

Efficacité énergétique d'un système multitechnique de contrôle-commande

Manuela Sechilariu, Cristian Demian

UTC, Equipe AVENUES

Université de Technologie de Compiègne, UTC, BP 60319, Compiègne 60203 Cedex, France

manuela.sechilariu@utc.fr

RESUME. La gestion technique des bâtiments est aujourd'hui une technologie disponible et employée pour l'automatisation du fonctionnement des installations techniques du bâtiment. Cette communication porte sur la modélisation et la simulation d'un système de contrôle-commande des fonctions techniques intégrées : éclairage, ventilation mécanique contrôlée avec prise en compte de l'inconfort d'été, chauffage, fermeture / ouverture partielle ou totale des stores extérieurs à lamelles inclinables, détection de personnes, enregistrement de données météo, programmations horaires et hebdomadaires. Ce système de contrôle et supervision est réalisé suivant une logique de gestion énergétique optimale. La loi de contrôle et supervision, implémentée dans un automate dédié à ce rôle, tient compte de différentes variables d'environnement et de celles traduisant l'activité spécifique du bâtiment. Une étude de cas développée en simulation nous permet de démontrer l'augmentation de l'efficacité énergétique du système multitechnique de contrôle-commande applicable dans de nombreux locaux professionnels tertiaires et résidentiels.

MOTS-CLÉS : efficacité énergétique, contrôle-commande, systèmes techniques intégrés.

ABSTRACT. The building control systems is today available technology and used for the automation of the functioning of the technical installations of the building. This communication concerns the modeling and the simulation of a control-command system of the combined technical functions: lighting, controlled mechanical ventilation with the respect of the summer discomfort, the heating, the exterior window blinds, detection of persons, data weather report, hourly and weekly programming. This control-command and supervision system is realized according to an optimal energy management. The law of control and supervision, implemented in a terminal automaton, takes into account various variables of environment and those translating the specific activity of the building. A case study developed in simulation allows us to demonstrate the increase of the energy efficiency of the multitechnical control-command system, which may be applied in numerous tertiary and residential buildings.

KEYWORDS: energy efficiency, control-command, integrated technical systems.

1. INTRODUCTION

La gestion technique des bâtiments (GTB) est aujourd'hui une technologie disponible et employée pour l'automatisation du fonctionnement des installations techniques du bâtiment. Ce système d'aide à la décision, de contrôle-commande et de supervision détecte et prédit la nécessité de modifier un aspect du fonctionnement du bâtiment et pilote, d'une façon intégrée, au moins les principaux équipements techniques du bâtiment. L'automatisation est réalisée en fonction de valeurs de consigne, de conditions d'ambiance, de la demande en énergie et d'autres programmations horaires (Granzer *et al.*, 2006). Un projet de GTB suppose une conception adéquate aux fonctions à remplir avec des objectifs très divers : coûts à ne pas dépasser, technologies maîtrisables par les concepteurs et les installateurs, appareillages disponibles, etc. Il est légitime qu'on pose les questions suivantes : opter pour un bus ouvert, un bus propriétaire ou un mélange des deux ? utiliser quelle information pour quel automate ? ou faire appel à une base de données ? (Sechilariu, 2007-1 et -2) La plupart des réponses

dépendent du savoir-faire des concepteurs. Le rôle essentiel d'une GTB est d'intégrer la totalité des équipements techniques à gérer, avec une logique d'ensemble : maintenir le confort et réduire les consommations d'énergie (Movenkamp *et al.*, 2005). Dans le cas des locaux type « bureau », la maîtrise de la demande en énergie et le maintien du confort impliquent l'éclairage, les stores, le chauffage et la ventilation qui doivent fonctionner ensemble d'une manière cohérente. Ils existent une multitude de régulateurs terminaux multifonctions capables de piloter tous ces équipements. Mais avec quelle garantie de résultats ? L'analyse fonctionnelle est l'étape essentielle avant la programmation et la mise en œuvre. Toutefois, il apparaît comme indispensable de pouvoir réaliser une simulation de la totalité des fonctions à réaliser afin de vérifier la bonne intégration des installations prises en compte. Les outils de simulation existants, le plus souvent associés aux logiciels de programmation des automates, ne fonctionnent pas en intégration multitechnique. L'état de l'art montre que des développements permanents et rapides sont réalisés pour la GTB (Kastner *et al.*, 2005), (Ozadowicz, 2006). Cependant, le peu de travaux de recherche en amont des intérêts industriels, ne permet pas de faire de ces technologies de vrais leviers d'amélioration de performances énergétiques.

Cette communication porte sur la modélisation et la simulation d'un système terminal de contrôle-commande des fonctions techniques combinées : éclairage, ventilation mécanique contrôlée avec prise en compte de l'inconfort d'été, chauffage, fermeture / ouverture partielle ou totale des stores extérieurs à lamelles inclinables, détection de personnes, enregistrement de données météo, programmations horaires et hebdomadaires. Ce système de contrôle et supervision est réalisé suivant une logique de gestion énergétique optimale et de maintien de confort désiré. Les lois de contrôle, implémentées dans un automate terminal multifonction, tient compte de différentes variables météo et de celles traduisant l'activité spécifique du bâtiment. Un outil de simulation a été développé sous MATLAB© et permet de démontrer efficacité énergétique du système applicable dans de nombreux locaux tertiaires.

2. PRESENTATION DU SYSTEME MULTITECHNIQUE

Dans un bureau individuel d'un bâtiment fonctionnel on trouve les installations suivantes :

- éclairage lumière artificielle et naturelle, alimentation en énergie des appareils mobiles
- façade du bâtiment : lumière, ombrage, protection, isolation, transmission thermique, etc.
- chauffage, ventilation, climatisation, refroidissement, humidification, etc.

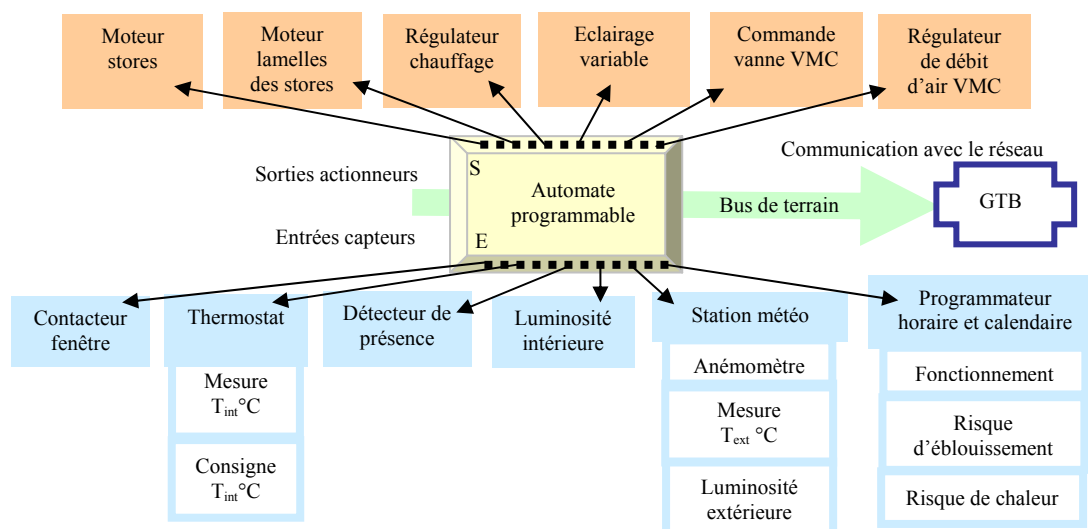
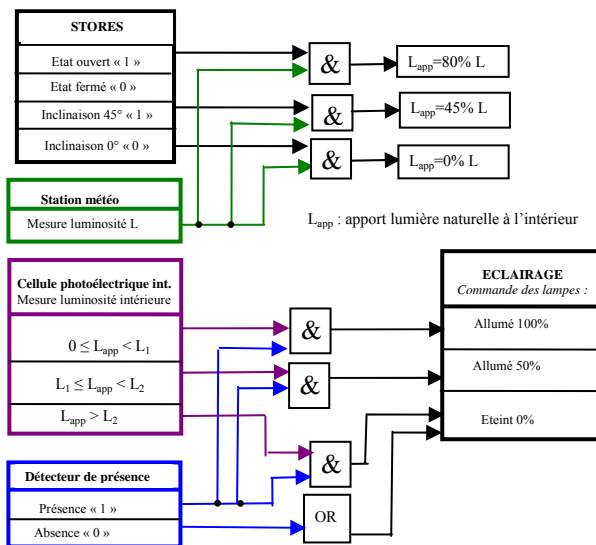


Figure 1 : Gestion intégrée avec un automate terminal multifonction

automatiquement en fonction de l'ensoleillement/position du soleil et de la date/heure. Outre la montée et la descente du store, il est possible de régler l'angle des lamelles afin de protéger contre le réchauffement excessif et contre l'éblouissement, et ceci en fonction de la présence. On évite un réchauffement durant l'été avec la commande stores baissés et l'inclinaison à 45°, et l'ouverture entre les lamelles permet de disposer de la lumière naturelle, si bureau occupé. Ce mode de fonctionnement est actif pendant le créneau de risque préétabli (par exemple, entre 11h et 17h, de mai à août). Le reste du temps, le rayonnement solaire est utilisé comme apport passif complémentaire.

3.2. COMMANDE DE L'ECLAIRAGE

On considère un éclairage artificiel commandé automatiquement pour 2 niveaux d'éclairement.



Etant donné que l'incidence de la lumière n'est pas la même, la sonde de luminosité extérieure est installé en façade du bâtiment et au plus près de la fenêtre du bureau. Le capteur de luminosité intérieure commande l'éclairage artificiel suivant 2 seuils de luminosité L_1 et L_2 . Pour la simulation de ces commandes on considère un apport de lumière naturelle L_{app} en fonction de la position du store, par une approximation en pourcentage. Un calcul plus poussé devrait être fait à ce sujet. L'absence de personne débranche automatiquement l'éclairage, moins la temporisation nécessaire.

Figure 3 : Lois de commande pour l'éclairage

3.3. COMMANDE AUTOMATIQUE DU CHAUFFAGE

La température T_{int} de la pièce doit être réglée automatiquement en fonction des consignes de confort,

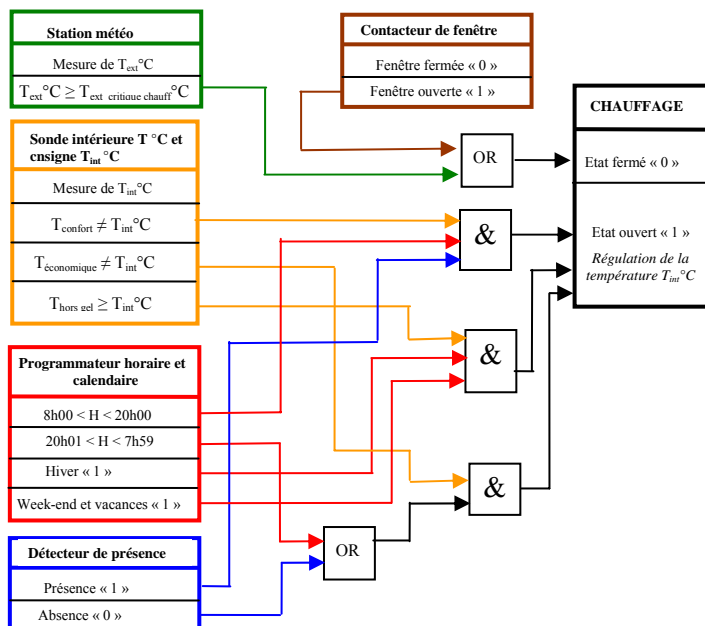


Figure 4 : Lois de commande pour le chauffage

mode économique et hors gel, suivant le programmeur. L'ouverture de la fenêtre entraîne la fermeture du chauffage (état «0»). La présence pendant les heures normales entraîne une commutation sur $T_{confort}$. La nuit, ou lorsqu'on quitte le bureau, le chauffage est régulé suivant le mode économique. On suppose l'existence d'une commande manuelle $T_{confort}$ si présence en dehors de la plage horaire normale, avec commutation automatique sur baisse nocturne au bout d'une heure. En outre, les apports passifs du store et de l'éclairage sont intégrés dans le réglage de la température (mesure T_{int}).

3.4. COMMANDE AUTOMATIQUE DE LA VENTILATION MECANIQUE CONTROLEE

La VMC, outre son rôle de renouvellement d'air, doit intervenir dans la régulation de la T_{confort} . On

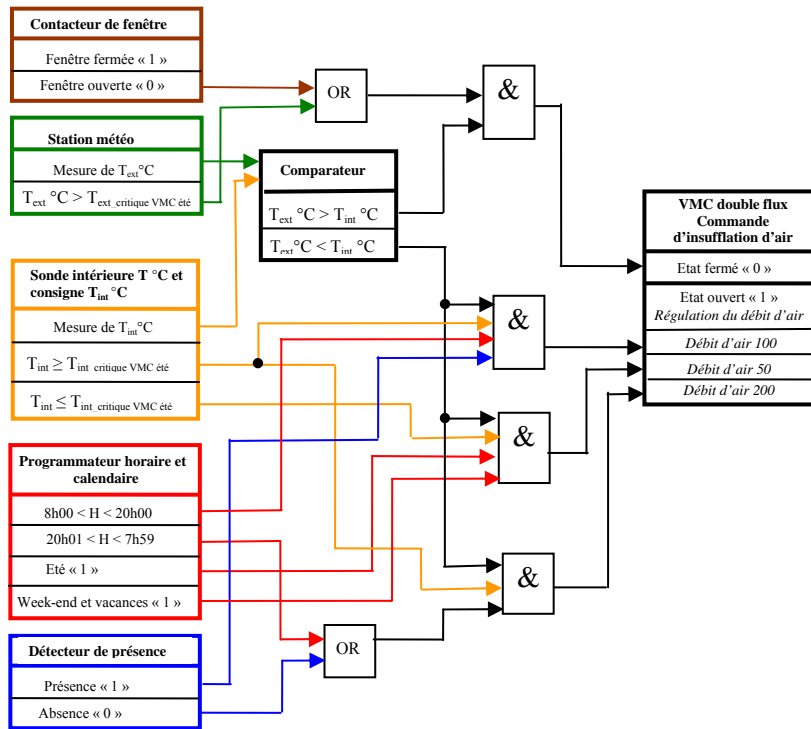


Figure 5 : Lois de commande pour la VMC

considère une régulation du débit d'air, à introduire dans la pièce, à 3 niveaux (50, 100, 200 unités de volume) suivant les besoins et en minimisant la consommation d'énergie. La figure 5 illustre les règles de commande nécessaires pour la saison d'été. Le comparateur entre les températures extérieure et intérieure, associé à l'état de la fenêtre, le programmeur et la présence, permet de déclencher à un certain débit ou non le fonctionnement de la VMC. Des températures de consignes sont rajoutées en tant que valeurs critiques.

L'augmentation maximale du débit d'air pour $T_{\text{ext}} > T_{\text{int}}$ en cas d'absence ou durant la nuit permet de rafraîchir efficacement la pièce, sans nuire avec des courants d'air occasionnés.

4. SIMULATION : TOOLBOX SOUS MATLAB©

La simulation de l'ensemble des commandes décrites auparavant a été développée avec une interface graphique et une programmation des lois de commandes réalisées pour ce type de problème. L'intégration des 4 systèmes décrits est simulée à l'aide des équations d'interaction (approximation).

4.1. INTERFACE DE SIMULATION

Développée sous le logiciel MATLAB, *Graphical User Interface*, illustrée sur la figure 6, contient

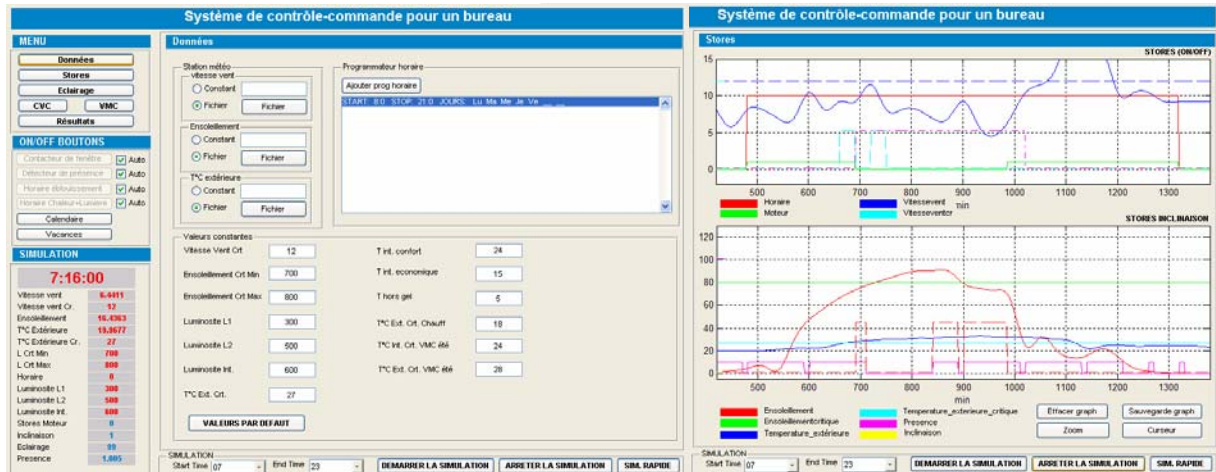


Figure 6 : Interface graphique de la simulation

deux volets : dans le 1^{er} volet on introduit toutes les données nécessaires, dans le 2^e volet, les résultats des simulations sont disponibles à partir de boutons dédiés par système (STORE, ECLAIRAGE, CVC (chauffage), VMC). Les données nécessaires sont intégrées en tant que :

- variables, soit fichiers de mesures continues (ex : vitesse du vent, ensoleillement, T°_{ext} , etc.)
- constantes, soit valeurs de consignes (ex : vitesse du vent critique, $T^{\circ}_{hors\ gel}$, $T^{\circ}_{ext\ critique}$, etc.),
- programmation horaire et calendrier qui permet de démarrer ou d'arrêter le fonctionnement d'un système ; cette fonction permet de définir des graphiques hebdomadaires selon lesquels l'équipement est lancé et arrêté à des heures variables en fonction du jour de la semaine.

Le choix entre deux modes de simulation se présente : simulation pas à pas (1h simulée = 1 minute de temps d'exécution) et une simulation rapide (24h simulée = 1 minute de temps d'exécution). En cas de simulation pas à pas, on peut suivre en temps réel l'évolution du système, et intervenir directement en changeant les constantes et les variables. En cas de simulation rapide, l'outil calcule toutes les courbes à partir des données introduites et équations programmées.

4.2. COURBES DE SIMULATION : COMMANDE DES STORES

La modélisation réalisée pour chaque système a permis d'obtenir des résultats sous forme de courbes de tendance grâce à la simulation sous MATLAB. Les grandeurs sont représentées sous une échelle unique en fonction de temps (0-24h00), ici donnée en minutes. Pour chaque système les valeurs principales de consigne sont choisies. Quant à l'ensoleillement, la vitesse du vent et aux températures extérieures, des fichiers réels météo (jour d'hiver et jour d'été) ont été intégrés.

A travers les courbes obtenues dans le cas de la commande d'un store, nous illustrons la simulation et la validation possible avec l'outil développé. La simulation de cette commande est illustrée pour un jour d'été, pour lequel les courbes d'ensoleillement, de la vitesse du vent et de la température extérieure sont affichés sur les graphiques présentés sur la figure 7, conformément aux légendes données sur la figure 8.

Les valeurs critiques de consigne ont été choisies afin d'éviter les apports solaires et l'éblouissement, mais en laissant pénétrer un minimum de lumière naturelle quand le détecteur de présence prend la valeur binaire « 1 ». On considère un horaire de fonctionnement des activités du bâtiment de 8h00 à 22h00. Le traçage de la position du soleil, par rapport à la façade du bâtiment et par rapport à la fenêtre étudiée, permet d'identifier les créneaux d'été de risques d'éblouissement, de chaleur et les valeurs critiques de luminosité extérieure. Le créneau d'été du risque d'éblouissement est de 11h00 à 12h30 avec une discontinuité entre 11h30 et 12h00 qui traduit la prise en compte d'un masque statique permanent (arbre, ombrage en provenance d'un autre bâtiment). Le créneau de risque de forte chaleur avec luminosité est considéré de 11h30 à 17h12. Les valeurs critiques, minimum et maximum, de luminosité extérieure sont de $700W/m^2$ et respectivement de $800W/m^2$, et la température extérieure critique est de $27^{\circ}C$. Par ailleurs, on considère les enregistrements d'un détecteur de présence dans la pièce étudiée conformément à un jour normal de la semaine.

La modélisation présentée au paragraphe 3.1. est à la base de la programmation de notre outil de simulation. La figure 7 illustre les courbes de la commande des deux moteurs du store : un moteur pour les actions de montée et de descente, et un deuxième moteur pour commander l'inclinaison des lamelles à 45° . Cette simulation permet de vérifier les réponses de la commande des deux moteurs et ainsi le bon fonctionnement du système. Alors, on observe que le store est ouvert, lors des heures

ouvrables du bâtiment, et fermé en dehors, conformément aux horaires de fonctionnement. Le système agit dès lors que les conditions de température extérieure et d'ensoleillement sont remplies :

- store fermé lamelles commandées pour « 45° », pour une présence signalée par le détecteur ;
- store fermé lamelles commandées pour « 0° », pour une absence signalée.

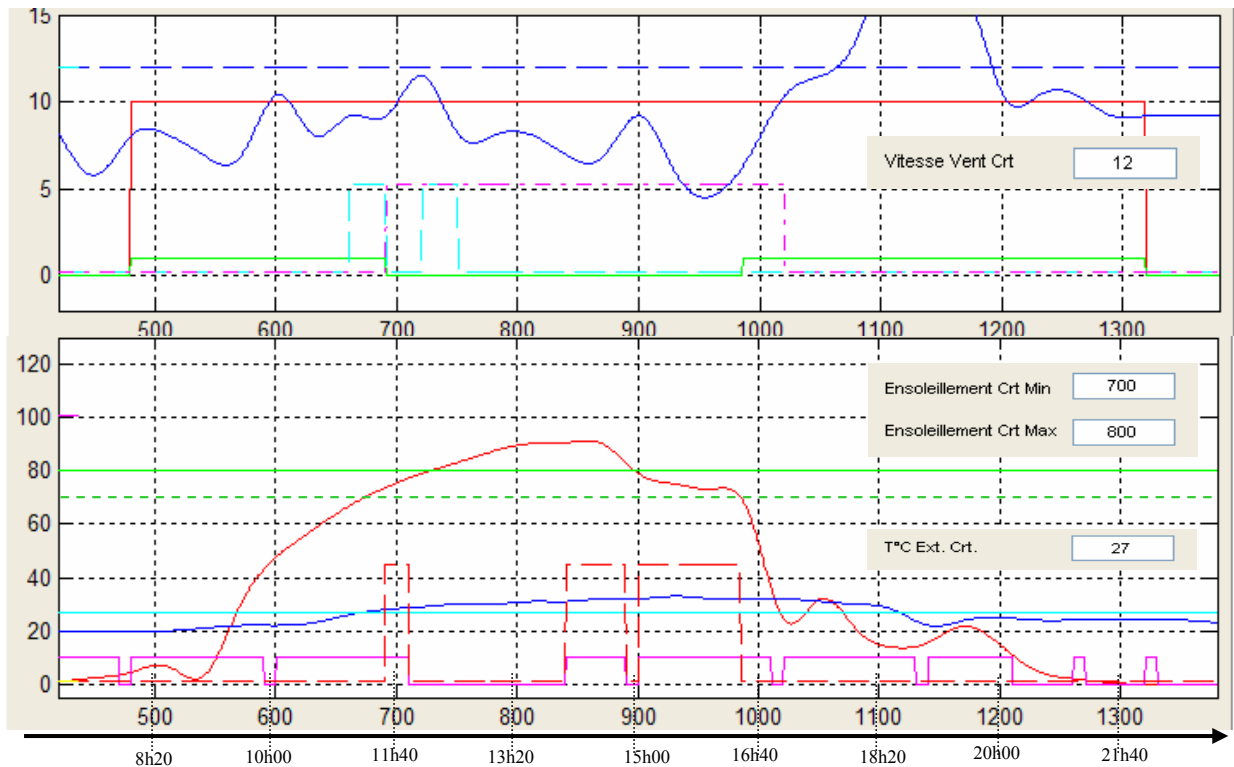


Figure 10 : Courbes des entrées et simulation de la commande pour les deux moteurs

Légende graphique haut :

Vitesse du vent ————
 Vitesse critique du vent - - - -
 Horaire de fonctionnement ————
 Horaire risque d'éblouissement - - - -
 Horaire risque de forte chaleur et luminosité - - - -
 Commande moteur store haut / bas ————

Légende graphique bas :

Courbe d'ensoleillement ————
 Ensoleillement critique maximum ————
 Ensoleillement critique minimum - - - -
 Présence d'une personne ————
 Courbe de température extérieure ————
 Température extérieure critique ————
 Commande moteur store inclinaison 45° - - - -

Figure 8 : Légendes des graphiques de simulation

Le store s'ouvre à nouveau dès que la radiation solaire est inférieure à sa limite minimale de 700W/m^2 , et reste dans cet état jusqu'au changement d'horaire de fonctionnement, soit à 22h00. Le dépassement de la vitesse critique du vent n'intervient pas, car à ce moment, le store est ouvert conformément à l'état demandé pour cette condition. Dans la globalité du système multitechnique présenté au paragraphe 2, l'état des stores est pris en compte pour :

- l'éclairage, avec l'apport de lumière naturelle, calcul de la lumière intérieure mesurée
- le chauffage et l'insufflation d'air neuf de la VMC double flux, avec l'apport solaire passif et le calcul de la température intérieure mesurée.

En rajoutant un 3^e volet à l'interface graphique présentée, cette simulation peut aussi calculer l'énergie dépensée en 24h et l'écart entre le confort atteint et le confort théorique souhaité.

5. EFFICACITE ENERGETIQUE

L'outil présenté permet le calcul des consommations énergétiques totales et aussi celui par équipement (capteurs et actionneurs). Pour cela, il suffit d'entrer les puissances spécifiques à chaque appareil et de programmer la mémorisation des durées de fonctionnement actif, ce qu'un automate terminal à mémoire est capable de faire. Une interface spéciale « efficacité énergétique » aide à la visualisation des graphes de consommation pour l'intégralité du système multitechnique et aussi par lot technique. Ce type de calcul peut être associé à une optimisation multicritères : technique, énergétique, confort et économique. Le critère technique peut analyser les fonctions et leur impact final d'intégration. Au moyen des consommations simulées et des valeurs de consignes choisies, le critère énergétique et respectivement celui de confort permettent de fixer les objectifs. La partie économique concerne l'investissement et son retour. L'optimisation multicritère permet la réalisation des comparaisons de scénarios et d'en choisir le meilleur en fonction de la pondération des critères par rapport aux objectifs réalistes fixés pour le bâtiment concerné. Cette méthode de modélisation, étendue à l'intégralité du bâtiment, est une aide à la conception et un moyen d'évaluation de la GTB.

6. CONCLUSION

En testant les solutions proposées avant de les implémenter et en identifiant très tôt les problèmes d'utilisation, l'outil de simulation présenté permet d'obtenir l'environnement virtuel du local. Ainsi on peut anticiper l'utilisation d'un produit avant que celui-ci ne soit élaboré et valider l'intérêt pour certaines fonctions avant leur implémentation. En intervenant de manière précoce dans le cycle de conception, les conflits structurels ou fonctionnels peuvent être résolus, la conception est validée sans grands risques et les coûts de développement inutiles sont réduits. L'identification des modes d'interaction appropriés permettra aux concepteurs de comprendre les utilisateurs et de confronter leurs attentes aux contraintes techniques. Un dernier grand atout est le calcul automatique des économies d'énergies, en accord avec des scénarios adaptés aux activités du bâtiment concerné.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Granzer W., Kastner W., Neugschwandtner G., Praus F. (2006). A Modular Architecture for Building Automation Systems. *Proc. of the IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, pp 99-102, June.
- Kastner W., Neugschwandtner G., Soucek, S., Newman H. M. (2005). Communication Systems for Building Automation and Control. *Proc. of the IEEE, Industrial Communication Systems*, vol. 93, no. 6, pp. 1178–1203.
- Mevenkamp M., Maye, M. (2005). Energy efficiency in educational buildings using KNX/EIB. *Proc. of Konnex Scientific Conference*, pp CD-ROM, Pisa.
- Ozadowicz A. (2006). Comparative Analysis of KNX and LonWorks. The Intelligent Building Systems in Energy Consumption and Power Quality Monitoring. *Proc. of Konnex Scientific Conference*, pp CD-ROM, Vienna.
- Sechilariu M. (2006). *Automatismes, régulations et bâtiments intelligents*. Editeur UTC, Compiègne.
- Sechilariu M. (2007-1). Domotique : Contrôle-commande et supervision dans les bâtiments. *Conférence Electrotechnique du futur EF'07*, pp CD-ROM, Toulouse.
- Sechilariu M. (2007-2). Efficient Building Control Systems: Comparative Analysis. *Proc. of CISBAT (Conférence Internationale Scientifique pour le BATiment)*, pp CD-ROM, Lausanne.