

## **ANALYSE DES RESULTATS DE LA REHABILITATION ENERGETIQUE DE 3 LYCEES**

**Richard CANTIN** – cantin@entpe.fr

**Gerard GUARRACINO** – guarracino@entpe.fr

**Marine MORAIN** – morain@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.** *In France, for historical and demographic reasons, many educational buildings must be retrofitted in the next years.*

*However, various studies showed that measurements of energy savings, and improvement of comfort, are rarely applied in the retrofitting operations, because of a lack of knowledge of the decision makers concerning the potential improvements.*

*The program REDUCE of International Energy Agency - ECBCS – Annex 36, and studies aiming at promoting the high environmental quality of the educational buildings in France, showed the existence of a potential improvement of the energy efficiency, and improvement of thermal and visual comfort quality, during the retrofitting operations for educational buildings. Several solutions, allowing a research of a better retrofitting performance, can be identified.*

*In this article, the constraints and the requirements, aiming at improving the programs of retrofitting for educational buildings, will be exposed. Then the results of several french case studies, relating to various retrofittings, will be presented, illustrating improvement solutions.*

**Keywords:** *Rehabilitation, energy, building, school, comfort*

### **1. INTRODUCTION**

Pour des raisons historiques et démographiques, de nombreux bâtiments d'enseignement doivent être réhabilités en France dans les prochaines années.

Dans un contexte mondial visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, deux préoccupations importantes pour les bâtiments à réhabiliter apparaissent : la réduction de la consommation énergétique, et la réalisation de bâtiments intégrant les exigences du développement durable (Cantin *et al.*, 2002a).

Le programme REDUCE de l'Agence Internationale de l'Energie, et les actions dites "Haute Qualité Environnementale" (Association HQE, 1997) conduites par la Région Rhône-

Alpes, ont montré que les mesures d'économie d'énergie sont rarement appliquées lors des réhabilitations, en raison d'un manque de connaissance des décideurs concernant l'efficacité des solutions potentielles d'économies d'énergie. Dans beaucoup de cas, en raison de ce manque d'information, des décisions sont prises sans appréhender la complexité des aspects environnementaux, énergétiques et économiques.

Les bâtiments tels que les écoles, les collèges, les lycées, les universités et les centres de formation, ont beaucoup de similitudes en matière de conception, de réalisation, d'exploitation et de maintenance (ADEME & AICVF, 1993) (Agence Internationale de l'Energie ECBCS Annex 36, 2003).

Afin de contribuer à l'amélioration de futures réhabilitations, nous avons analysé, les exigences et les contraintes d'opérations de réhabilitation. Puis, en ayant recours à l'étude de différents lycées en Région Rhône-Alpes, et, par une démarche méthodique intégrant des diagnostics in situ, nous avons caractérisé des éléments stratégiques pour améliorer les performances des solutions de réhabilitation.

## 2. EXIGENCES

Par leurs structures et leurs fonctions, les bâtiments d'enseignement ont des exigences de réhabilitation souvent semblables. Celles-ci concernent, selon les maîtres d'ouvrage, des préoccupations pédagogiques, réglementaires, économiques, énergétiques, environnementales, etc.

Les exigences énergétiques se traduisent prioritairement par la recherche de solutions permettant une réduction de la consommation. Cependant, l'identification du potentiel de réduction pour une réhabilitation est difficile, même si, la comparaison des performances peut se faire avec d'autres opérations. Par exemple, en France, les bâtiments scolaires consomment, typiquement, de l'ordre de 150 kWh/m<sup>2</sup>.an en moyenne, et peuvent atteindre 250 kWh/m<sup>2</sup>.an dans certains bâtiments plus ou moins anciens. Or des opérations pilotes récentes de réhabilitation, en Allemagne, ont démontré que les consommations pouvaient être réduites à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an (Agence Internationale de l'Energie ECBCS Annex 36, 2003).

Au-delà des enjeux énergétiques, des exigences de Haute Qualité Environnementale peuvent correspondre à une utilisation réduite des ressources naturelles, à une pollution réduite de l'air, de l'eau et des sols, à une production réduite des nuisances (bruit, etc.), et à la recherche d'une relation satisfaisante du bâtiment réhabilité avec son environnement immédiat.

Cette exigence d'une maîtrise des impacts du bâtiment sur l'environnement extérieur s'ajoute à la nécessité de créer un environnement intérieur satisfaisant, présentant des conditions de vie confortables et saines. En effet, une corrélation existe entre la qualité des ambiances d'un bâtiment d'enseignement et la performance des élèves. Le processus d'enseignement dépend du confort intérieur et notamment des aspects thermiques, acoustiques et visuels (High Performance Schools, 2001).

Plusieurs exemples d'exigences du confort pour une salle de classe dans un lycée sont identifiées dans le tableau 1 ci-dessous. Ainsi, des surchauffes (Top >26°C en été), ou des asymétries de rayonnement thermique fortes (parois froides), sont des sources d'inconfort.

De plus, l'implantation, l'orientation, les caractéristiques de l'enveloppe, et l'occupation du bâtiment imposent des contraintes pour les équipements de chauffage, de ventilation, et de rafraîchissement.

Les élèves passant une part importante de leur temps dans les bâtiments scolaires, la qualité de l'air respiré (Concentration CO<sub>2</sub>) présente également un enjeu important de confort et de santé.

Sur le plan sonore, les sources de bruit peuvent être extérieures au bâtiment (véhicules, cours de récréation, etc.) ou intérieures (réverbération et bruits dans la salle, circulation dans les couloirs, bruits entre salles de classe, équipements de chauffage et de ventilation, etc.). Quand les niveaux de bruit (GIAC, 2000) sont trop élevés dans une salle de classe (par

exemple, lorsqu'un niveau de bruit d'équipement permanent est supérieur à 25dB), l'intelligibilité d'un cours et la capacité d'écoute sont diminuées.

Tableau 1. Exemples d'exigences du confort (Cantin et al., 2002b)

Indicateurs	Exigences	Instruments de mesures
Température opérative d'hiver	20°C < Top < 24°C	Capteur de température de globe
Température opérative d'été	23°C < Top < 26°C	
Asymétrie horizontale/verticale	inférieure à 5°C / 10°C	Thermomètre IR
Concentration CO <sub>2</sub>	inférieure à 1000 ppm	Analyseur de gaz
Humidité relative	30% < Hr < 70%	Capteur d'humidité
Isolation avec couloir/ salle	≥ 40dB(A) / ≥ 45dB(A)	Sonomètre
Temps de réverbération	0.6 s < T ≤ 0.8 s	Emetteur/récepteur
Facteur de jour	>2% (80% classes >2.5%)	FJ-mètre
Eclairage d'une table / d'un tableau	335 lux / 400 lux	Luxmètre
Température de couleur	3000 K < T < 4000K	Chromamètre

Le confort visuel, associant éclairage naturel et artificiel, impose des exigences (tableau 1) liées à l'activité de lecture et d'écriture, que ce soit sur un plan horizontal (table) ou vertical (tableaux sombres ou clairs, écrans). Les reflets et les éblouissements dans les champs de vision étant à éviter, l'ajustement continu de la vision, proche et lointaine, doit pouvoir se faire sans gêne. Simultanément, la consommation électrique pour l'éclairage artificiel, par exemple, des circulations, doit être limitée en favorisant les apports de lumière naturelle.

Le diagnostic des contraintes se fait, en partie, sur le site, en considérant le bâtiment, ses occupants et les systèmes consommant de l'énergie. Différentes enquêtes (Engvall & Sandstedt, 2000) complètent ce travail d'investigation afin d'identifier les besoins et les attentes des occupants (élèves, professeurs, personnel administratif et technique, etc.) (Cantin *et al.*, 2002c)

Des exigences liées à l'activité du chantier peuvent être définies pour assurer le meilleur déroulement des cours comme, par exemple, réduire le bruit et la production de poussières.

Les visites et les prédiagnostics, combinés à des approches analytiques (sélection, puis ciblage des points faibles), permettent alors de produire l'état des contraintes propres à une opération particulière de réhabilitation.

Les mesures, non destructives, effectuées à l'aide d'appareils et d'instruments de mesures portables (tableau 1), sont réalisées pour chaque lycée.

### 3. ETUDES DE CAS

Trois lycées, situés dans la région Rhône-Alpes, ont servi de support à cette analyse de la réhabilitation énergétique. Le tableau 2 indique l'importance des travaux de réhabilitation selon les principaux composants de chaque bâtiment (3 étoiles pour des travaux importants).

Tableau 2. Importance des travaux

Lycées	Labé - Lyon (69) 9000 m <sup>2</sup> , 600 élèves	Gambetta - Bourgoin Jallieu (38) 9200 m <sup>2</sup> , 540 élèves	Casanova - Givors (69) 7100 m <sup>2</sup> , 500 élèves
Fin des travaux	2000	1995	2003
Parois opaques	*	*	**
Autres parois	***	*	*
Chauffage	***	***	***
Ventilation	***	*	***
Eclairage	***	**	**

Deux lycées (L.Labé et L.Gambetta) ont effectué plusieurs rentrées scolaires depuis leur réhabilitation, alors que le lycée D. Casanova commence une première année.

Afin d'évaluer l'importance des travaux de réhabilitation, différents critères ont été définis, comme par exemple, la surface de vitrage, la qualité du vitrage, la mobilité des masques solaires, etc. Par exemple, les surfaces des fenêtres (parois non opaques) ont fortement augmenté lors de la réhabilitation du lycée L.Labé (tableau 2 - trois étoiles) alors qu'elles ont peu changé pour le lycée Gambetta (tableau 2 - 1 étoile). Les données relatives aux systèmes de chauffage, d'eau chaude sanitaire, et d'éclairage complètent ce diagnostic.

Le diagnostic s'appuie également sur l'emploi de ratios de consommation, par exemple en kWh/m<sup>2</sup>.an sur la figure 1. Il montre une réduction du ratio de consommation énergétique "Tous usages" de 65% environ pour les lycées Labé et Gambetta.

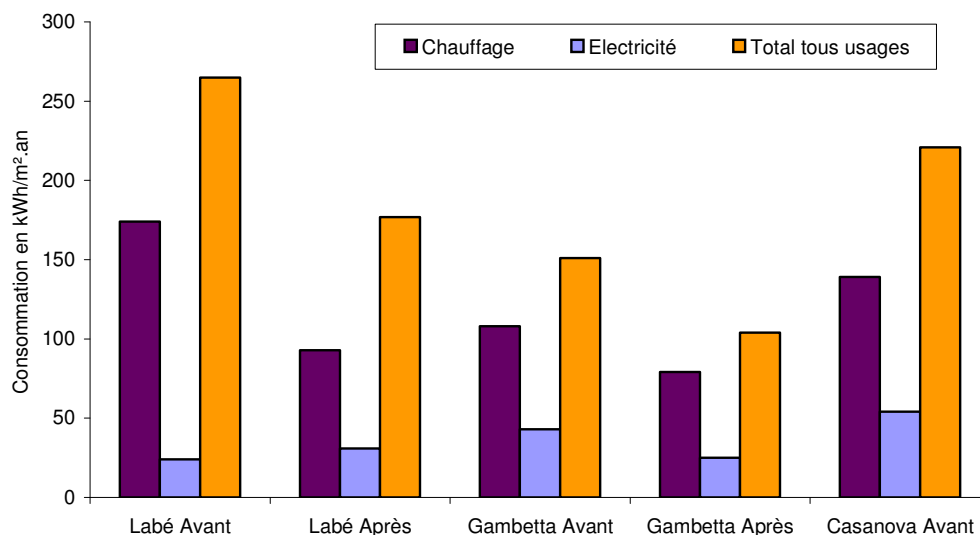


Figure1- Performances des lycées en kWh/m<sup>2</sup>.an

Les réhabilitations peuvent être évaluées comparativement entre elles. Pour cela, l'utilisation des méthodes multicritères, et d'outils de calcul et de simulation, apporte des informations complémentaires plus précises permettant d'apprécier les différentes performances d'une réhabilitation (Cantin *et al.*, 2002b).

Des enquêtes sont faites auprès des occupants (lycéens, professeurs) à l'aide de questionnaires sur la perception de l'environnement intérieur (Agence Internationale de l'Energie ECBCS Annex 36, 2003). Les résultats des enquêtes permettent d'identifier les symptômes d'inconfort ou de dysfonctionnement dans différentes salles de classe des lycées (figure 2).

Simultanément, les mesures in situ des différents paramètres de confort sont effectuées.

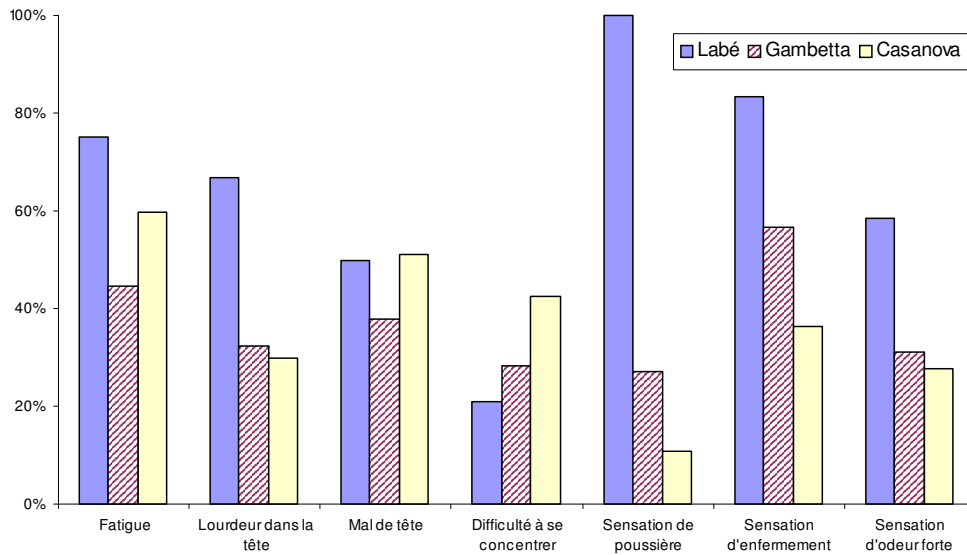


Figure 2- Résultats d'enquêtes sur la perception de l'environnement intérieur

Pour les lycées étudiés, l'enveloppe présente des faiblesses en ce qui concerne les fenêtres et les planchers sur vide sanitaire. L'importance des surfaces vitrées, privilégiant l'éclairage naturel, provoquent les surchauffes estivales.

Par ailleurs, en raison de la difficulté de mise en œuvre des solutions techniques (par exemple avec des vides sanitaires difficilement accessibles), la réhabilitation ne concerne que rarement les planchers.

La figure 3 montre la distribution des déperditions thermiques par composant de l'enveloppe de chaque lycée. Pour 2 lycées (Labé et Casanova), les planchers sur vide sanitaire représentent 15 à 20% des déperditions thermiques, et les déperditions par les fenêtres de 35 à 50% environ. Les déperditions thermiques par les murs, non isolés, lors de la réhabilitation du lycée Gambetta, représentent plus de 70% des déperditions totales.

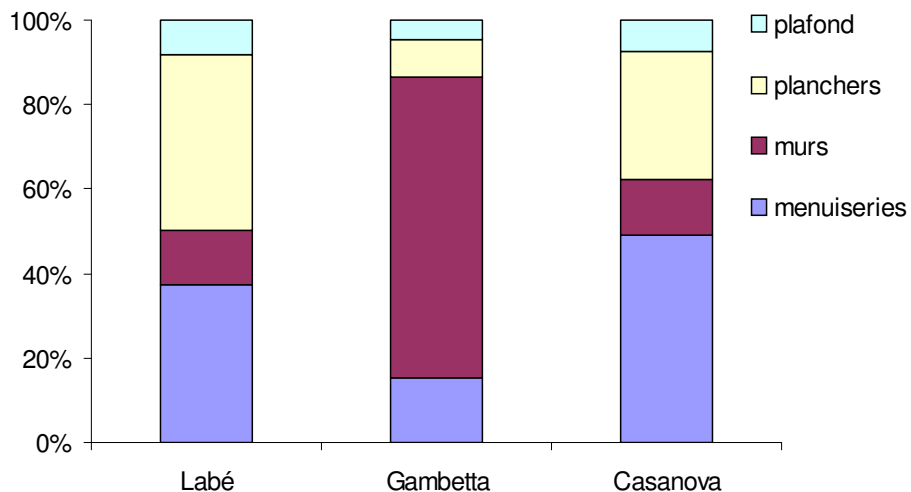


Figure 3- Déperditions thermiques par composant de l'enveloppe

En matière de chauffage, les sources d'énergie (fioul) ont changé en raison de la proximité de réseaux existants (chauffage urbain, électricité et gaz), sans véritablement envisager le recours à des énergies renouvelables.

Les faiblesses qualitatives des ambiances intérieures, identifiées par les enquêtes, sont précisées par des diagnostics ciblés, comme, par exemple, la mesure de CO<sub>2</sub> (tableau 1). Le seuil de 1000 ppm, dépassé dans quelques salles de classe, montre les dysfonctionnements des stratégies de ventilation. Celles-ci, consistant à prévoir parfois des débits par ventilation mécanique plus faibles (inférieurs à 18m<sup>3</sup>/h/élève), en comptant sur l'ouverture manuelle des fenêtres pour répondre aux exigences sanitaires, ne sont pas maîtrisées pour les trois opérations étudiées, les occupants n'étant pas informés de leur rôle dans ces stratégies.

Sur le plan visuel, les solutions faisant appel aux technologies récentes (lampes, installations électriques, détecteurs de présence, etc.) permettent des économies, en assurant des niveaux de confort visuel répondant aux exigences.

Par ailleurs, les trois lycées sont équipés de systèmes de gestion centralisée. Cependant, les diagnostics montrent les difficultés des occupants à s'adapter à des équipements nouveaux pour contrôler par exemple la ventilation ou les stores.

Enfin, il apparaît que la réhabilitation est plus performante quand il y a une implication des occupants (élèves, professeurs, personnel administratif ou technique, etc.) dans la recherche, la mise en oeuvre, et le fonctionnement de solutions techniques innovantes (Agence Internationale de l'Energie ECBCS Annex 36, 2003).

En comparant ces résultats aux études de cas de l'annexe 36 de l'Agence Internationale de l'Energie, nous constatons que les réhabilitations des lycées français, ici présentés, ne sont pas les plus performantes. Des gains de l'ordre de 100 à 200 kWh/m<sup>2</sup>.an ont été obtenus en Allemagne et au Danemark. Les consommations minimales sont inférieures à 50 kWh/m<sup>2</sup>.an pour le chauffage. Les parois opaques les plus performantes possèdent des coefficients de déperditions inférieures à 0,30 W/m<sup>2</sup>.K, et les vitrages ont des coefficients de déperdition d'environ 1,4 W/m<sup>2</sup>.K en Allemagne.

Ainsi, nous constatons que les performances de l'enveloppe du lycée Gambetta sont très faibles ( $U_{murs} = 2,8 \text{ W/m}^2.K$ ), et, au regard des niveaux d'exigences de la réglementation thermique française, les consommations sont élevées ( $C=1,7.C_{ref}$ ). La qualité de l'enveloppe du lycée L.Labé est faible ( $U_{ouvrants} = 4,3 \text{ W/m}^2.K$ ), et les consommations sont mieux maîtrisées, mais des surchauffes estivales sont prévisibles. Quant au lycée D.Casanova, il possède une enveloppe aux performances moyennes et les consommations sont également élevées ( $C=1,2.C_{ref}$ ).

De nouvelles études de cas (lycées Monge et Carnot) sont en cours (Agence Internationale de l'Energie ECBCS Annex 36, 2003), mais déjà, ces premiers résultats fournissent de nouveaux éléments pour les maîtres d'ouvrages soucieux d'élaborer des stratégies de réhabilitation plus performantes pour les bâtiments d'enseignement.

#### **4. CONCLUSION**

Par manque d'information des décideurs, et en raison des interactions multiples entre les composants d'un bâtiment existant, la qualité d'une réhabilitation d'un bâtiment d'enseignement n'est pas toujours à la hauteur du potentiel d'économie d'énergie réalisable, et le confort obtenu n'est pas toujours optimal.

L'étude des 3 bâtiments d'enseignement présentés aide à la compréhension des difficultés pour optimiser une réhabilitation. Les exigences interagissent avec les contraintes existantes.

En considérant les contraintes du bâtiment existant, la définition des exigences peut intégrer les solutions d'amélioration élaborées par combinaison de composantes techniques et humaines. Cependant, les bâtiments d'enseignement présentent des structures semblables, ce qui permet d'envisager la transposition de solutions malgré l'unicité de chaque construction.

Si l'évaluation absolue des solutions de réhabilitation n'est pas toujours possible, l'évaluation relative est souvent plus facile.

Des approches multicritères, complétées par des analyses de sensibilité, peuvent être appliquées afin d'aider le maître d'ouvrage dans sa décision et l'élaboration de stratégies de réhabilitation plus performantes.

De ces travaux, il apparaît que la recherche d'un meilleur confort n'est pas incompatible avec une réduction de la consommation énergétique.

## REMERCIEMENTS

Les travaux présentés, dans cet article, ont été réalisés grâce, en partie, au soutien de l'ADEME et de la Région Rhône-Alpes.

## REFERENCES

ADEME, AICVF. 1993. *Programmer, concevoir, gérer des bâtiments d'enseignement à hautes performances énergétiques*, Ed. PYC.

Agence Internationale de l'Energie – ECBCS Annex 36. 2003. *Retrofitting in Educational buildings – Energy Concept Adviser for Technical Retrofit Measures*. [www.annex36.bizland.com](http://www.annex36.bizland.com)

Association HQE. 1997. *Définition des cibles de la qualité environnementale des bâtiments*. [www.assohqe.org](http://www.assohqe.org)

Cantin, R., Adra, N., Guarracino, G. 2002a *Sustainable Comfort for retrofitting educational buildings*. Sustainable buildings 2002, International Conference, Oslo, Norway.

Cantin, R. Adra, N. Guarracino, G. Nicolas, G. 2002b. *Integration of high environmental quality comfort requirements during the retrofitting of educational buildings*. EPIC 2002 AIVC. The 3<sup>rd</sup> European conference on energy Performance and Indoor Climate in buildings. Vol 1., pp37-42.

Cantin, R. Adra, N. Guarracino, G. Salem, T. 2002c. A dynamic model for managing the energy use in buildings. DMinUCE, Decision Making In Urban and Civil Engineering. 3rd International Conference. London.

Engvall, K. Sandstedt, E. 2000. Sociological approach to diagnostics of risk building (SBS, IAQ) by means of a validated questionnaire. *Housing in the 21<sup>st</sup> century: fragmentation and reorientation*. ENRH 2000. Sweden.

GIAC, Groupement de l'Ingénierie Acoustique. 2000. Bâtiments à Haute Qualité Environnementale. Enseignement - Bureaux - Sports - Loisirs. Cahier des charges acoustiques. Paris. Ed. ADEME.

High Performance Schools, 2001, Best practices Manual, The Collaborative for High Performance Schools: CHPS, March 2001, Volume I, II and III: Design, Planning and Criteria.