

# Optimisation de l'isolation thermique de l'enveloppe

Sophie BRINDEL-BETH  
Architecte DPLG, AICVF  
Sylvie CHARBONNIER

Responsable de l'Assistance technique Isover Saint-Gobain  
Président de la commission technique de la FILMM\*

Dans le premier cas, les solutions sont quantifiables et, par conséquent, les conclusions présentent une fiabilité importante, fonction uniquement du degré d'estimation des coûts.

La deuxième approche est plus subjective. Les notions de service, de confort, sont des paramètres qui, certes, peuvent être appréhendés avec des justificatifs comparatifs, mais qui sont difficilement quantifiables dans l'analyse économique.

## Analyses financières

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées mais elles découlent quasiment toutes des 2 schémas fondamentaux :

- coût global,
- temps de retour.

### Coût global

Les analyses effectuées en coût global permettent de prendre en compte l'ensemble des données, de procéder à des actualisations de coûts, d'effectuer des simulations.

C'est la méthode la plus complète et qui donne les résultats les plus fiables. Elle doit être utilisée pour toutes installations importantes intervenant dans la conception générale du bâtiment. La mise en œuvre, par contre, nécessite des moyens assez lourds, avec un recours fréquent à l'informatique.

### Temps de retour

Cette méthode permet de comparer, du point de vue économique, plus ou moins rapidement selon les éléments utilisés, des solutions techniques chiffrées en investissement et en coût d'exploitation.

La méthode la plus simple est dite « du temps de retour brut ». Le résultat est, en général, exprimé en mois ; elle compare uniquement les investissements et les économies annuelles d'exploitation.

$\tau = \text{économie annuelle} / \text{investissement} \times 12$   
Dans sa stratégie globale, l'entreprise définit des seuils de rentabilité. Par exemple :

- Si  $\tau < 24$  mois : a priori, investissement à réaliser,
- 24 mois  $< \tau < 48$  mois : à approfondir,
- $\tau > 48$  mois : a priori, investissement à exclure.

## Choix des solutions

Pour compléter les analyses techniques et financières effectuées selon les méthodes ci-dessus et affiner la comparaison de plusieurs solutions techniques, il est souhaitable d'appliquer aux résultats une analyse multicritère.

Celle-ci permet de pondérer les critères de choix selon des coefficients attribués en fonction de l'importance que l'on attache à ces critères.

Pour lever certains doutes de subjectivité dans l'attribution des coefficients par exemple, on analyse la sensibilité du résultat final en faisant varier successivement les coefficients affectés aux critères sélectionnés.

Les décideurs seront alors en possession de toutes les données subjectives permettant le choix des solutions à mettre en œuvre dès la conception pour optimiser le compte d'exploitation mais aussi la qualité du service offert au client. ■

Les critères de choix de l'isolation dépendent du choix global de l'enveloppe, les logiques des investisseurs diffèrent très largement et les qualités attendues de l'enveloppe varient selon la nature des locaux : bureaux, salles de spectacles, locaux d'enseignement, chambres de malades...

Les choix concernant l'enveloppe ne peuvent donc être cohérents que si l'on tient compte des préoccupations des acteurs et si l'on définit l'objectif final. Cette approche systémique doit s'appliquer aussi bien lors de la conception que de la réalisation.

\* Fédération des industries de laines minérales manufacturées.

A l'heure actuelle, la question qui semble se poser en matière d'isolation est la suivante : « comment optimiser les choix que l'on doit faire ? » ; c'est-à-dire : « comment s'assurer que ces choix seront les meilleurs possibles ? »

Or, cette question :

- suppose un ensemble de critères qui permettent de comparer les solutions envisagées : en fonction de quoi l'isolation choisie est-elle jugée la meilleure ? et, qui porte ce jugement ?

- présuppose une sélection préalable : quels sont donc les éléments qui président à ces choix ? et, parmi ceux-ci, quels sont ceux qui sont spécifiques aux différentes familles du secteur tertiaire ?

- implique qu'on ne remette plus en cause la nécessité d'isoler, d'autant qu'elle est devenue, depuis 1976 pour les bâtiments neufs du secteur tertiaire, une obligation réglementaire.

Mais cette évidente nécessité fait souvent perdre de vue une partie des différents intérêts de l'isolation pour n'en retenir parfois qu'un seul : la réduction des échanges thermiques entre l'ambiance intérieure et extérieure. Or, l'oubli d'un certain nombre des contributions de l'isolation à la qualité du bâti entraîne bien des erreurs de choix et de mise en œuvre qui vont nuire au résultat final.

Ce sont ces trois points que nous proposons de développer ici.

## Les différentes rationalités conduisant au choix de l'isolation

Les critères de choix sont très divers et pour beaucoup liés au choix global de l'enveloppe. Ils dépendent notamment :

- de la destination du bâtiment et du niveau de confort escompté ;
- de l'investissement envisagé ;
- du prix de revient et de l'aspect général de l'enveloppe projetée ;
- de l'emprise de l'isolant et de l'enveloppe ;
- de la prise en compte de l'entretien et de la durabilité de l'enveloppe ;
- du souci de pérennité du bâti.

Pour chaque projet, les besoins, les exigences de confort, les enveloppes budgétaires diffèrent, si bien que l'ensemble des critères de choix est nécessairement propre à chaque cas.

De même, les préoccupations de chaque acteur sont différentes.

Le maître d'ouvrage est surtout soucieux de l'investissement s'il n'est pas ensuite utilisateur ou gestionnaire du bâtiment. Dans le cas contraire, il privilégiera également la pérennité du bâti, la durabi-

lité et l'entretien de l'enveloppe et ses performances techniques.

Pour l'architecte, vont surtout compter l'aspect de l'enveloppe, les emprises de l'enveloppe et de l'isolant, la performance globale du bâti, l'entretien et la durabilité.

Le thermicien n'est souvent sollicité que pour assurer la performance thermique de l'enveloppe. Il choisit un isolant en fonction des calculs thermiques qu'on attend de lui. Il doit souvent, ensuite, indiquer et dimensionner le système de traitement par l'ambiance. Il ne participe que très rarement aux autres décisions qui peuvent concerner l'enveloppe.

L'entrepreneur est, quant à lui, dans une logique de rentabilité. Il va nécessairement préférer une mise en œuvre facile et des matériaux qu'il peut bien négocier et dont il pourra s'assurer des délais de livraison corrects. Il peut aussi avoir été choisi pour une technicité spécifique qu'il possède et qu'on lui reconnaît. En ce cas, les qualités de l'isolant à mettre en œuvre sont souvent très précises et ne lui laissent que peu d'influence sur le choix. Par contre, son intervention peut être très importante lorsqu'il répond à des descriptifs moins précis.

Ces différents acteurs ont aussi des critères de choix liés aux époques de construction.

Quand les besoins quantitatifs de bâtiments étaient considérables, les critères de rentabilité et d'investissement étaient très importants ; il fallait construire beaucoup et au moindre coût. La répétitivité était un des moyens de réponse. On a pratiqué des politiques de modèles et conçu des solutions-types.

Nous avons hérité de ce mode de pensée qui conduit à désigner par une image et une forme la destination du bâtiment. L'aspect et la façade doivent répondre à cette définition implicite. On connaît alors les systèmes et les isolations les plus souvent employés. Et lorsqu'on a recours à des techniques éprouvées, appliquées à des bâtiments présentant peu de différences, les critères de choix de l'isolation sont limités.

Par contre, depuis quelques années, les bâtiments neufs sont envisagés comme des « nouveautés », c'est-à-dire susceptibles d'avoir une image, une forme, un fonctionnement propres. On peut citer, par exemple, les immeubles à façade de verre ou, au contraire, la crèche construite dans le onzième arrondissement de Paris par l'architecte Christian Hauvette. Sa façade sur rue, en béton brut, très fermée, ne rappelle pas une image type de « crèche ».

Dans le cadre de production architecturale actuelle, il ne peut être fait appel à des solutions-types et les choix reposant sur un nombre limité de critères ne peuvent garantir la qualité du résultat final. La cohérence des critères est essentielle. Chaque acteur a sa rationalité. Elle doit être explicite. Le dialogue est nécessaire car il faut arriver à définir quelle est la contribution de chacun pour arriver à la qualité du résultat final.

Le choix de l'isolation est cadré :

— les réglementations qui la rendent obligatoire fixent des niveaux de performances minimales,



Dans les locaux sportifs, il importe d'éviter les condensations. Ensemble sportif de La Verrière (architecte Jacques Paul).

— le budget d'investissement donne une limite haute aux solutions envisageables.

C'est à l'intérieur de ce cadre que doivent s'arbitrer les choix en matière d'enveloppe et d'isolation. Il faut tenir compte des performances attendues, de la faisabilité technique, de la disponibilité des matériaux et évaluer les conséquences des choix sur la pérennité du bâti.

Par ailleurs, la forme, la compacité, limitées ou non par les possibilités du terrain vont notamment influencer sur le traitement envisagé pour les parois horizontales ; de même, l'aspect de la façade, les choix constructifs, le coût du terrain et, donc, de l'emprise de la façade auront des répercussions importantes sur le traitement des parois verticales.

En outre, les qualités intrinsèques de l'enveloppe ne sont pas envisagées de la même manière suivant la destination du bâtiment.

### Les critères spécifiques de chaque famille tertiaire

En tertiaire d'hébergement, on attend de l'enveloppe des chambres qu'elle limite les dérives de température de l'ambiance et des parois intérieures : elle doit comporter une isolation et une étanchéité à l'air suffisante pour éviter des refroidissements excessifs, des effets de paroi froide et, aussi, protéger les chambres des surchauffes dues au soleil et au bruit extérieur. Dans certains cas, on lui demande aussi de s'ouvrir largement pour permettre la vue sur l'extérieur : vue sur un paysage ou vue des personnes allitées ou à mobilité réduite.

Dans ces bâtiments, on attend des autres locaux qu'ils soient faciles à équilibrer thermiquement en fonction d'une occupation très variable. Les salles techniques, et particulièrement les salles de traitements médicaux et de chirurgie, ont besoin de s'affranchir des aléas des conditions extérieures ; leurs parois qu'elles soient intérieures ou extérieures doivent être traitées en fonction de ce principe.

En immeuble de bureau, l'accent est mis sur l'habitabilité des locaux : l'enveloppe ne doit pas contraindre l'organisation intérieure ; elle doit favoriser une pénétration suffisante de la lumière naturelle. Elle ne doit pas s'opposer à une

gestion des traitements des ambiances en fonction de l'occupation des locaux et à une recherche d'allègement des coûts annuels de la consommation thermique d'énergie qui en découle.

Dans les locaux d'enseignement, les coûts de fonctionnement doivent être limités : la dégradation des locaux et les coûts de gestion ne sont pas supportables. L'enveloppe doit avoir des qualités de durabilité importantes, être conçue pour éviter les condensations et leurs conséquences et être adaptée à un mode de gestion du chauffage et de traitement de l'ambiance très simple.

Les conséquences de la concentration d'un grand nombre de personnes travaillant dans un volume de taille assez faible doivent être prises en compte : dégagements de chaleur, d'humidité, besoin de protection contre les risques d'incendie, le bruit extérieur, les apports de chaleur excessifs. L'enveloppe participe ainsi à la qualité acoustique et à la qualité de l'éclairage des locaux.

Pour les locaux sportifs, l'important est de ne pas connaître de problèmes de condensation aussi bien à la surface des parois qu'en des points particuliers, ni de problèmes d'acoustique, et cela quels que soient le volume, le taux et le mode d'occupation des locaux et la gestion en fonction de l'intermittence qui peut être faite.

Dans les salles de spectacles, il faut pouvoir s'assurer de la sécurité des personnes et traiter l'ambiance intérieure quel que soit le nombre de personnes présentes : on doit s'affranchir des conditions extérieures grâce à l'enveloppe.

Ce qui compte, dans les commerces, c'est la protection et la conservation des denrées. L'enveloppe doit avoir une bonne durée de vie et protéger du gel, des échauffements excessifs et des condensations des locaux. Dans cette optique, les vitrines qui peuvent connaître le gel (gel des sprinklers, par exemple), les ruissellements de condensation et les échauffements dus à l'ensoleillement et à l'éclairage électrique, exigent des traitements de compensation de ces défauts.

Dans le cas de commerces insérés dans des bâtiments multifonctionnels, l'isolation des parois adjacentes à d'autres locaux permet de ne pas perturber ces locaux.

## La qualité de l'enveloppe

La qualité finale et la pérennité de l'enveloppe dépendent aussi de nombreux points à prendre en compte, tant au moment de la conception que de la mise en œuvre.

**L'enveloppe doit être considérée comme un tout, un système cohérent, et comme une part du bâti avec lequel elle interagit.**

**Il est toujours difficile d'intervenir, après coup, sur une enveloppe.**

Tout doit être correctement prévu dès la construction : les aérations oubliées, les protections solaires qu'il faut rapporter, les défauts d'étanchéité à l'air, les isolations thermiques ou acoustiques insuffisantes sont des problèmes dont les remèdes apportés après la construction ne peuvent que nuire à l'aspect et à la qualité de l'enveloppe.

Les calculs thermiques sont des calculs théoriques qui permettent d'estimer la qualité des parois et d'évaluer les déperditions. On les utilise pour fixer réglementairement une limite minimale de l'isolation et pour dimensionner les besoins de chauffage. Mais ces calculs comportent une part de conventionnel et ne reflètent que partiellement la réalité. En particulier, les calculs des déperditions linéiques reposent sur des évaluations anciennes, faites pour des procédés constructifs traditionnels et des isolations moyennes. Leur complexité et la précision qu'ils exigent ne doivent pas masquer leur côté théorique et approximatif. Certaines liaisons sont particulièrement difficiles à estimer à l'aide de ces calculs. Cependant, ils permettent de bien mettre l'accent sur ces points délicats et de faire remarquer l'importance des hétérogénéités.

Pour chaque mode constructif, il faut, en effet, considérer :

- la faisabilité des solutions d'isolation envisagées ;
- le niveau d'équilibre thermique de la paroi telle qu'on envisage de la réaliser. Les calculs permettent de mettre en évidence les hétérogénéités. Lorsqu'elles sont nombreuses ou fortes, il est préférable de les traiter. On évite ainsi des consommations importantes et des risques de condensations, source de dégradations du bâti. Mais, lorsqu'on les propose, il faut vérifier la faisabilité de la mise en œuvre de ces traitements avec l'architecte et l'entreprise chargée de réaliser les travaux.

Ces calculs thermiques ne sont que théoriques et approximatifs. Il est donc important de tenir compte d'une relative marge d'incertitude.

Toutefois, il convient de rappeler que le guide de l'AICVF n° 1 « Calcul des déperditions et des charges thermiques d'hiver » a cherché à lever une bonne part de ces incertitudes.

L'enveloppe doit avoir une composition et une réalisation qui lui assurent un comportement thermique satisfaisant et homogène. Des défauts de réalisation peuvent entraîner des défauts d'étanchéité ou des hétérogénéités de la paroi. Suivant les cas, les conséquences de ces deux types de manque de qualité peuvent être

## ACERMI

### La certification des matériaux isolants

L'aptitude à l'emploi d'un isolant certifié peut être appréciée grâce aux quatre familles de caractéristiques suivantes :

- la résistance thermique R ;
- les caractéristiques mécaniques et de comportement à l'eau, I, S, O et L certifiées dans les certificats concernés ;
- la perméance à la vapeur d'eau E certifiée dans ces certificats ;
- les autres propriétés et caractéristiques non certifiées par l'ACERMI (sécurité incendie, dimensions...).

Selon le type de certificat, celui-ci donne :

- soit la résistance thermique R (certificat de type A) ;
- soit la résistance thermique R et les niveaux I, S, O, L et E (certificat des types B et C).

#### Résistance thermique R

La résistance thermique R exprimée en  $m^2 \cdot ^\circ C / W$  est donnée par le certificat en fonction de l'épaisseur nominale de l'isolant.

#### I propriétés mécaniques en compression

I1 La diminution relative d'épaisseur, lorsque la pression à laquelle l'isolant est soumis, passe de 50 à 100 Pa, est inférieure à 25 % en moyenne sur 5 mesures selon norme NF B 20-101 (en outre, pas de valeur individuelle supérieure à 35 %).

I2  $C \leq 12$  mm.

I3  $C \leq 3$  mm.

I4  $C \leq 0,5$  mm.

I5  $C \leq 0,3$  mm.

C représente la perte d'épaisseur en mm après application progressive par paliers d'une pression de 0,04 MPa pendant 96 heures.

#### S comportement aux mouvements différentiels

S1  $S_n + V_{HR} \leq 0,01$  m/m.

S2 en outre  $G \times S_n \times e \leq 400$  Pa.m.

S3 en outre  $S_f \leq 0,004$  m/m.

S4 en outre  $(50 \alpha + v_{HR} + S_f) \times G \leq 15.10^3$  Pa.

$S_n$  : retrait ou gonflement naturel de l'isolant à partir du moment où il est commercialisé (en m/m).

$S_f$  : retrait ou gonflement mesuré à 20 °C après action d'une température de 70 °C pendant 7 jours (en m/m).

$V_{HR}$  : variations dimensionnelles en fonction de l'humidité entre deux ambiances à 20 °C - 15 % HR et 20 °C - 90 % HR.

$\alpha$  : coefficient de dilatation thermique (en m/m °C).

G : module d'élasticité transversal (en Pa).

e : épaisseur de l'isolant (en m).

#### O comportement à l'eau

O1 A la fois :

- variation d'épaisseur après humidification partielle (projection d'un litre d'eau sur trois éprouvettes d'isolant de dimensions 0,35 x 0,35 m posées à plat et mesure de l'épaisseur sous 5 daN/m<sup>2</sup>) : < 7,5 % ;

- hygroscopicité < 15 % en poids ;

- hygroscopicité < 1,5 % en volume.

O2 Isolant non hydrophile au sens du DTU n° 20.1.

O3 A la fois :

- imperméabilité pendant 24 h (essai de passage d'eau par gravité défini dans le DTU n° 20.1) ;

- hygroscopicité < 0,05 % en volume.

#### L propriétés mécaniques utiles en cohésion et flexion

L1  $R_t > 2 P$

$R_t$  : résistance en traction longitudinale (en N) ;

P : poids de 5 mètres d'isolant (en N).

L2  $D \leq 0,12$  m.

D : déviation sous poids propre, l'isolant débordant de 0,35 m au-delà d'une surface plane de référence.

L3  $R_p \geq 0,05$  MPa et  $A_r \geq 2$  %.

L4  $R_p \geq 0,18$  MPa et  $A_r \geq 1$  %.

$R_p$  : résistance en traction perpendiculaire.

$A_r$  : allongement à rupture.

#### E comportement aux transferts de vapeur d'eau

La perméance P est l'inverse de la résistance à la diffusion de vapeur  $R_{Dv}$  de l'isolant.

$$P \text{ (g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg)} = \frac{1}{R_{Dv}}$$

Pour les matériaux homogènes, cette perméance se calcule par :

$$P \text{ (g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg)} = \frac{\pi}{e}$$

$\pi$  étant la perméabilité à la vapeur du matériau (g/m.h.mmHg), e étant l'épaisseur (m).

Les 4 catégories de perméance sont définies comme suit :

E1  $P > 0,3$  g/m<sup>2</sup>.h.mmHg.

E2  $0,06 < P \leq 0,3$  g/m<sup>2</sup>.h.mmHg.

E3  $0,015 < P \leq 0,06$  g/m<sup>2</sup>.h.mmHg.

E4  $P \leq 0,015$  g/m<sup>2</sup>.h.mmHg.

# Gestion énergétique globale de bâtiment

Hervé BOTTE, CSTB  
Philippe DAVY de VIRVILLE  
Responsable de la commission technique  
Chauffage-Climatisation de l'ACR\*

des pathologies directes : apparitions de fantômes de moisissures, par exemple, ou indirectes : des pathologies dues à d'autres causes se trouvent amplifiées.

Ainsi, avec un chauffage sous-dimensionné, les locaux ne seront pas habitables si l'isolation des parois n'est pas bien traitée.

Aussi, pour garantir la qualité réelle de l'ouvrage, il importe de vérifier que tous les traitements particuliers proposés lors de l'étude de l'isolation sont réalisables par l'entreprise soit en lui proposant, soit en lui demandant des détails d'exécution.

Cette qualité repose aussi sur le soin apporté à la sélection elle-même des isolants. La qualité thermique de l'isolant ne peut garantir, seule, le résultat. L'isolant doit être choisi en fonction de la paroi où il doit être intégré.

On doit tenir compte :

- en cas de sollicitation mécanique, de la résistance à la compression ;
- en cas de présence d'humidité ou d'eau, de son comportement à la vapeur d'eau ou à l'eau ;
- suivant l'application qui doit être réalisée, de sa cohésion et de sa flexion ;
- suivant les contraintes thermiques auxquelles il peut être soumis, de sa stabilité dimensionnelle.

De plus, la paroi peut aussi avoir à contribuer à la sécurité anti-incendie grâce à des qualités de réaction au feu ou de résistance au feu, ou à présenter des qualités de correction ou d'isolation acoustique. Le choix de l'isolant doit tenir compte de tout ce que l'on attend de la paroi.

Pour cela, l'architecte, le thermicien et l'entrepreneur doivent utiliser les informations fiables fournies par les industriels. Ils peuvent s'appuyer sur le marquage et la certification des produits puisque ceux-ci garantissent le suivi des produits, la pérennité de leurs performances et le contrôle de leur production.

Lorsque les systèmes employés relèvent de l'avis technique, il importe de respecter la qualité des produits préconisés, les détails de mise en œuvre indiqués, le domaine d'emploi et de vérifier que les performances de ces systèmes correspondent bien aux performances attendues.

Dans tous les cas, les règles de l'art doivent être respectées aussi bien au niveau de la conception que de la mise en œuvre. En particulier, le cahier des charges de la mission de l'entreprise est, en général, bien rappelé dans les DTU.

Les choix concernant l'enveloppe et son isolation concernent le maître d'ouvrage, l'architecte, le bureau d'études techniques et thermiques, l'entreprise. Ils ne peuvent être cohérents que si l'on tient compte des préoccupations de chacun de ces acteurs et que si l'on définit bien l'objectif final. Alors, il est possible de considérer chaque choix en fonction de la qualité de l'enveloppe elle-même et des conséquences qu'il aura sur l'ambiance, ses besoins de traitement et sur les modes de traitement que l'on peut envisager. Cette approche systémique n'est pas seulement applicable à la conception. Elle doit aussi s'appliquer à la réalisation. Pour arriver à une isolation optimale, les critères de chaque acteur doivent être repris par tous.

La mise en œuvre d'une gestion énergétique globale permet de respecter l'objectif initial du meilleur service au moindre coût : augmentation de la fiabilité et de la durée de vie des équipements, réduction des consommations énergétiques.

Elle représente la première étape de la gestion totale d'un bâtiment, qui peut également intégrer des aspects liés à la sécurité, à la gestion administrative centralisée...

\* Association Confort-Régulation.

La cible principale de cet article est la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment.

En fait, l'objectif à obtenir est le meilleur service au moindre coût. S'il est réalisé, le fonctionnement des installations est beaucoup plus sûr avec une durée de vie plus longue des équipements et une consommation d'énergie réduite.

Cet exposé comporte trois grandes parties : la conduite des équipements, la maintenance des installations, le suivi énergétique.

La gestion énergétique globale doit prendre en compte deux contraintes qui sont :

- les caractéristiques industrielles et temps réel pour le système de conduite, c'est « l'outil du technicien »,
- les caractéristiques conversationnelles et bureautiques pour le suivi énergétique et la maintenance des installations. C'est « l'outil du gestionnaire ».

## Quatre niveaux

L'installation de gestion énergétique globale comprend quatre couches de niveau (fig. 1).

### Le premier niveau

Il s'agit des équipements qui comprennent la production, la distribution et l'émission de chaleur.

### Le deuxième niveau

Il s'agit des automatismes locaux. Ici sont reçus et traités les mesures et les états des points physiques, et transmis les commandes et les réglages aux points. Ce niveau concerne principalement les régulations, les séquences de générateurs, les automatismes de pompes par démarrage automatique de la pompe de secours en cas de défaut de la pompe principale, etc.

Fig. 1. Les quatre couches de niveaux.

