

CONTRAINTES DU CONFORT D'ETE LORS DE LA REHABILITATION D'UN LYCEE

Bassam MOUJALLED – moujalled@entpe.fr
Richard CANTIN – cantin@entpe.fr
Gerard GUARRACINO – guarracino@entpe.fr
Ecole Nationale des travaux Publics de l'Etat
Département Génie Civil et Bâtiment – URA CNRS 1652
Laboratoire des Sciences de l'Habitat (LASH)
2, rue Maurice Audin
F – 69518 Vaulx-en-Velin Cedex, France

Abstract. *Several high schools in the south east of France are subject to a major work of renovation. These works need to take into account the problem of summer comfort for a better well-being and intellectual performance of students. One of it was chosen to carry a study on the specific constraints for achieving summer comfort. The study consists of surveys, monitoring and simulations. This enables to determine the major causes of the summer discomfort in field and to propose several passive solutions. These solutions were assessed by simulation using a dynamic simulation tool. Thermal standards and regulations were used to evaluate the resulting ambiances. In the paper, the requirements relative to summer comfort and the constraints encountered during the preparation for the rehabilitation of the studied high school will be presented. Results of parametric and simulation studies will be given. It concerns the envelope and the ventilation system focusing on a study of nocturnal ventilation using different possible strategies. And finally, recommendations about summer comfort will be given for future rehabilitation in educational buildings.*

Keywords: *Rehabilitation, building, Summer comfort, Night ventilation, school*

1. INTRODUCTION

En France, alors que le secteur tertiaire compte près de 745 millions de m² chauffés, le parc des bâtiments d'enseignement totalise environ 160 millions de m² chauffés, soit autant que les bureaux (ADEME, 1993). Or la plupart des travaux dans ce secteur "Enseignement" sont constitués essentiellement des travaux de réhabilitation et de rénovation afin de répondre aux évolutions des pratiques pédagogiques.

Avec la prise de conscience en matière de consommation énergétique et de protection de l'environnement, ces travaux doivent s'inscrire également dans une démarche de haute qualité environnementale visant à réduire la consommation énergétique et à contribuer à la création des ambiances intérieures confortables. Ils doivent traduire la volonté nationale et internationale exprimée à travers la réglementation thermique RT2000 en France, le concept

de bâtiments à Haute Qualité Environnementale, et le programme REDUCE Annexe 36 de l'Agence Internationale de l'Energie.

Avec la RT2000, l'objectif est double : diminuer la consommation d'énergie et optimiser le confort d'été des locaux non climatisés, ce qui est une nouveauté par rapport à la réglementation précédente en matière de qualité des ambiances.

Dans les bâtiments d'enseignement, le confort a un impact sur les performances intellectuelles et le comportement des élèves. Pour le confort thermique, le problème qui se pose souvent est celui du confort d'été. Même si ces bâtiments ne sont que partiellement occupés pendant les mois d'été, la densité élevée d'occupation des salles de classe avec les larges baies vitrées utilisées dans un but fonctionnel engendre des problèmes de surchauffe notamment en mi saison, qui correspond souvent à la période des examens.

Afin de contribuer à une meilleure prise en compte du confort en période estivale, nous avons analysé les exigences et les contraintes rencontrées lors de l'opération de réhabilitation du lycée Monge situé en région Rhône-Alpes. Puis à travers une analyse paramétrique, nous avons proposé différentes solutions, en étudiant en particulier la ventilation nocturne et en déterminant son potentiel de rafraîchissement à l'aide du logiciel TRNSYS.

2. EXIGENCES DU CONFORT D'ETE

Dans notre étude, nous traitons les exigences relatives au confort thermique pour les conditions d'été dans un bâtiment d'enseignement. Or actuellement, le confort thermique est le sujet de deux approches différentes et chacune trouve son domaine d'application selon le contexte climatique et le mode de fonctionnement du bâtiment.

2.1 Approche rationnelle

Avec la première approche, le confort thermique est défini comme la satisfaction exprimée quant à l'ambiance thermique. Il est déterminé à travers un indice, le PMV, qui prévoit le vote moyen de sensation thermique d'un groupe de personnes. Le PMV est basé sur un bilan thermique du corps humain, et peut être déterminé en connaissant les 4 paramètres de l'ambiance thermique (température d'air, température moyenne de rayonnement, humidité et vitesse d'air), l'activité et la vêtue des individus.

Le PMV est relié à un autre indice, le PPD, qui établit une prévision quantitative du nombre de personnes insatisfaites. Pour assurer le confort thermique, il est recommandé que le PPD soit inférieur à 10%.

Cette approche fait l'objet de la norme ISO 7730 (ISO 7730, 1994). Elle a été validée, par des enquêtes, pour les bâtiments équipés d'un système de HVAC et pour différentes régions climatiques. Par contre, elle surestime la sensation de chaleur dans les bâtiments non climatisés pour les régions chaudes (Fanger, 2002), ce qui pourra induire une utilisation non consciente de la climatisation active avec les conséquences néfastes sur la consommation énergétique.

2.2 Approche adaptative

La deuxième approche, appelée approche adaptative, est basée sur les résultats d'enquêtes de confort thermique in situ. Ces résultats ont montré que, pour des bâtiments à ventilation naturelle, la zone de confort thermique, déterminée par le PMV, pouvait être agrandie. Les conditions de confort mesurées étaient proches de celles ressenties par les occupants, et étroitement liées à la température extérieure (Nicol, 2002). Ces résultats ont ainsi permis de faire l'hypothèse d'adaptation qui considère des ajustements comportementaux, et qui dépend des attentes et de l'habitation des occupants.

Pour caractériser le degré de liberté dont dispose l'occupant pour s'adapter ou adapter l'ambiance à sa convenance, la notion « opportunité d'adaptation » a été développée. Elle dépend des caractéristiques du bâtiment ainsi que du contexte social.

Cette approche a été formulée par une relation qui donne la température de confort en fonction de la température extérieure. Cette relation a été déterminée par régression à partir des résultats des enquêtes menées in situ dans différentes régions climatiques. Pour prendre en compte la dépendance de la température de confort avec les variations quotidiennes de la température extérieure, une moyenne pondérée de celle-ci sur une séquence de plusieurs jours est utilisée (McCartney, 2002).

Cette approche permet, pour atteindre un confort thermique, de considérer tout d'abord les interactions possibles entre l'occupant et le bâtiment, avant de faire appel à des techniques consommatrices d'énergie telles que, par exemple, la climatisation active.

2.3 Approche retenue

Pour le cas des bâtiments d'enseignement, une salle de classe normale est généralement occupée par une vingtaine d'élèves et un professeur qui a une activité physique plus importante qu'eux. Les moyens de contrôle de l'ambiance (fenêtres, stores, ventilateurs) sont souvent sous le contrôle du professeur, et même si les élèves peuvent les modifier, cela est plus simple pour ceux installés proches des fenêtres ou de l'interrupteur. En plus, les actions prises nécessitent un certain temps pour rétablir le confort, ce qui peut perturber l'attention des élèves pendant une séance de cours ou un examen.

Ainsi, l'approche rationnelle du confort thermique semble être plus pertinente pour le cas des bâtiments d'enseignement pour la saison chaude. En considérant une activité légère (1.2 Met) et un vêtement léger (0.5 Clo), les conditions nécessaires pour le confort thermique pendant la saison chaude sont indiquées dans le tableau 1 (ISO 7730, 1994).

Tableau 1. Exigences du confort d'été (Met=1.2 , Clo=0.5)

Indicateur	Exigence
Température Opérative	$23^{\circ}\text{C} < T_o < 26^{\circ}\text{C}$
Gradient vertical de température	$T_a < 3^{\circ}\text{C}$
Vitesse de l'air	$V_a < 0.25 \text{ m/s}$
Humidité de l'air	$30\% < \text{HR} < 70\%$

Nous utiliserons cette approche dans l'étude du lycée Monge.

3. ETUDE DE CAS : LYCEE MONGE

3.1 Description du projet

Le lycée Monge, lycée technique et professionnel, se situe à Chambéry dans la région Rhône-Alpes. Construit en 1969, le lycée a une surface totale de 33 000 m². Il reçoit, chaque année, 1800 à 2000 élèves. Le lycée se compose de 4 bâtiments principaux : l'internat (4 étages), l'externat (3 étages), les ateliers et Le gymnase.

En 2003, Le lycée a fait l'objet d'un travail de restructuration sur une grande partie des bâtiments. Souhaitant réaliser les travaux suivant une démarche de Haute Qualité Environnementale, la région Rhône-Alpes, maître d'ouvrage du projet, a précisé des critères environnementaux pour ce projet. Le confort d'été était parmi ses priorités.

La figure 1 montre le projet avant et après la restructuration, avec les différents bâtiments du projet, ainsi que leur implantation et leur orientation.

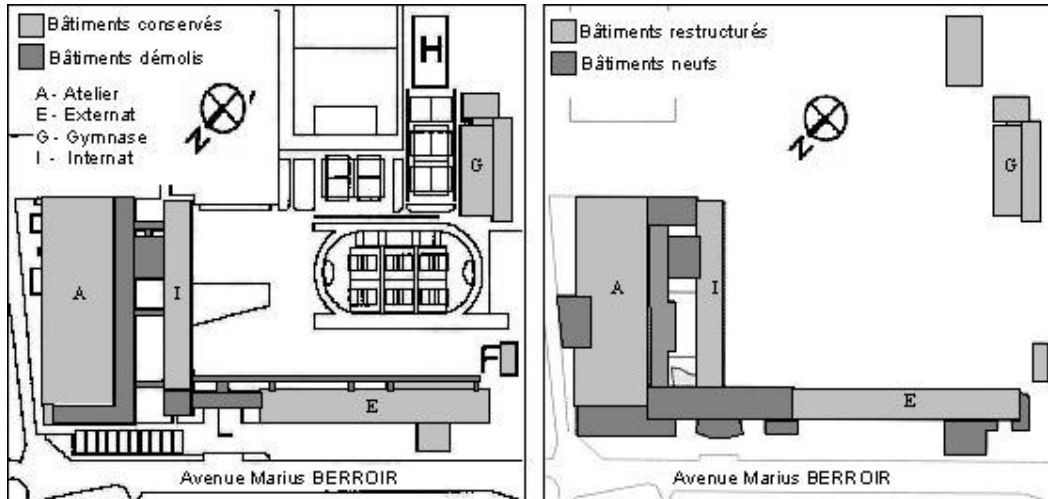


Figure 1 - Plans masse du projet avant restructuration (à gauche) et après restructuration (à droite)

Lors d'une enquête menée par le LASH en amont aux travaux de restructuration, 60 % des occupants se sont plaints d'un problème de surchauffe l'après midi, et 30 % le matin. Le problème d'inconfort en été a plusieurs causes : orientations défavorables (est, ouest), mauvais état de l'enveloppe, protection solaire inutilisable, ventilation naturelle aléatoire...

L'étude paramétrique sur le confort d'été est limitée au projet de réhabilitation des bâtiments internat et externat qui contiennent la majorité des salles de classe. Le bâtiment internat est une barre parallépipédique implantée le long de l'axe SE-NO, et le bâtiment externat le long de l'axe SO-NE.

3.2 Etude paramétrique

En été, les niveaux de température intérieure atteints dans un bâtiment non climatisé dépendent principalement de la température extérieure, des apports internes de chaleur, des apports de chaleur dus au soleil, de la ventilation et de l'inertie du bâtiment (ADEME, 1993). En phase de réhabilitation, la géométrie, la volumétrie, l'implantation et l'orientation étant imposées par le projet existant, les paramètres sur lesquels peut agir le concepteur pour améliorer les conditions de confort sont :

- l'isolation de l'enveloppe du bâtiment,
- l'inertie du bâtiment,
- la surface des baies vitrées,
- la protection solaire des baies vitrées,
- la ventilation.

Pour les bâtiments Internat et Externat, les travaux concernent l'intérieur, la totalité de l'enveloppe ainsi que le système de ventilation. Pour notre étude, nous avons choisi des parois extérieures conformes à la RT2000. La classe d'inertie des 2 bâtiments est moyenne au sens de la RT2000.

Pour assurer un éclairage naturel suffisant, la surface du vitrage est conservée. Par contre, nous avons utilisé des protections solaires verticales vue l'orientation des façades de 2 bâtiments. Des occultations intérieures et extérieures sont considérées dans l'étude.

Pour la ventilation, un système de ventilation mécanique contrôlée simple flux assure le débit réglementaire de $18 \text{ m}^3/\text{h}/\text{personne}$ pendant les heures d'occupation. Ce système est aussi utilisé pour évaluer les potentialités d'une surventilation nocturne en variant le taux de ventilation.

Pour la suite, nous utilisons le logiciel TRNSYS pour réaliser des simulations numériques au cours desquelles différents scénarios seront appliqués aux bâtiments étudiés. La première série de ces simulations est utilisée pour comparer les réponses des bâtiments suivant différentes configurations des protections solaires, sans et avec surventilation nocturne.

Dans la deuxième série des simulations, nous analysons l'influence du débit d'air nocturne et du degré de protection solaire sur le niveau de confort dans les bâtiments.

3.3 Présentation des simulations numériques

Pour mener nos simulations, nous avons défini une salle de classe typique dans chaque bâtiment. Les volumes étudiés représentent un étage courant formé de trois zones où deux zones représentent deux salles de classe donnant chacune sur une façade, et symétriques par rapport au couloir occupant la zone centrale. Les caractéristiques des zones étudiées sont représentées sur la figure 2.

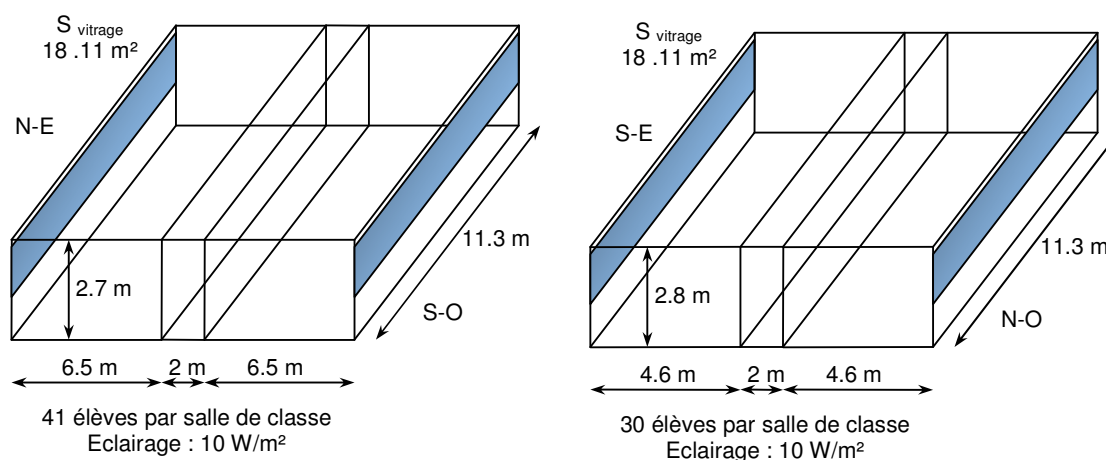


Figure 2 - Caractéristiques des volumes simulés (Internat à gauche, Externat à droite)

Les débits de ventilation considérés pendant les heures d'occupation sont de 3 vol/h par salle de classe assurant le débit réglementaire de 18 m³/h/personne. Les simulations sont effectuées avec le fichier climatique de la ville de Macon (même zone climatique que la ville de Chambéry). Elles prennent en compte la période de mi mai jusqu'au 12 juillet.

Nous allons utiliser les indices PMV et PPD comme critères d'appréciation du confort thermique perçu par les occupants. Ils sont déterminés conformément à la norme ISO 7730 en considérant une vêtue d'été (0.4 Clo), une activité légère assise (1.2 Met), une hygrométrie de 50% et une vitesse d'air de 0.2 m/s.

Effet de la protection solaire. Pour déterminer l'effet de la protection solaire sur le confort d'été, nous avons fait les simulations sans aucune occultation, puis avec une occultation intérieure et finalement avec une occultation extérieure. Le degré de protection solaire τ est défini par le pourcentage de la surface vitrée qui est occultée. Nous avons considéré un degré de protection solaire de 75 % pour les différentes occultations.

La figure 3 montre le profil de la température intérieure dans la salle de classe exposée au S-O. L'occultation extérieure permet un gain dépassant 7°C pour un degré de protection solaire de 75%, alors qu'il est de l'ordre de 3 à 4 °C pour une occultation intérieure. Les résultats sont similaires pour les autres salles de classe.

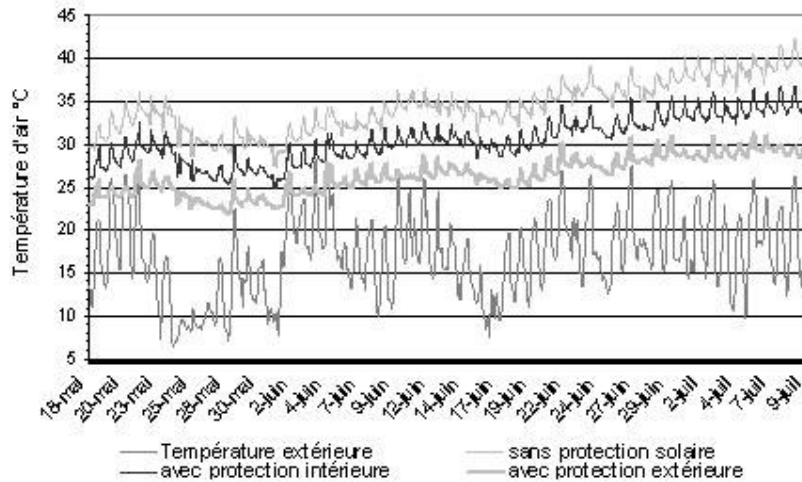


Figure 3 – Profil de la température intérieure dans la sdc exposée au SO.

L'occultation extérieure permet de réduire d'une façon significative les valeurs de la température intérieure, même par rapport à une occultation intérieure, mais ne permet pas d'assurer le confort surtout pour la période allant du début du mois de juin jusqu'à mi juillet. La température intérieure dépasse parfois 30°C.

Potentiel de la ventilation nocturne. La ventilation nocturne consiste à ventiler le bâtiment pendant la nuit afin de rafraîchir sa structure, pour ensuite absorber les flux de chaleur pendant le jour suivant. Ceci permet de réduire la température de l'air et des surfaces intérieures, et d'améliorer le niveau du confort à l'intérieur du bâtiment. L'efficacité de cette technique dépend de l'amplitude des températures extérieures, de l'inertie thermique du bâtiment et des paramètres techniques relatifs aux équipements (période et taux de ventilation) (Blondeau, 1997).

Pour la ville de Chambéry, l'amplitude des températures diurnes est de l'ordre de 10°C. Les planchers des bâtiments sont des dalles de béton de 34 cm d'épaisseur, procurant une inertie thermique moyenne capable de stocker la fraîcheur pendant la nuit, et de la restituer pendant le jour.

Afin de déterminer le potentiel de la ventilation nocturne pour le cas du lycée Monge, nous avons réalisé des simulations sans et avec une ventilation nocturne, en considérant un taux de 3 vol/h dans la plage horaire 20h-8h, tout en maintenant la ventilation hygiénique pendant les heures d'occupation. Les simulations prennent en compte une occultation solaire extérieure avec un degré de protection de 50%.

Les résultats des simulations sont exprimés sur la figure 4 en terme de répartition en fréquence des PMV et PPD pendant les heures d'occupation.

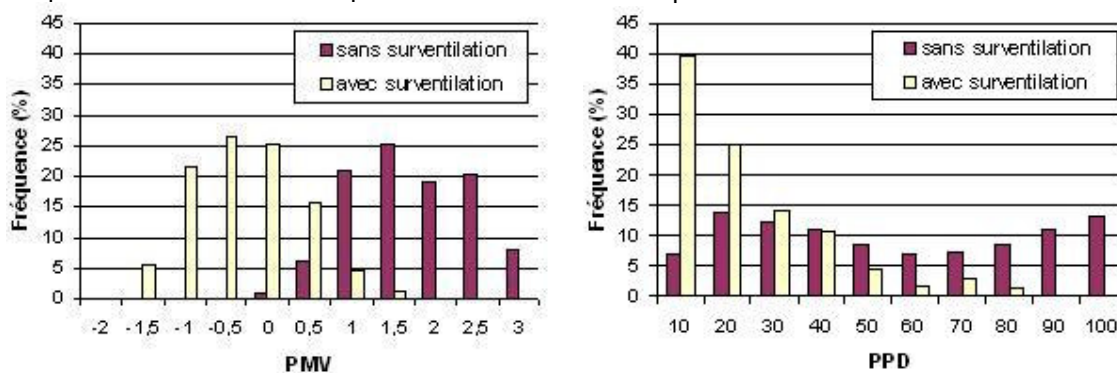


Figure 4 – Répartition en fréquence des PMV et PPD pendant les heures d'occupation dans la salle de classe exposée au SO.

L'analyse des histogrammes montre une amélioration importante du niveau de confort avec la surventilation nocturne ($PPD_{moyen} = 18.5\%$ contre un $PPD_{moyen} = 44.8\%$ sans surventilation nocturne). Le PMV moyen sans la surventilation nocturne est de 1.3 alors qu'il est de -0.3 avec la surventilation nocturne.

Par contre, un problème apparaît au niveau de l'inconfort froid matinal. Ce problème peut être atténué en modifiant les scénarios régulant la ventilation nocturne.

Pour mieux déterminer le potentiel de la surventilation nocturne, nous avons réalisé une série de simulations qui prennent en compte des différents taux de ventilation nocturne (0, 3 et 6 vol/h) et différents degrés de protection solaire (5, 25, 50 et 75%). Dans toutes les simulations, la ventilation nocturne est coupée dès que la température d'air est inférieure à 19°C.

Les résultats sont exprimés, sur la figure 5, en terme de pourcentage d'inconfort du temps d'occupation déterminé par le PMV ($PMV > 0.5$, correspondant à une sensation tiède) ou le PPD ($PPD > 15\%$ correspondant à un PMV en dehors de l'intervalle]-0.75, 0.75]).

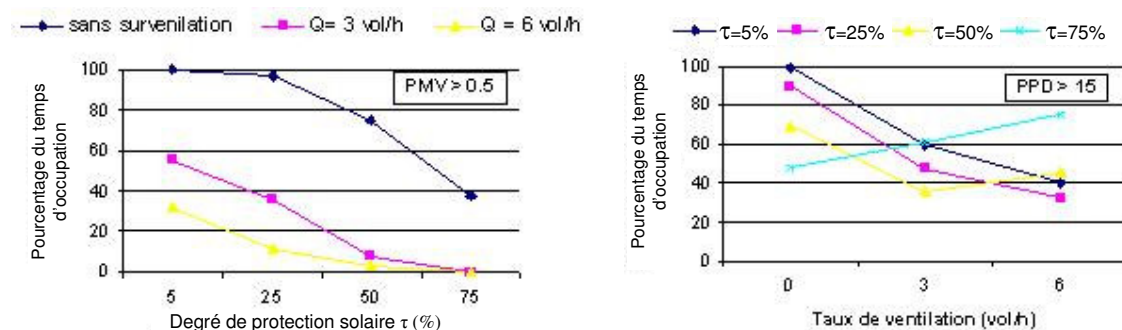


Figure 5 – Pourcentage du temps d'occupation où $PMV > 0.5$ (à gauche) et $PPD > 15\%$ (à droite) pour la sdc SO.

Le 1er graphe de la figure 5 montre l'importance de la protection solaire et du taux de ventilation nocturne sur le niveau de confort. La protection solaire joue un rôle aussi important que le taux de ventilation nocturne. Il est préférable de la renforcer avant de procéder à une augmentation du taux de surventilation nocturne. En effet, au-delà de 50% de degré de protection solaire, le niveau de confort est quasi identique avec un taux de 3 ou de 6 vol/h.

Le 2^{ème} graphe révèle l'inconvénient de la surventilation nocturne. Le pourcentage des insatisfaits commence à augmenter avec le taux de ventilation nocturne, à partir de certaines valeurs du degré de protection solaire, à cause de l'inconfort froid matinal. Ces résultats ont été obtenus avec une vêtue de 0.4 Clo. Le problème peut être résolu en considérant une vêtue moins légère (0.6 Clo) le matin, puis une autre de 0.4 Clo l'après midi pour prendre en compte l'adaptation.

En considérant les deux graphes, le meilleur niveau de confort est obtenu avec une protection solaire extérieure dont le degré est de 50%, et une surventilation nocturne de 3 vol/h. Ceci est vrai pour les quatre salles de classe étudiées.

4. CONCLUSION

La prise en compte du confort d'été lors de la réhabilitation des bâtiments scolaires est difficile en raison de la diversité et de la variabilité des exigences et des paramètres à considérer. Les contraintes de confort doivent intégrer les caractéristiques spécifiques du bâtiment existant avec ses ambiances physiques intérieures et extérieures, mais également les caractéristiques comportementales et les besoins des occupants.

L'étude du projet de réhabilitation du lycée Monge à Chambéry, a montré l'existence d'un inconfort pour les occupants, lié à un problème de surchauffe dû à une orientation

défavorable des baies vitrées, à un manque de protections solaires efficaces et à une ventilation inadaptée.

Avec les contraintes du bâtiment existant, relatives à l'orientation, l'implantation et la géométrie, l'étude paramétrique a montré que des solutions de réhabilitation, simples et efficaces, permettant d'améliorer les conditions de confort d'été, consistent, prioritairement à:

- renforcer l'isolation de l'enveloppe extérieure,
- maintenir une inertie thermique moyenne ou lourde,
- protéger les baies vitrées exposées par des occultations solaires extérieures,
- évacuer la chaleur interne par une ventilation assurant le débit réglementaire.

Cependant notre étude a montré que, dans le cas du lycée Monge, le problème de surchauffe, bien que réduit, persiste malgré la mise en oeuvre de ces différentes mesures. Une stratégie complémentaire de rafraîchissement est donc proposée.

Les simulations ont montré que la surventilation nocturne permet de résoudre le problème de surchauffe dans ce lycée. Elle apporte une nette amélioration du niveau du confort à condition d'être utilisée avec une protection solaire extérieure efficace, et selon des scénarios de régulation évitant l'inconfort matinal dû au rafraîchissement nocturne.

REFERENCES

- ADEME & AICVF, 1993, Enseignement : programmer, concevoir, gérer les bâtiments à hautes performances énergétiques, Pyc Edition, Paris.
- Blondeau, P., Sperandio, M. and ALLARD, F., 1997, Night ventilation for building cooling in summer, *Solar energy*, vol. 61, n. 5, pp. 327-335.
- Fanger, P.O. & Toftum, J., Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, *Energy and buildings*, vol. 34, n. 6, pp. 533-536.
- ISO 7730, 1994, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.
- McCartney, K.J. & Nicol, J.F., 2002, Developing an adaptive control algorithm for Europe, *Energy and buildings*, vol. 34, n. 6, pp. 623-636.
- Nicol, J.F. & Humphreys, M.A., 2002, adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and buildings*, vol. 34, n. 6, pp. 563-572.