eSim 2018
«BUILDING SIMULATION TO SUPPORT BUILDING SUSTAINABILITY»
IBPSA Canada
The Canadian Chapter of the International Building Performance Simulation Association
Le chapitre canadien de International Building Performance Simulation Association

Monitoring, surdimensionnement et optimisation des systèmes CVCA existants

Magdalena Stanescu[1], Stanislaw Kajl[1], Louis Lamarche[1], Abdelkader Mekhissi[1]

[1] École de technologie supérieure, Montréal, Canada

Résumé: *L'article présente les résultats de monitoring des systèmes CVCA d'un campus universitaire démontrant que le surdimensionnement des systèmes existants est un problème réel. Parmi les raisons du surdimensionnement le regroupement des zones par systèmes peut en être une cause importante. Le monitoring des systèmes desservant des zones sur la même façade confirme cela, mais le monitoring du système desservant des zones situées sur deux façades indique qu'il y a aussi d'autres raisons. L'étude présentée dans l'article consiste à comparer, à l'aide de la simulation, les résultats du bâtiment existant, de base et optimisé en appliquant la méthode d'optimisation de conception préliminaire de systèmes CVCA. Cette comparaison démontre que le regroupement des zones desservies par système permettrait de réduire le débit total des systèmes CVCA tout en respectant le critère d'optimisation, soit la diminution de la consommation d'énergie du bâtiment.*

Keywords: *systèmes CVCA, surdimensionnement, monitoring, conception, optimisation, simulation*

INTRODUCTION

D'une façon générale, les systèmes CVCA (chauffage, ventilation conditionnement d'air) ont pour mission d'assurer le confort des occupants d'un bâtiment, mais ils sont reconnus comme les plus énergivores dans les bâtiments commerciaux et institutionnels. Pour améliorer leur efficacité énergétique, il faut optimiser l'opération de ces systèmes, mais cette optimisation ne donnera pas les résultats escomptés sans optimiser leur design. Parmi les objectifs de design, nous pouvons citer, par exemple: *(i)* capacité appropriée du système permettant de couvrir la demande du bâtiment dans les conditions d'opération les plus défavorables, *(ii)* efficacité énergétique pour diminuer les coûts annuels d'opération, *(iii)* coûts minimums de cycle de vie. Le premier objectif mentionné ci-dessus mène toujours à un certain surdimensionnement du système, même si les deux autres objectifs doivent plutôt assurer l'inverse. Les systèmes CVCA sont dimensionnés pour satisfaire aux conditions de design, cependant la majorité du temps ces systèmes fonctionnent à des charges partielles avec le débit du ventilateur qui peut être souvent prêt de la limite inférieure de 50%. Dans ces conditions, la température de soufflage doit être ajustée ce qui peut entraîner, dans le cas de demandes très diversifiées des locaux desservis, un sur-refroidissement ou une surchauffe des certains locaux et nuire ainsi au confort des occupants. Les facteurs de sécurité appliqués par les concepteurs font en sorte que les systèmes atteignent rarement 100 % de la capacité installée même si les conditions de design se produisent (2,5% selon le CNB 2015). Le surdimensionnement des systèmes se reflète aussi dans un coût d'investissement plus grand de l'unité CVCA et du système de distribution d'air.

Notre mission serait de faire une analyse exhaustive des opérations des systèmes CVCA à partir des données de monitoring qui couvrent toute la période de refroidissement. Un des objectifs consiste à déterminer les causes du surdimensionnement des systèmes CVCA de l'École de technologie supérieure (ÉTS) qui affecte les opérations des systèmes puisque nous avons constaté que le surdimensionnement pourrait limiter l'ajustement des séquences de contrôle d'opération des systèmes CVCA. Une optimisation des systèmes CVCA pour éviter le surdimensionnement devrait alors être envisagée pendant la conception.

L'article comprend donc trois parties principales qui traitent les sujets suivants:

- le surdimensionnement des systèmes CVCA dans le pavillon A (un système CVCA par façade initialement) basé sur les résultats du monitoring réalisé en 2002 et 2013;
- le surdimensionnement des systèmes CVCA dans le pavillon B (un système CVCA pour deux façades) basé sur le monitoring réalisé en 2013;
- la comparaison réalisée pour le pavillon B en utilisant les résultats du monitoring mentionnés ci-dessus et ceux de la :
    - simulation du bâtiment de base réalisée avec le regroupement des zones comme dans le bâtiment A (un système par façade);
    - simulation du bâtiment avec le regroupement optimisé par l'application de la méthode d'optimisation qui permet aussi de trouver le nombre optimal des systèmes CVCA.

Ces trois parties principales sont suivies par la présentation et l'analyse des résultats et par des conclusions.

ISBN 978-2-921145-88-6

LE SURDIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES DANS LE PAVILLON A

Description sommaire du pavillon A

Le pavillon A de l'ÉTS est un ancien bâtiment à bureaux (brasserie Dow) situé à Montréal qui a changé de vocation en 1997 devenant une institution universitaire et qui a subi un agrandissement en 2007. L'empreinte au sol du bâtiment est de 14 800 m² et sa forme est plutôt carrée. La superficie totale du bâtiment est de 75 372 m² et elle est composée d'un stationnement sous-terrain ainsi que de 5 étages.

Les principales vocations des zones sont: salles de classe, laboratoires, bureaux, corridors/dépôts, cafétéria, cuisine, toilettes et stationnement.

Aperçu des systèmes au pavillon A

18 systèmes centraux desservent les différentes zones du bâtiment selon l'orientation, la séparation entre les zones internes et les zones externes, l'étage ou bien les besoins particuliers de certains locaux. Des thermopompes individuelles raccordées à un réseau d'eau mitigée climatisent les pièces avec des besoins spécifiques, comme les salles de serveurs/télécom.

Figure 1 : Regroupement des zones par rapport aux systèmes pour le pavillon A

La Figure 1 présente un aperçu de la forme du bâtiment et de la distribution des systèmes sur un étage typique (2ème étage du pavillon A).

Avant l'agrandissement du bâtiment, chaque façade était desservie par un système CVCA. Sur la Figure 1, les systèmes CVCA sont présentés après l'agrandissement du bâtiment en 2007. Certains systèmes desservent uniquement les locaux d'une façade (systèmes d'origine) tandis que les nouveaux systèmes construits lors de l'agrandissement du bâtiment desservent des sections de façades avec deux orientations différentes. Également, certains systèmes périmétriques sont devenus des systèmes des zones internes après l'agrandissement comme c'est le cas du système UTA-4 étudié en 2002.

Monitoring des systèmes au pavillon A

Stanescu et al. (2005) ont étudié le surdimensionnement des systèmes CVCA au pavillon A de l'ÉTS et plusieurs systèmes à débit d'air variable (VAV) de ce bâtiment se sont avérés largement surdimensionnés. L'exemple du système à débit d'air variable UTA-4 (13 633 L/s) desservant la façade ouest a été donné et le monitoring réalisé en 2002 a démontré que le débit du ventilateur (*DEB_ALI*) ne dépasse jamais 60% du débit de design (Figure 2). De plus, la température de soufflage en été (*Talim*), est rarement inférieure à 16°C qui est une limite assez élevée pour cette période. Si la température était plus basse, ce qui est tout à fait acceptable pour l'été, le débit pourrait être encore plus faible. Le ventilateur d'alimentation fonctionne tout le temps à basse vitesse et à basse fréquence. Le débit du ventilateur de retour doit être encore plus faible ce qui pourrait le mener à une opération instable. Ce surdimensionnement a aussi des conséquences sur l'opération des valves d'eau glacée et d'eau chaude ainsi que sur l'opération des volets d'air frais et de mélange.

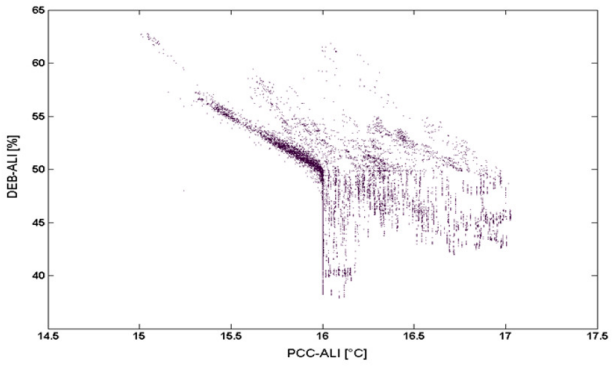

Figure 2 : Variation du DEB-ALI et PCC-ALI (UTA-4, juin 2002), Kajl et al. (2003)

Le monitoring réalisé en juin-juillet 2013 n'a pas été fait sur le même système qu'en 2002 puisque, comme mentionné ci-dessus, le système UTA-4 dessert depuis 2007 des zones internes (transition d'un système périmètre ouest à un système interne 1er, 2ème et 3ème étage). Le monitoring du bâtiment réalisé en juin-juillet 2013 a démontré encore une fois que le débit des ventilateurs enregistré par le système de contrôle se trouve souvent en dessous de 70% du débit de design (Figure 3) comme c'est le cas du système UTA-1 qui dessert la façade nord-ouest du bâtiment.

ISBN 978-2-921145-88-6

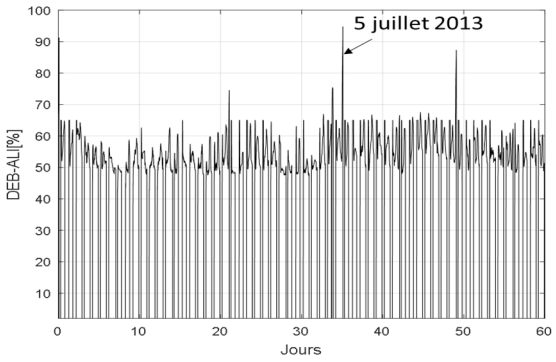

Figure 3: Variation du DEB-ALI pour UTA-1 (juin-juillet 2013)

En analysant les données de monitoring (Figure 3) d'un système similaire à l'ancien système UTA-4, soit le système UTA-1 (14 211 L/s), nous avons toujours constaté la présence du surdimensionnement. En premier temps, il a été observé la présence des pics au démarrage qui peuvent être évités par un meilleur contrôle pouvant, par exemple, limiter le débit du ventilateur à 65% de sa capacité. Ces pics se produisent souvent en période d'été. Sans pouvoir corriger cela durant le monitoring, nous avons appliqué un traitement de données résultant de ces constations, soit de limiter le débit du ventilateur au démarrage à 65% de sa capacité de design.

La Figure 4 présente la variation du débit avec un pic de démarrage (mentionné ci-dessus) et la Figure 5 présente cette variation sans pic en admettant que le débit est limité à 65% du débit de design. Pour y arriver en opération réelle, il faut corriger l'opération du système qui est relativement facile à faire en constatant que la température d'alimentation (*Talim*) atteint son point de consigne (*PCC-ALI*) environ 2 heure après le démarrage du système. Une bonne coordination des démarrages du système et de la machine frigorifique permettrait d'éviter ce problème.

Sur la Figure 4, on constate aussi l'opération anormale du système le soir et la nuit (l'augmentation de la température d'alimentation) qui résulte de l'arrêt normal de la machine frigorifique et de l'opération prolongée du système pendant la nuit qui n'est pas nécessaire. Le traitement de données consiste donc à corriger les opérations mentionnées ci-dessus comme montré sur la Figure 5. Il est à noter que la température d'alimentation reste telle que mesurée.

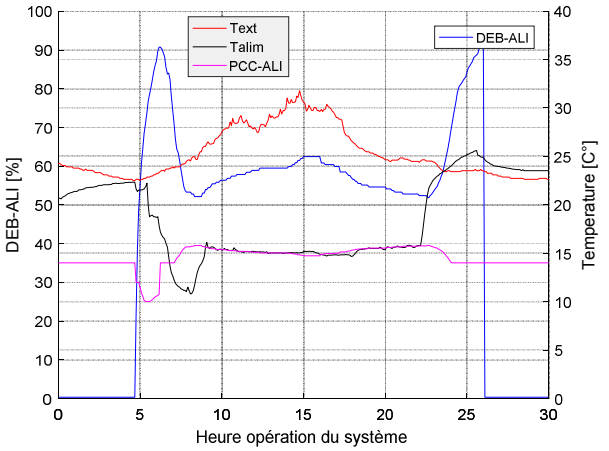

Figure 4: Variation journalière du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-1, 5/6 juillet 2013)

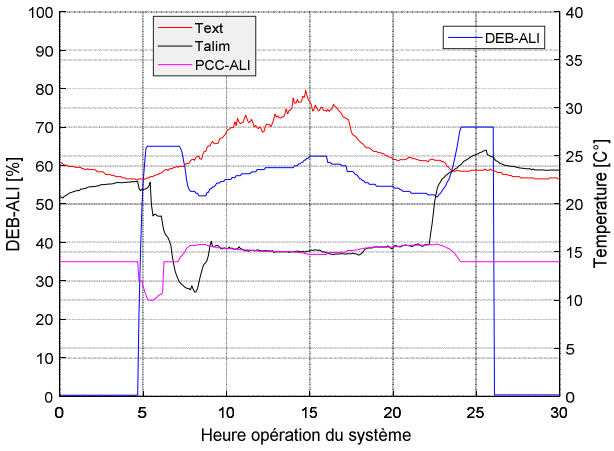

Figure 5: Variation journalière du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-1, 5/6 juillet 2013) après le traitement de données

La Figure 6 présente les données du monitoring après ce traitement et nous pouvons facilement constater que le ventilateur du système UTA-1 fonctionne rarement au-dessus de 65% de sa capacité de design.

ISBN 978-2-921145-88-6

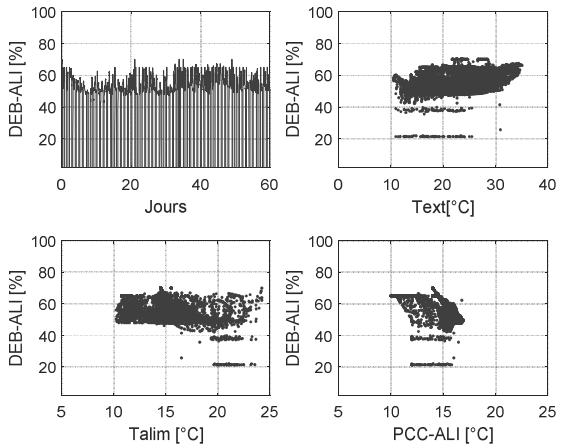

Figure 6: Variation du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text après le traitement de données (UTA-1, juin-juillet 2013)

LE SURDIMENSIONNEMENT DES SYSTÈMES DANS LE PAVILLON B

Les systèmes CVCA dans le pavillon B de l'ÉTS présentent un meilleur regroupement des zones par système comparativement au pavillon A : on retrouve des systèmes desservant deux façades versus un système par façade dans le pavillon A. C'est pour cela que le pavillon B nous a servi comme sujet de monitoring afin d'analyser l'atténuation du surdimensionnement par la diversification du regroupement des locaux lors de la conception.

Description sommaire du pavillon B

Le pavillon B a été construit en 2004 et il est situé à Montréal. La superficie simulée totale du bâtiment est de 28 598 m² et elle est composée d'un stationnement sous-terrain ainsi que de 5 étages. L'empreinte au sol du bâtiment est de 4 639 m². Les principales vocations des zones sont: salles de classe, bureaux, gymnase/salle d'entraînement, cafétéria, cuisine, laboratoires, vestiaires, corridors/dépôts, toilettes et stationnement.

Description des systèmes CVCA

Il y a 7 systèmes CVCA dans le bâtiment, soit:

- 4 systèmes VAV (volume d'air variable) desservant ces zones: salle de classe, bureaux, corridors, salle d'entraînement et des petites cuisinettes (UTA-102, UTA-103, UTA-104, UTA-107). Le regroupement des zones desservies par les systèmes est montré sur la Figure 7, sauf pour le système UTA-107, qui alimente la salle d'entraînement à l'est du bâtiment.
- 2 systèmes CAV (volume d'air constant), desservant les deux gymnases ainsi que la salle mécanique au 4ième étage (UTA-105 et UTA-106). Comme les vocations de ces zones sont si spécifiques, nous ne les considérons pas dans notre optimisation.
- 1 système 100% air neuf (UTA-101), pour la garderie et le bar universitaire.

Les heures de démarrage et d'arrêt des systèmes sont différentes selon le système et les journées de fonctionnement (jours de semaine, jours de fin de semaine, évènements spéciaux). L'horaire d'opération des systèmes durant la semaine est de 6h à 23h (17 heures par jour).

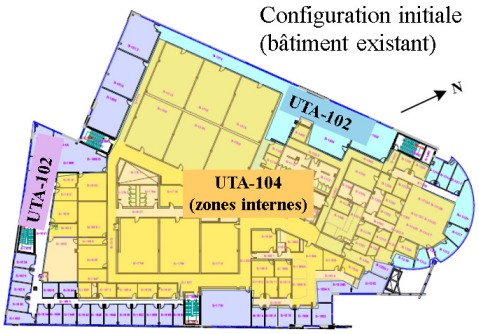

Figure 7: Regroupement typique des zones par rapport aux systèmes pour le bâtiment existant (1er étage du pavillon B)

Les pièces avec des besoins spécifiques, comme les salles de serveurs/télécom sont desservies par des thermopompes individuelles qui sont raccordées à un réseau d'eau mitigée.

Les unités UTA-102 (15 802 L/s, alimentation sud-ouest/ sud-est) et UTA-103 (4 481 L/s, alimentation nord-ouest/ nord-est), deux systèmes qui desservent les zones périphériques du bâtiment sur plusieurs étages, font l'objet de monitoring.

Monitoring du système UTA-102

Le nuage de points de la Figure 8 présente les variations du débit d'alimentation (*DEB-ALI*), de la température extérieure (*Text*), de la température d'alimentation (*Talim*) et de son point de consigne (*PCC-ALI*). L'analyse de ces données nous a permis de constater des opérations de démarrages non optimaux du système (comme dans le pavillon A ci-dessus) et, en plus, d'observer que le système UTA-102 parvient à atteindre à plusieurs reprises des capacités très proches de celle de design. En effet, le dimensionnement du système UTA-102 semble être bien justifié.

Les démarrages non optimaux et le mauvais contrôle des températures d'alimentation (erreurs de 2°C par rapport aux points de consigne) demeurent les principales anomalies constatées au niveau de l'opération du système UTA-102.

ISBN 978-2-921145-88-6

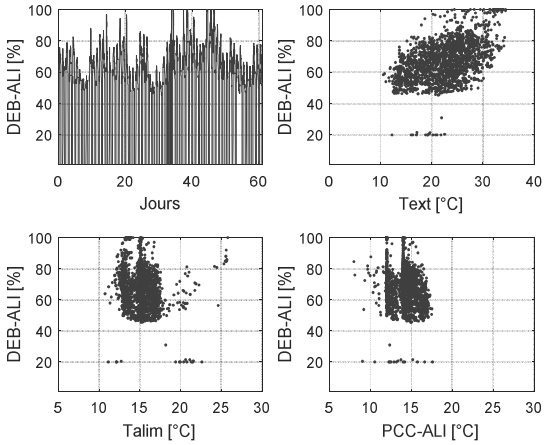

Figure 8: Variation du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-102, juin-juillet 2013)

Les températures d'alimentation supérieures à 18°C sont provoquées principalement par le redémarrage du système après l'arrêt imprévu de la machine frigorifique, comme c'est le cas de la journée du 4 juillet (Figure 9). Sur cette figure, on constate un arrêt de ventilateur entre 16h30 et 17h30 tandis que la machine frigorifique est, selon la variation de la température d'alimentation, arrêtée plus tôt aux environs de 16h30.

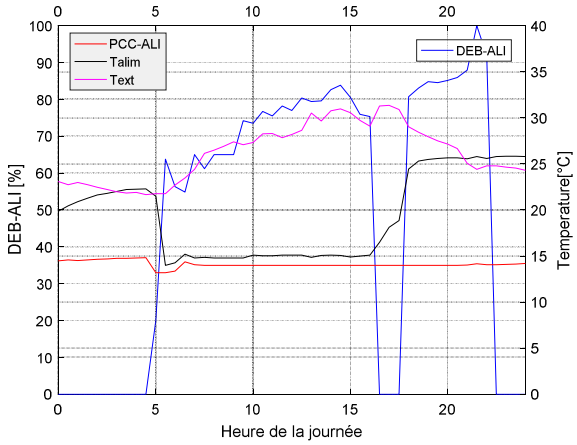

Figure 9: Variation journalière du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-102, 4 juillet 2013)

Monitoring du système UTA-103

La Figure 10 présente les résultats du monitoring après le traitement des opérations non optimales de démarrage du système UTA-103 (comme les démarrages mentionnés ci-dessus). On observe que le système fonctionne la majorité du temps à 60% de sa capacité de design.

Un dépassement de 80% de sa capacité de design est constaté pendant l'occupation du bâtiment et, cela, uniquement pour deux journées (le 5 et le 17 juillet 2013).

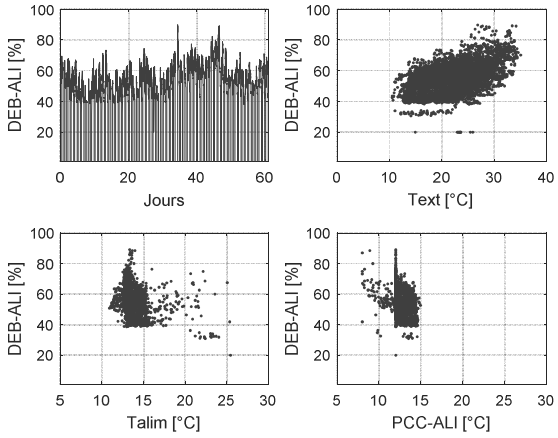

Figure 10 : Variation du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-103, juin-juillet 2013)

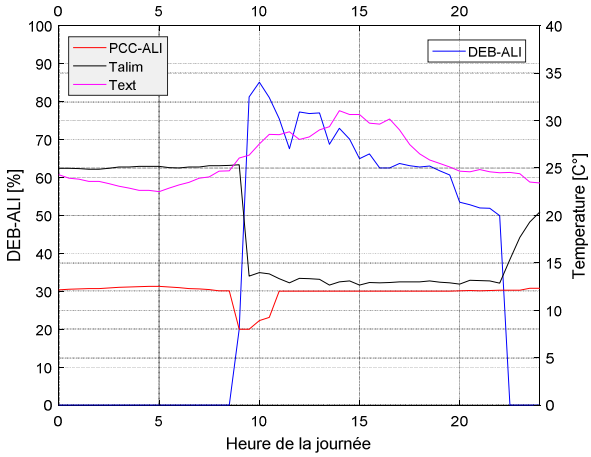

Figure 11: Variation journalière du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-103, 5 juillet 2013)

Tout d'abord, l'opération du système pour le 5 juillet 2013 (Figure 11) est affectée par le démarrage retardé du système par rapport au démarrage habituel. La température d'alimentation n'a jamais atteint le point de consigne et, en plus, la baisse de cette température s'est amorcée en décalage avec le démarrage du système. Pour la journée du 17 juillet 2013 (Figure 12), le débit d'air dépasse 80% à 10h parce que la température d'alimentation dépasse le point de consigne d'environ 1,5°C du démarrage jusqu'à l'arrêt du système.

ISBN 978-2-921145-88-6

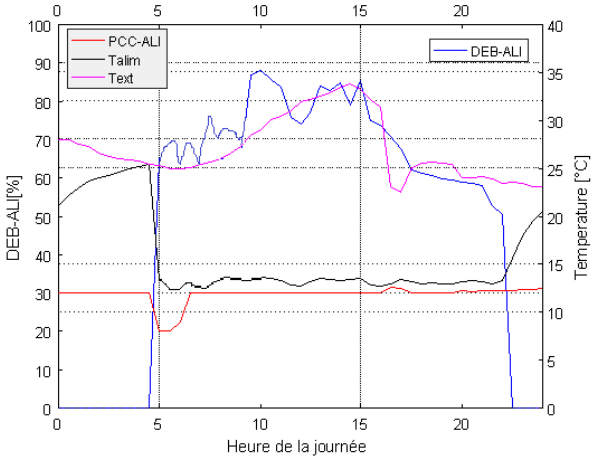

Figure 12: Variation journalière du DEB-ALI, PCC-ALI, Talim et Text (UTA-103, 17 juillet 2013)

Les résultats de monitoring présentés dans l'article démontrent que trois de quatre systèmes étudiés sont surdimensionnés.

- Les débits d'air des systèmes UTA-4 et UTA-1 ne dépassent pas 65% du débit de design et cela souvent avec une température d'alimentation au-dessus de la limite inférieure. Il s'agit de deux systèmes desservant des locaux d'une seule façade du pavillon A.
- Le débit du système UTA-103 dépasse seulement deux fois 80% de sa capacité de design, mais dans des conditions d'opération qui peuvent être améliorées pour réduire ou éviter ce dépassement. Il s'agit d'un système desservant surtout les locaux orientés nord et certains locaux d'orientation est.
- Le système UTA-102 n'est pas surdimensionné et le débit varie de 50 à 100%. Il s'agit du système qui dessert les locaux situés sur les façades sud et ouest du bâtiment ce qui permet d'assurer un profil journalier de charge du système davantage équilibré.

Le regroupement des locaux desservis par le système peut avoir un impact sur le dimensionnement (exemple du système UTA-102) mais, il est évident qu'il y a d'autres éléments qui influencent le processus de conception comme, par exemple, les règles de pratique courante de conception utilisées par le concepteur (i.e. regroupement des locaux par façade, nombre des systèmes utilisés, etc.). Il est à mentionner que les systèmes dans les pavillons A et B ont été conçus par des concepteurs différents. Le chapitre suivant permet d'approfondir cette problématique.

OUTILS DE COMPARAISON

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'impact du regroupement et du nombre de systèmes sur le surdimensionnement des systèmes dans le pavillon B. Pour cela, nous allons utiliser les résultats du monitoring réalisé dans le bâtiment existant et les résultats de simulation pour le bâtiment de base et pour le bâtiment avec le nombre de systèmes et le regroupement optimisés.

Alors, pour fins de comparaison, un bâtiment de base a été créé, simulé et utilisé dans l'analyse des résultats. Il est à noter qu'il ne faut pas confondre le bâtiment de base avec le bâtiment de référence crée par certains logiciels de simulation. Ce bâtiment de base dispose de 6 systèmes VAV: 1 pour chaque façade (4 systèmes VAV en tout), 1 système VAV principalement pour la salle d'entraînement du côté est du bâtiment et 1 système VAV pour les zones internes du bâtiment. Le regroupement des zones du bâtiment de base est tel que celui du pavillon A (un système par façade) et, selon notre expérience, se retrouve parmi les solutions les moins performantes lorsqu'il est comparé avec les solutions issues de l'optimisation (Stanescu et al. 2013).

Le regroupement des zones desservies par les principaux systèmes pour le bâtiment de base est montré sur la Figure 13.

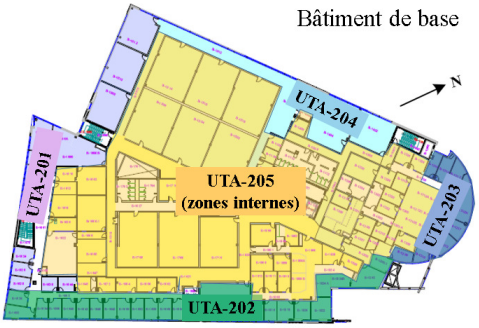

Figure 13: Regroupement des zones desservies par systèmes pour le bâtiment de base

SIMULATION DU BÂTIMENT

L'utilisation d'un outil de simulation détaillé a été nécessaire afin d'obtenir les charges du bâtiment existant nécessaires à l'optimisation comme montré sur la Figure 14.

Le modèle de simulation du bâtiment existant est composé de 75 zones thermiques reparties sur 5 étages. La Figure 7 donne un aperçu du regroupement des zones par rapport aux systèmes.

ISBN 978-2-921145-88-6

Les caractéristiques du bâtiment utilisées pour la simulation sont les suivantes:

- orientation principale nord (azimut nord-est);
- ratio fenêtre-mur: 23% nord, 38% est, 31% sud, 32% ouest;
- RSI = 3,5 m²K/W pour les murs extérieurs;
- RSI = 3,1 m²K/W pour le toit;
- fenêtre double-vitrage Low-E avec argon U=1,32W/m²K, coefficient d'ombrage de 28.

La centrale thermique dispose d'un refroidisseur (450 tonnes/1582,5 kW) qui fournit de l'eau refroidie pour la climatisation des espaces, en utilisant la tour de refroidissement située sur le toit. De la vapeur surchauffée provenant de la centrale de Climatisation et chauffage urbains de Montréal (CCUM) est utilisée pour le chauffage des espaces ainsi que pour l'eau chaude domestique.

Le modèle de simulation du bâtiment a été développé en utilisant le logiciel DOE-2. Les factures énergétiques du bâtiment ont été utilisées pour la validation du modèle et un écart de 2,8% (sur une base annuelle) a été constaté avec le modèle de simulation énergétique, ce qui démontre une bonne fiabilité pour les besoins de cette comparaison. (Stanescu et al. 2007)

Tableau 1: Validation des résultats de simulation

Données	Consommation
Simulation énergétique	4 261 567 **kWh**
Facture énergétique	4 145 556 **kWh**
Différence	2,8 %

Le modèle ainsi validé est utilisé pour calculer les consommations d'énergie des bâtiments existant et de celui de base. Il est aussi utilisé dans le processus d'optimisation tel qu'indiqué sur la Figure 14 pour calculer les charges thermiques de zones et la consommation d'énergie du bâtiment optimisé.

OPTIMISATION

Une méthode d'optimisation est appliquée par la suite au bâtiment existant, proposant le nombre hypothétique de systèmes, le choix de regroupement des locaux desservis par ces systèmes et permettant aussi de vérifier si le surdimensionnement mentionné ci-dessus peut être évité. Cette méthode d'optimisation (CR_FUG), n'utilise que les profils des charges des zones thermiques, une donnée indispensable dans la phase préliminaire de conception. Un facteur d'utilisation global (FUG), définit comme étant le rapport entre la charge de refroidissement réelle et la charge maximale théoriquement possible du système pour une période donnée, est proposé et utilisé dans cette méthode. Maximiser le facteur FUG est le critère d'optimisation qui est équivalent de minimiser la consommation d'énergie des systèmes optimisés. Les liens entre le critère d'optimisation FUG, la consommation d'énergie des ventilateurs et la consommation d'énergie des systèmes CVCA ont été présentés par Stanescu et al. (2009).

La procédure d'optimisation a été décrite par Stanescu et al. (2013) et elle est schématisée de manière simplifiée sur la Figure 14. Les étapes du processus de design suggéré par ASHRAE (1993) ont été respectées et couplées avec l'optimisation.

Le choix des opérateurs génétiques, la sélection de la population et du nombre d'itérations pour atteindre la convergence ont déjà été présentés par Stanescu et al. (2012).

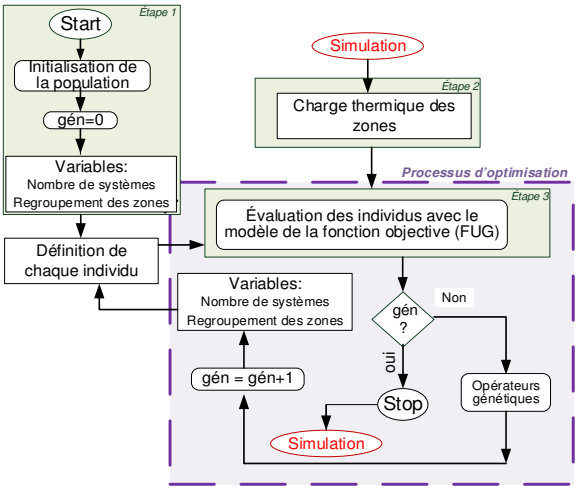

Figure 14: Schéma d'optimisation

Comme montré sur le schéma et expliqué précédemment, nous pouvons constater l'interaction avec la simulation à deux endroits, au début et à la fin du processus d'optimisation.

Identification de la fonction objective et des variables

La procédure d'optimisation peut être caractérisée en utilisant les variables du problème (le regroupement des zones desservies par le système et le nombre de systèmes dans le bâtiment), la fonction objective et des contraintes appropriées.

La fonction objective de la méthode d'optimisation est le facteur d'utilisation global (FUG) défini ci-dessus. Maximiser le FUG mène à diminuer la consommation d'énergie des systèmes CVCA tel que déjà prouvé par Stanescu et al. (2013).

ISBN 978-2-921145-88-6

Les contraintes d'optimisation

La première contrainte est la grandeur des systèmes (C_{FR}), représentée par la limite minimale et celle maximale du débit d'air (AFR). Nous avons limité le débit nominal minimal et maximal du système à 8% et 50% du débit total AFR respectivement (calculé en utilisant la charge maximale du bâtiment). Cette contrainte nous donne indirectement le nombre minimal ou maximal de systèmes possibles, soit entre 2 et 12 systèmes possibles.

La deuxième contrainte est l'étendue des systèmes (C_{SE}) qui tient compte de l'emplacement des zones desservies par chaque système dans le but de réduire les coûts associés aux réseaux de gaines d'air. La méthode d'optimisation du réseau de gaines d'air des systèmes VAV a été développée par Kim et al. (2002). Ce problème est assez complexe dans notre cas à cause de nombreux paramètres qui interviennent et de la taille du bâtiment. Pour cela, nous avons développé une méthode permettant de considérer l'étendue du système de façon simplifiée et indirecte. Ainsi, nous avons proposé la distance entre le centre de gravité des zones desservies par chaque système et le local mécanique qui peut servir d'une bonne approximation pour quantifier l'étendue des systèmes. Chaque distance est pondérée par les débits d'air correspondants et, pour caractériser la distance pondérée, nous avons utilisé le terme « étendue des systèmes » et l'unité de mesure: [$m_{étendue}$]. Les détails de ces deux contraintes ont déjà été discutés auparavant par Stanescu et al. (2015).

Une troisième contrainte a aussi été imposée (C_{HF}). Elle est liée aux horaires d'occupation des zones regroupées et desservies par chaque système. Pour le bâtiment décrit dans cet article, il y a trois types d'horaires spécifiques selon la vocation des espaces: *(i)* type A-11 heures (bureaux, cafétéria: 7h00 à 18h00); *(ii)* type D-14 heures (classes, laboratoires: 8h00 à 22h00) et *(iii)* type J-15 heures (gymnase, salle d'entraînement, vestiaires: 7h00 à 22h00). L'horaire de fonctionnement des systèmes a été créé en considérant l'union des horaires des zones qui se retrouvent sous le même système. Alors, la contrainte C_{HF} a été imposée pour certaines simulations dans le but de minimiser le temps d'opération du système.

RÉSULTATS D'OPTIMISATION ET ANALYSE

Le Tableau 2 résume les informations sur les cas étudiés (bâtiments existant, de base et optimisé) et sur les contraintes appliquées pour chaque cas. Les contraintes d'optimisation C_{FR} et C_{SE} ont été les mêmes que celles utilisées pour le bâtiment de base et pour celui réel. Dans les cas S_2 à S_4, la contrainte C_{HF} a été imposée afin de minimiser le temps d'opération des systèmes.

Les résultats pour les 6 cas étudiés (existant, de base et solutions S1 à S4) sont présentés dans le Tableau 3.

On constate que la solution optimisée S_1 comprends 6 systèmes et que l'introduction de la contrainte C_{HF} résulte en proposition des solutions S_2 à S_4 comprenant 3 systèmes.

Tableau 2 : Les cas étudiés

Contraintes	C_{FR}	C_{SE}	C_{HF} (horaires incompatibles)		
			A&D	A&J	D&J
Bâtiment de base	x	x			
Bâtiment existant	x	x			
S_1	x	x			
S_2	x	x	x		
S_3	x	x		x	
S_4	x	x			x

La méthode d'optimisation permet aussi de réduire la consommation d'énergie des systèmes CVCA proposés. Cette réduction varie dans les solutions S_1 à S_4 et la plus importante est celle de la solution S_2, soit d'environ 26% par rapport au bâtiment de base.

Le regroupement des zones a été proposé principalement pour desservir des zones situées sur une ou deux façades du bâtiment tout en respectant la contrainte C_{SE}. Pour la solution donnant 6 systèmes (S_1 sans contrainte C_{HF}), nous avons noté qu'il y a des systèmes qui regroupent des zones situées seulement sur 2 ou 3 étages du bâtiment.

Tableau 3: Comparaison des résultats entre les bâtiments de base, existant et optimisé

Solution	Nb. de syst.	FUG [%]	Étendue du système, [$m_{étendue}$]	Cons. ventil., [MWh]	Cons. CVCA, [MWh]	Gain énergie CVCA	Débit total (AFR) [L/s]
Bâtiment base	6	75,67	$2,807 \cdot 10^{-4}$	688,57	2691,0	-	115190
Bâtiment existant	4	77,20	$2,816 \cdot 10^{-4}$	657,05	2544,9	5,42%	111150
S_1	6	84,37	$2,794 \cdot 10^{-4}$	595,37	2105,4	21,75%	105375
S_2	3	84,30	$2,672 \cdot 10^{-4}$	557,49	1991,8	26%	107908
S_3	3	84,43	$2,681 \cdot 10^{-4}$	558,57	1993,8	25,9%	108166
S_4	3	83,23	$2,735 \cdot 10^{-4}$	597,07	2112,5	21,5%	105904

Dans le Tableau 3, on présente une comparaison du débit total du bâtiment même si l'article porte sur le surdimensionnement des systèmes CVCA basé sur le monitoring de certains systèmes. Il est impossible d'évaluer l'impact du regroupement des zones desservies par les systèmes optimisés sur leur surdimensionnement, parce qu'en changeant le regroupement des zones, les systèmes

ISBN 978-2-921145-88-6

ne sont plus comparables. C'est pourquoi dans le Tableau 3 on présente le débit total de systèmes desservant le bâtiment pour chaque solution. Premièrement, on constate que le débit dans le bâtiment existant est inférieur à celui du bâtiment de base. Deuxièmement, on constate que les débits dans toutes les solutions optimisées sont aussi inférieurs à ceux dans les bâtiments existant et de base.

La plus grande différence est celle entre le bâtiment de base et celui de la solution S_1 où on retrouve une reduction du debit total de 8,5% (passage de 115 190 L/s à 105 375 L/s).

Le Tableau 4 présente le débit d'air pour le bâtiment existant (4 systèmes) et pour la solution S_2 (3 systèmes). Il s'agit ici de la solution existante qui est meilleure que celle de base et de la solution S_2 qui est meilleure du point de vue de la consommation d'énergie parmi les solutions étudiées. L'ajout d'information sur le nombre d'heures d'opération par jour démontre que l'utilisation de la contrainte C_{HF} est importante pour la consommation d'énergie même si la diminution du débit total du bâtiment est plus faible.

Tableau 4: Débit d'air et heures d'opération journalieres pour chaque système (bâtiment existant et solution S_2)

	Bâtiment existant				**Solution S_2**		
Système	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**
Débit (L/s)	47538	16876	37640	9097	45122	20616	42171
Débit total (L/s)	111 150 L/s				107908 L/s		
Heures / jour	15	15	15	15	14	15	11

CONCLUSION

L'article présente les résultats du monitoring de certains systèmes CVCA avec différents regroupements des zones desservies par ces systèmes, démontrant le surdimensionnement important des systèmes monitorés.

Tout en sachant qu'il y a plusieurs raisons du surdimensionnement des systèmes CVCA, il semble que le mauvais regroupement des zones sous le même système peut en être une raison importante. Le monitoring des systèmes desservant des zones situées sur une même façade (UTA-4 et UTA-1 du pavillon A) confirme cela. Le monitoring du système UTA-103 du pavillon B, desservant des zones situées sur deux façades, confirme par contre qu'il y a d'autres raisons du surdimensionnement.

L'étude présentée sur le pavillon B consiste à comparer, à l'aide de la simulation, les résultats du bâtiment existant, du bâtiment de base et ceux du bâtiment optimisé (solutions S_1 à S_4) en appliquant la méthode d'optimisation de conception préliminaire des systèmes CVCA.

Les résultats de cette comparaison démontrent que le regroupement des zones desservies par les systèmes CVCA permettrait de réduire le débit total des systèmes CVCA du bâtiment étudié tout en respectant le critère d'optimisation qui est la diminution de la consommation d'énergie du bâtiment.

L'application de la méthode d'optimisation de conception préliminaire des systèmes CVCA pourrait être très utile pour réduire le surdimensionnement des systèmes CVCA.

REFERENCES

ASHRAE. 1993. *Air-Conditioning Systems Design Manual*, Prepared by the ASHRAE 581-RP Project Team Harold G. Lorsch, Principal Investigator. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

CNB. 2015. *Code national du bâtiment – Canada 2015*, Conseil national de recherche Canada, NRC-CNRC, 2015.

Kajl, S., N. Nassif, et M. Daigle. 2003. *Monitoring : un outil d'optimisation de l'opération des systèmes CVCA*, la 1ere Conférence Internationale sur l'Énergie et l'Architecture Verte, Bangkok.

Kim T., Spitler, J.D., Delahoussaye, R.D. 2002. Optimum duct design for variable air volume systems, Part 1: Problem domain analysis of VAV duct systems, *ASHRAE Transactions 108(11): 96-104.*

Kim T., Spitler, J.D., Delahoussaye, R.D. 2002. Optimum duct design for variable air volume systems, Part 2: Optimization of VAV duct systems, *ASHRAE Transactions 108(11):105-127.*

Stanescu, M., Kajl, S., L. Lamarche. 2005. *Optimisation du design des centrales frigorifiques des bâtiments*, CIFQ 2005, Montréal.

Stanescu, M., Kajl, S., Beltran-Galindo, J. 2007. *Performance énergétique des bâtiments – de la simulation à la réalité*, CIFQ 2007, Montréal.

Stanescu, M., S. Kajl, L. Lamarche. 2009. *Choix d'un critère d'optimisation pour la conception des systèmes CVCA*, CIFQ 2009, Lille, France, (2009)

Stanescu, M., S. Kajl, L. Lamarche. 2012. *Evolutionary algorithm with three different permutation options used for preliminary HVAC system design*, BSO2012, Loughborough, UK.

Stanescu, M., S. Kajl, L. Lamarche. 2013. *Simplified optimization method for preliminary design of HVAC system and real building application*, HVAC&R Research volume 19, issue 3, 213-229.

Stanescu, M., S. Kajl, L. Lamarche. 2013. *Comparaison de deux méthodes d'optimisations utilisées pour le design préliminaire des systèmes CVCA*, CIFQ 2013, Reims, France.

Stanescu, M., S. Kajl, L. Lamarche. 2015. *HVAC system design: evolutionary optimization algorithm*, Encyclopedia of Energy Engineering and Technology, Second Edition, 869-881.

ISBN 978-2-921145-88-6