298	7309	13.5
2	87.05	90.17	3.6	10667	11339	5.9
3	87.66	83.08	5.2	7193	6898	4.3
4	79.82	72.87	8.7	4780	4148	15.2
5	73.11	69.25	5.3	1525	1098	38.9
6	74.49	70.08	5.9	365	331	10.1
7	90.30	86.69	4.0	477	443	7.7
8	84.09	86.11	2.4	385	522	26.1
9	76.62	79.59	3.9	435	574	24.2
10	76.02	74.50	2.0	452	452	0
11	94.52	98.39	4.1	1402	919	52.5
12	93.33	101.76	9.0	10089	12187	17.2
Total	1005.48	1006.34	0.09	46069	46222	0.33

REMERCIMENTS

L'étude présentée dans cet article réalisé par l'École de technologie supérieure fait partie d'un mandat octroyé par GES Technologies inc. dans le cadre d'un projet de développement du logiciel Best Building Facility Management.

CONCLUSION

Les éléments originaux de la procédure de validation présentée dans l'article sont les suivants :

Premièrement, la procédure de validation est dynamique, parce que la normalisation des résultats de simulation, ainsi que la répartition mensuelle des factures d'énergie sont effectuées en tenant compte des températures de base pour les degrés-jours de chauffage et de refroidissement. Ces températures, comme il est démontré dans cet article, peuvent varier suite aux ajustements apportés pendant la validation, tandis que dans la majorité de cas, ces températures, une fois choisies, sont considérées comme constantes. Le choix de ces températures est réalisé selon le critère présenté dans l'article. Il est à souligner que les températures de base pour les degrés-jours ont un impact indirect mais très important sur l'ajustement des modèles de simulation pendant la validation;

Deuxièmement, la validation est réalisée en tenant compte des fractions de consommations mensuelles relatives au chauffage, au refroidissement et à la consommation de base identifiées à partir des factures. La comparaison ainsi réalisée permet de cibler davantage les secteurs à ajuster. Comme il est présenté dans cet article, la procédure appliquée à un bâtiment complexe du point de vue de diversité énergétique s'avère efficace et rapide, parce que les critères de validation ont été atteints après seulement cinq itérations;

Troisièmement, les modifications apportées aux modèles de simulations portent en premier lieu sur les données techniques cueillies ayant un degré de véracité faible. Il est cependant à noter qu'un relevé détaillé de données techniques est indispensable pour ce type de validation.

BIBLIOGRAPHIE

1. DOE-2 Engineers Manual, Lawrence Berkeley Laboratory and Los Alamos National Laboratory, November 1982.
2. Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 1997
3. Fundamentals, ASHRAE Handbook, Atlanta, 1997.
4. Air-Conditioning Systems Design Manual, Prepared by the ASHRAE 581-RP Project Team Harold G. Lorsch, Principal Investigator, Atlanta, 1993
5. Sonderegger, R. (1998), A Baseline Model for Utility Bill Analysis Using Both Weather and Non-Weather Related Variables, ASHRAE Transactions, TO-98-12-2