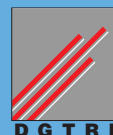


ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES INCLINÉES

CAS DE L'IATA À NAMUR

RESPONSABLES
ENERGIE



ÉTUDE DE CAS

L'Institut d'Enseignement des Arts, Techniques, Sciences et Artisanats est installé rue de la Montagne, 43 a à NAMUR.

Cet établissement scolaire, mieux connu sous le sigle IATA, accueille aujourd'hui environ 1300 élèves qui ont à leur disposition un ensemble de bâtiments d'âges et de styles assez différents.

Le bâtiment auquel nous allons nous intéresser dans les pages qui suivent, est en fait le plus ancien bâtiment du site. Construit à la demande et pour l'usage des Pères Carmes, sa construction remonte au siècle dernier. C'est une construction lourde, aux murs épais en briques. Les planchers et la charpente sont en bois. Le toit, du type «à la Mansart», est couvert d'ardoises naturelles et des lucarnes éclairent les combles.

Initialement destiné à héberger les Pères, le bâtiment a subi, dans les années '50, quelques aménagements internes et externes afin de pouvoir accueillir les classes de l'école artisanale, aujourd'hui IATA. Certes, les classes ne disposaient pas de toutes les commodités mais cette situation, commune à bien d'autres établissements scolaires, aurait déjà depuis quelques années lorsque...



I.	Introduction	2
II.	Evolution de l'occupation d'un bâtiment	3
III.	Les fonctions de la toiture	4
IV.	Les composants de la toiture	5
V.	Faut-il isoler la toiture ?	8
VI.	Les vérifications et choix à effectuer	9
VII.	Les matériaux disponibles	12
	A. Les laines minérales	12
	B. les mousses synthétiques	13
VIII.	Le choix de l'épaisseur d'isolant	15
IX.	Conseils et exigences à satisfaire	16
X.	Les techniques de mise en œuvre	17
	A1. Isolation en deux couches croisées avec contre-chevonnage vertical	18
	A2. Isolation en deux couches croisées sans contre-chevonnage vertical	18
	B1. Isolation en une couche par panneaux auto-portants	19
	B1. Isolation en une couche par panneaux posés sur les chevrons	19
XI.	La finition intérieure	21
XII.	Quelles sont les améliorations obtenues ?	24
XIII.	Conclusions	27
XIV.	Quelques définitions	29
XV.	Quelques conseils	31
XVI.	Bibliographie	33

I. Introduction

Lorsqu'un rapport du Service de Prévention Incendie, suite à une visite effectuée à la fin du mois de Juin 1995, mit, en quelque sorte, le feu aux poudres...

Pour le vieux bâtiment des Pères Carmes, ce rapport concluait à l'absolue nécessité de réaliser rapidement d'importants travaux d'aménagement, sous peine d'interdire l'utilisation du bâtiment ! Il faut dire qu'avec ses escaliers, ses cloisons légères et ses planchers tout de bois, cet immeuble avait de quoi «nourrir» les flammes...

Il faut aussi savoir qu'il y a une douzaine d'années, un incendie prit naissance dans un autre bâtiment... Le feu se propagea rapidement dans cette construction pourtant beaucoup plus moderne et les dégâts furent très importants. L'enquête permit de conclure au caractère volontaire de l'incendie. Cette triste expérience ne se solda, heureusement, que par des dégâts matériels...

En première réponse au rapport établi, les autorités scolaires décidèrent de parer au plus pressé en faisant installer dans leur plus ancien bâtiment des détecteurs de fumée et en murant l'accès aux caves car cet accès constituait une voie de propagation idéale pour un feu naissant dans les sous-sols, occupés par les ateliers de garnissage.

Pour la suite des opérations, un bureau d'études se vit confier la mission d'étudier la faisabilité des travaux d'aménagement demandés par les services de Prévention Incendie. Cette démarche préliminaire, trop peu souvent pratiquée, est pourtant très importante puisqu'elle permet, lorsque le travail est bien mené, de bien poser le problème, d'évaluer toutes ses implications, de proposer, lorsqu'elles existent, des alternatives, d'estimer le coût et, finalement, d'indiquer la meilleure option.

Attardons-nous un peu sur les sujets à aborder... en nous concentrant sur l'objet du présent document : la rénovation énergétique d'une partie de l'enveloppe du bâtiment, à savoir la toiture inclinée.



II. Evolution de l'occupation d'un bâtiment

Autrefois, lors de la construction d'un bâtiment, le grenier n'était pas considéré comme une pièce habitable. Le toit se composait alors de tuiles (le plus souvent sans emboîtement) ou d'ardoises posées sur des lattes elles-mêmes fixées sur des chevrons. La sous-face des tuiles ou des ardoises était visible depuis l'intérieur et ni l'étanchéité à l'eau, ni l'étanchéité à l'air n'étaient absolues.

L'importante ventilation qui existait dans ce grenier, assurait un séchage rapide des éléments (de couverture ou de charpente) qui pouvaient s'humidifier. Ces toitures, très saines, avaient une longue durée de vie. Cette auto-ventilation permettait aussi d'assurer l'évacuation des calories (voir définition 1. en fin de brochure) produites lors de la surchauffe de la couverture en été.

Aujourd'hui, le souci de rentabiliser au maximum le volume disponible conduit de plus en plus souvent à l'occupation des combles. Et comme chacun connaît le prix de l'énergie et sait que 20 à 25 % des déperditions thermiques globales d'un bâtiment non-isolé transitent par la toiture, des mesures d'isolation thermique de ces espaces nouvellement habités sont régulièrement prises.

Ce double constat, occupation de tout le volume et isolation des parois, n'est nullement négatif en soi mais il présente un certain nombre de risques au niveau du bon vieillissement de la toiture.

Nous savons que toute déficience de l'étanchéité à l'eau de la toiture, surtout si cette toiture n'est pas correctement ventilée, risque d'engendrer des dégâts importants comme le pourrissement des bois. Et comme, dans les techniques mises en œuvre aujourd'hui, le matériau de couverture reste rarement visible depuis l'intérieur, ces dégâts auront souvent le temps de prendre une certaine ampleur avant d'être décelés...

Nous savons moins que la mise en place d'un isolant, si elle n'a pas fait l'objet d'une étude sérieuse, peut aussi, par la condensation qu'elle peut entraîner, engendrer de graves dommages dans la toiture.

C'est pourquoi, lors de la réfection d'une toiture, il faut s'entourer d'un certain nombre de précautions et, le plus souvent possible, d'experts connaissant bien cette matière.

Mais, avant de poursuivre, il n'est pas inutile de rappeler le rôle de la toiture et de passer en revue ses divers composants.

D'autant plus qu' isolation et ventilation de la toiture sont deux objectifs qui peuvent apparaître comme contradictoires pour une toiture... Il faut dès lors leur accorder une attention particulière.



III. Les fonctions de la toiture

La toiture d'un bâtiment a une fonction évidente, celle de le protéger et, dans nos climats pluvieux, de conduire rapidement les eaux de pluie vers le sol.

Mais une toiture doit aussi assurer d'autres fonctions... et, globalement, une bonne toiture devrait permettre :

- de protéger l'intérieur du bâtiment des intempéries (pluie, neige, vent, brusques variations de température...) ;
- d'écouler les eaux de précipitation et de condensation ;
- d'écarter les eaux à l'extérieur des structures (idéalement même lorsque les réseaux d'évacuation sont partiellement ou totalement obstrués) ;
- de présenter une résistance suffisante aux actions de la corrosion, de la chaleur, du gel et de permettre une libre dilatation des composants ;

- de résister aux charges prévues et aux surcharges occasionnelles dues aux effets du vent, de la neige, de l'entretien...
- de ménager une sécurité au feu des parties combustibles ;
- d'assurer le confort d'éclairage et de ventilation des combles ;
- son entretien aisé.

Evidemment, la conception d'une toiture est toujours le résultat d'un compromis et d'un choix de priorités à établir entre ces diverses fonctions. Le désir du constructeur, l'état des techniques, les contraintes budgétaires ou réglementaires, la situation géographique... sont autant de facteurs qui interviennent lors de l'élaboration de ce compromis.

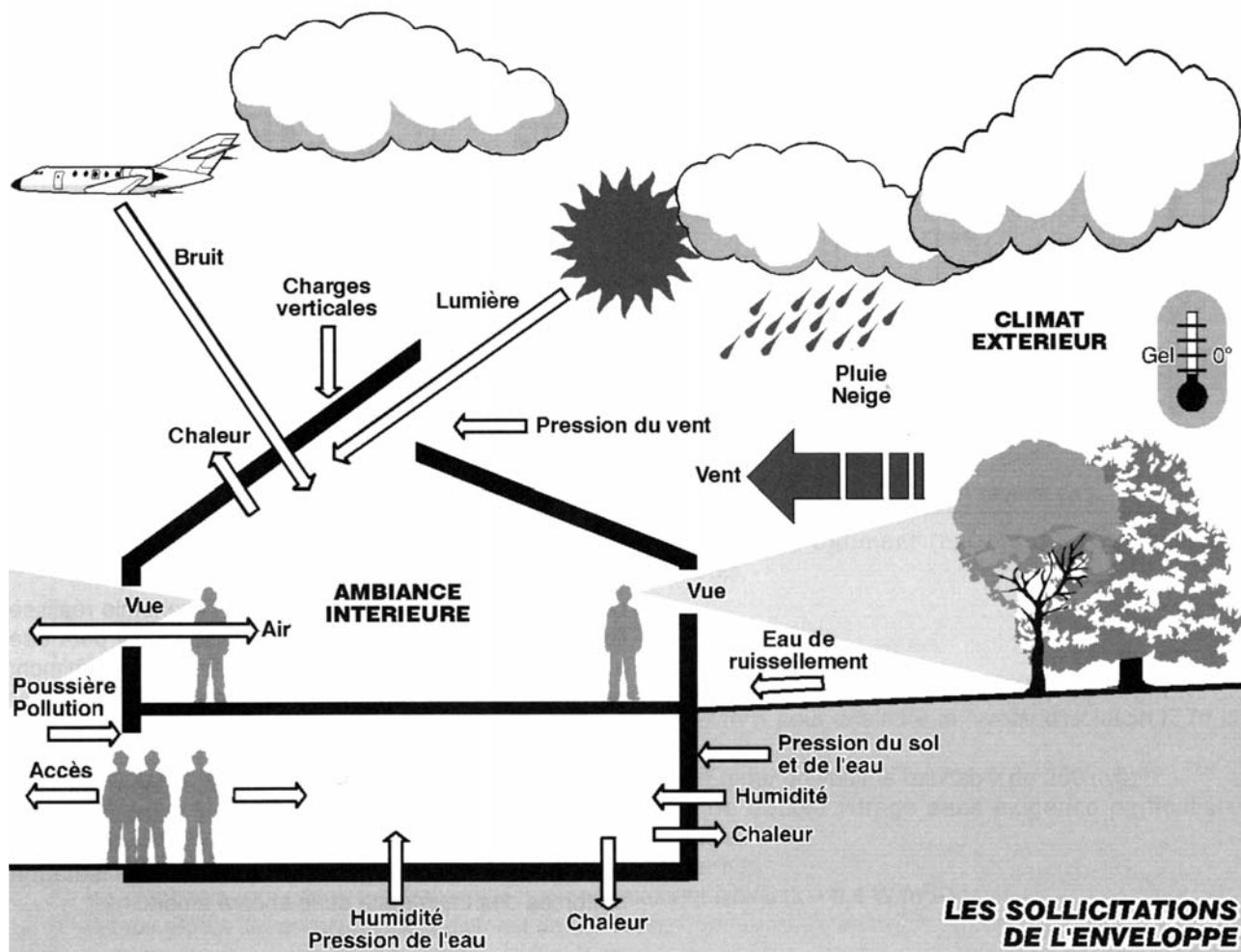


Figure 1

IV. Les composants de la toiture

Afin de bien se comprendre, passons en revue les divers composants qui peuvent être intégrés dans une toiture et précisons succinctement le rôle de chacun d'entre eux.

• **La charpente d'un toit** est, avec la couverture, l'un des éléments fondamentaux. Ce squelette porteur de la toiture peut, selon le cas, être composé d'éléments en bois (de nombreuses essences de bois peuvent être employées), en métal ou en béton.

Selon le matériau choisi et le développement des techniques de calcul de dimensionnement, le volume occupé par la charpente sera plus ou moins important : il est des charpentes «légères» et d'autres beaucoup plus «présentes» dans l'espace...

A côté des charpentes traditionnelles (voir la figure 2 pour la terminologie d'usage), le développement des techniques de calcul et des moyens d'assemblage a conduit à la mise en oeuvre de charpentes

préfabriquées constituées de planches de bois reliées par des connecteurs métalliques. Il faut signaler que ces charpentes légères, de haute performance et de coût compétitif (cfr faible durée du temps de montage) ne permettent pas toujours l'utilisation du volume sous toit.

Les pièces qui composent une charpente doivent être dimensionnées en fonction du matériau de couverture choisi et des autres sollicitations (charge d'entretien, neige, vent...) à reprendre.

Mais si elle ne dispose pas de bons appuis sur les maçonneries ou sur la structure portante, une charpente ne pourra remplir longtemps sa fonction. C'est pourquoi les appuis doivent notamment être conçus de manière telle qu'ils n'engendrent pas de poussées horizontales sur les maçonneries, à moins que des dispositifs particuliers soient mis en oeuvre (poutre de ceinture).

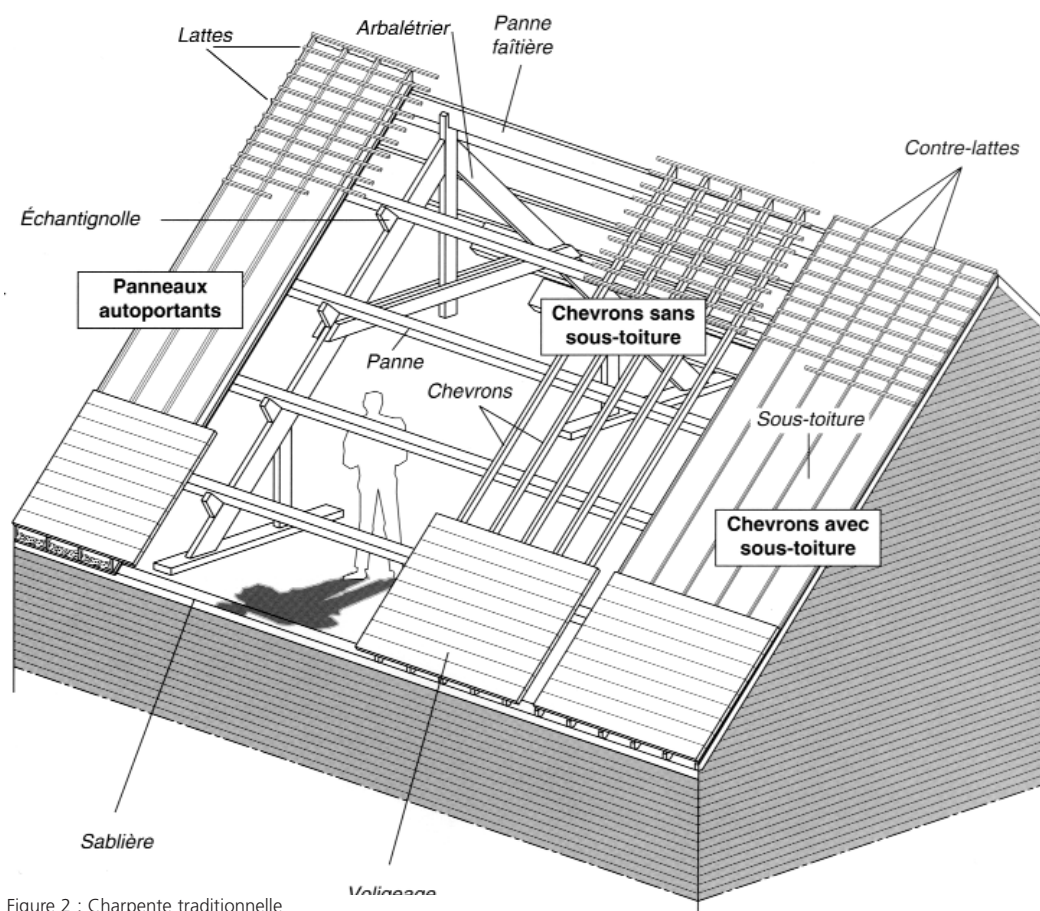
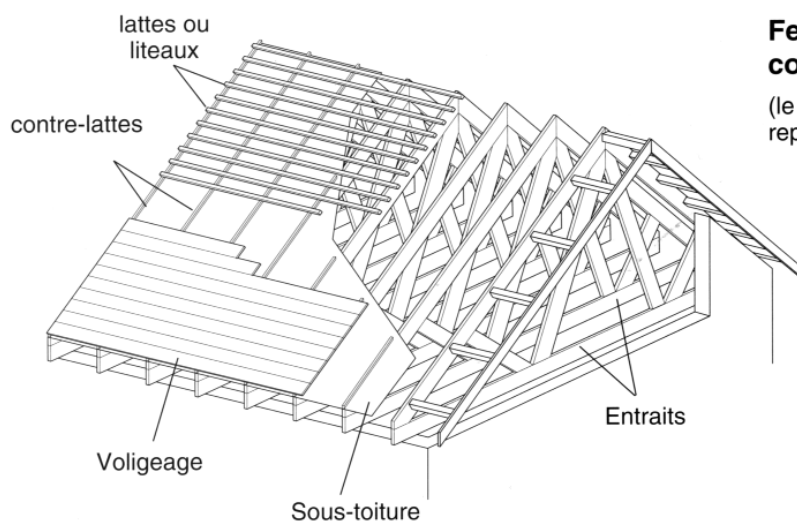


Figure 2 : Charpente traditionnelle

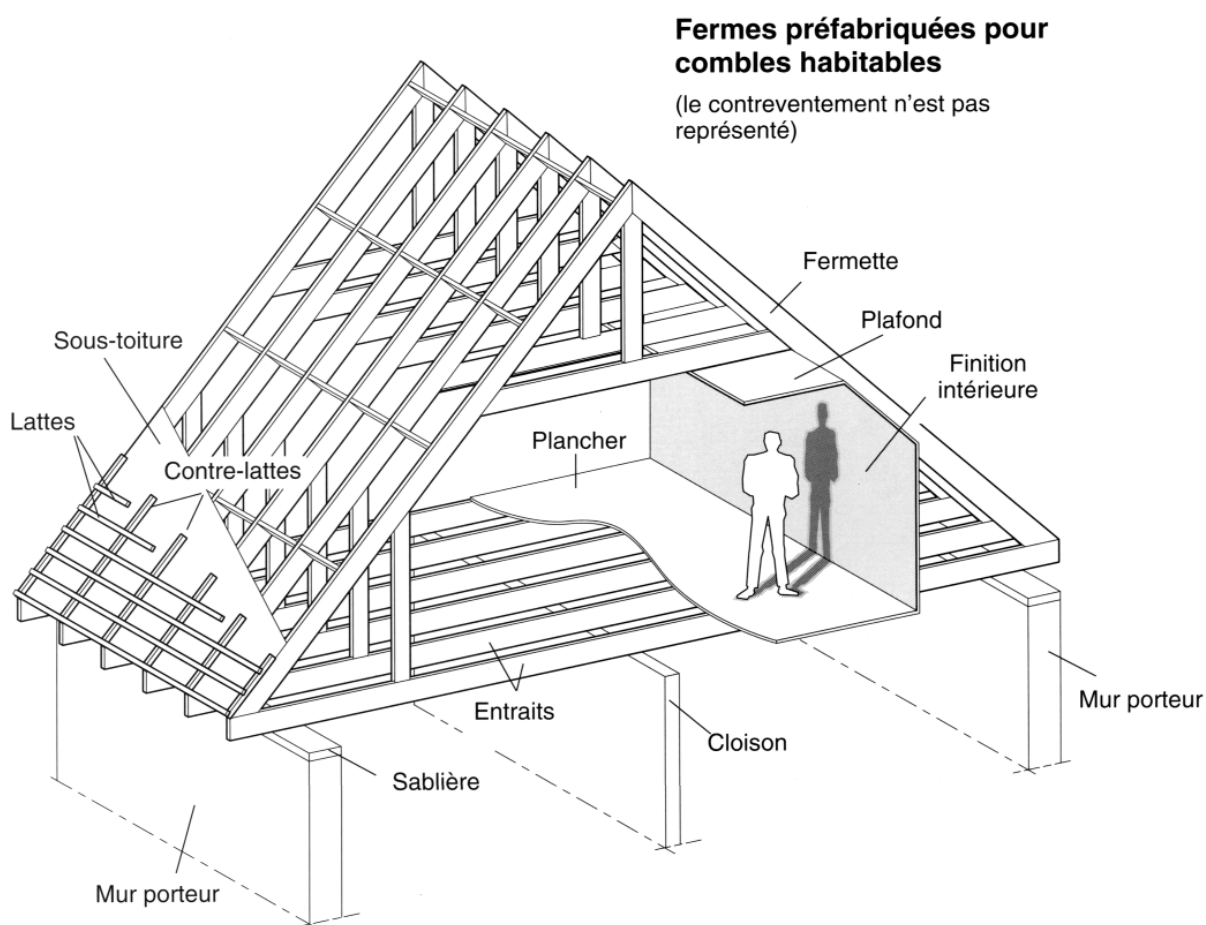
Figure 3

CHARPENTE À FERMES PRÉFABRIQUÉES



Fermes préfabriquées pour combles non habitables

(le contreventement n'est pas représenté)



Fermes préfabriquées pour combles habitables

(le contreventement n'est pas représenté)

- Dans notre région, **les matériaux de couverture** sont nombreux. Leur aspect et leurs dimensions sont très variés. Tuiles, ardoises, shingles, feuilles de zinc, plaques ondulées..., le choix est vraiment très vaste. Il est rarement sans conséquence sur le reste de la conception de la toiture : poids, système de ventilation, adaptation à la pente, raccords avec les autres éléments constitutifs de la toiture,...

Si l'on veut que ces matériaux de couverture remplissent bien leur fonction, à savoir maintenir l'eau à l'extérieur du bâtiment, il faut d'abord respecter, pour chacun d'entre eux, les pentes de toit et les recouvrements qui leur sont adaptés. La plus belle des ardoises, si elle est placée sur un versant dont la pente est de 10°, ne pourra remplir sa fonction très longtemps...

Il faut aussi soigner la conception et la réalisation de tous les endroits particuliers de la toiture : faîtage, gouttière, noues, souche de cheminée, rive...

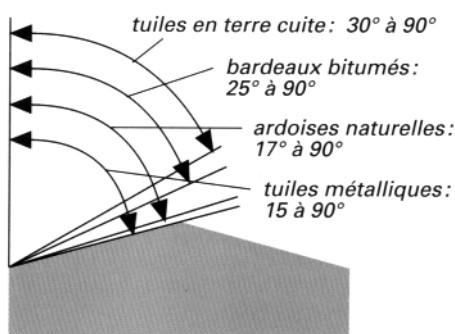


Figure 4

- Les poussières et les neiges poudreuses chassées par le vent peuvent s'infiltrer dans pratiquement tous les systèmes de couverture. Le rôle de la **sous-toiture** est de permettre l'évacuation des eaux provenant de ces infiltrations accidentelles mais aussi d'améliorer le comportement du complexe toiture aux effets du vent, de protéger l'isolant thermique placé dans la toiture, de recueillir l'eau qui s'est éventuellement condensée à la sous-face du matériau de couverture...

La mise en œuvre de cette sous-toiture n'est pas toujours indispensable mais elle a tendance actuellement à se généraliser.

Placée entre le chevronnage et le matériau de couverture, la sous-toiture peut se présenter sous deux

formes ; en voile souple ou en panneaux rigides.

Dans le cas de pose d'une sous-toiture souple, la technique de la pose tendue (par opposition à la technique de la pose non-tendue) est préférable mais elle a pour conséquence de rendre indispensable le placement de contrelattes (cfr création d'une lame d'air ventilé).

Le recours à ces contrelattes est toujours nécessaire en cas d'utilisation d'une sous-toiture rigide.

La pose d'une sous-toiture est une opération qui demande beaucoup de soin, particulièrement au niveau des percements pour cheminées, conduits d'aération, fenêtres de toiture...

Dans tous les cas, une bonne sous-toiture doit être étanche à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau afin de laisser respirer la construction.

- Comme nous venons de le dire, la mise en œuvre d'une sous-toiture entraîne quasi automatiquement la mise en place de **contrelattes**, éléments indispensables pour assurer une ventilation de la couverture mais aussi pour éviter que les eaux résultant des infiltrations accidentelles ne se retrouvent prisonnières ou fortement contrariées dans leur écoulement. Les dimensions de ces contrelattes (au minimum 15 mm, le plus souvent 20 x 40 mm) doivent être adaptées à la pente et à la longueur des versants et au type de sous-toiture mis en place. Ainsi, dans le cas d'une toiture à la pente inférieure à 25°, il est conseillé d'augmenter sensiblement l'épaisseur des contrelattes de manière à favoriser la circulation d'air entre le matériau de couverture et la sous-toiture.

- Les **lattes** (à tuiles, à ardoises ou pour un autre matériau...) doivent quant à elles être droites et bien équarries. Leurs dimensions sont à calculer en fonction de l'écartement des éléments supports, du type de matériau de couverture choisi et de ses dimensions...

- Les **voliges**, planches d'une largeur de 10 à 15 cm, sont aujourd'hui beaucoup moins employées parce qu'elles représentent un coût plus élevé (matériau et main-d'œuvre) mais aussi parce qu'elles se prêtent moins bien à la réalisation des objectifs d'isolation et de ventilation dont nous venons de parler. La mise en place de ces voliges débouche sur la création d'un plancher continu très solide, sorte de sous-toiture en bois. Souvent mises en œuvre

comme support de couverture pour les toits d'ardoises (lesquelles étaient alors fixées au moyen de crochets «à piquer»), elles le sont encore aujourd'hui pour les couvertures en zinc. En cas de recours à ces voliges, une réflexion particulière doit être menée à propos de la position de l'isolant, de la sous-toiture et des possibilités de ventilation.

- Du côté intérieur, la mise en place d'un **écran étanche** à l'air doit permettre de rendre l'enveloppe protégée moins sensible aux effets du vent et de diminuer les déperditions thermiques dues à l'effet des courants d'air.
- Quant au **pare-vapeur**, il ne doit être confondu ni avec la sous-toiture, ni avec l'écran étanche à l'air !

Il se place toujours du côté chaud de la paroi. Il peut servir d'écran étanche à l'air mais les écrans étanches à l'air ne sont pas toujours le pare-vapeur adéquat (cfr fonction du climat intérieur du local...).

En fait, la fonction du pare-vapeur est d'empêcher l'air chaud intérieur, air chargé d'humidité, de traverser la couche isolante et de venir se condenser dans une zone plus froide.

Après avoir rappelé les fonctions de la toiture et évoqué ses divers composants et leur rôle respectif, il faut maintenant répondre à une question préliminaire importante par ses implications.

V. Faut-il isoler la toiture ?

Aujourd'hui, tout le monde est convaincu (ou devrait l'être...) que l'isolation d'un bâtiment est nécessaire, tant du point de vue confort thermique que du point de vue économique.

Car isoler, c'est investir.

- *Investir pour économiser sur la facture du chauffage durant toute la vie du bâtiment.*
- *Investir pour améliorer le confort des occupants.*
- *Investir pour éviter les inconvénients dus à la condensation.*
- *Isoler, c'est aussi participer à la protection de l'environnement, notamment en épargnant les réserves énergétiques mondiales et en réduisant la pollution atmosphérique.*

Evidemment, pour réduire la facture du chauffage, on peut agir sur plusieurs facteurs. Les efforts peuvent en effet porter sur les systèmes de chauffage, sur l'enveloppe du bâtiment, sur les comportements des occupants...

Le prix à payer pour ce confort thermique et l'économie qui en résulte, varie évidemment d'un cas à

l'autre. Il n'empêche que, pour ce qui est de l'ensemble des coûts liés à l'isolation thermique d'un bâtiment (murs, toit, planchers,...), on considère généralement que cela représente de 3 à 5 % du budget global d'une construction neuve.

De toute façon, les règlements exigeant l'application de normes de construction de plus en plus strictes sont là pour convaincre ceux qui auraient encore quelques réticences... Nous reparlerons dans les pages qui suivent de la réglementation en vigueur en Région Wallonne.

Imaginons maintenant que, comme Mr DELISEE, chef d'atelier à l'IATA, vous avez la responsabilité de gérer un ou plusieurs bâtiments à toiture inclinée et que, pour l'une ou l'autre raison, vous devez faire procéder à des travaux sur le toit de l'un de ces bâtiments.
Passons en revue ensemble les étapes préliminaires à franchir.

VI. Les vérifications et choix à effectuer

Parce que c'est une exigence primordiale dans nos climats, il vous faudra, d'abord et avant tout, vérifier et assurer l'étanchéité à la pluie de la toiture concernée.

Il faut donc analyser l'état du matériau de couverture et de la sous-toiture éventuelle mais l'examen doit aussi concerner tous les raccords d'étanchéité entre le matériau de couverture et les éléments annexes.

La question suivante qui doit être posée est celle de **l'utilisation du volume** situé directement sous le toit. Il faut en fait prendre une décision à propos du volume à protéger contre les déperditions thermiques et répondre à la question : **les combles font-ils partie ou non de ce volume ?**

- Si ce volume ne vous est d'aucune utilité, laissez lui son caractère de comble perdu et isolez, s'il ne l'est déjà, le plancher de ce comble perdu ou le plafond des locaux sous-jacents. Plusieurs techniques permettent d'atteindre, assez facilement, cet objectif. Il faut dans tous les cas rendre le plafond étanche à l'air.
- Si, par contre, vous décidez d'aménager ce volume afin de le rendre «habitable», les pages qui suivent vous indiquent la marche à suivre et soulèvent les questions auxquelles il vous faudra apporter une réponse.

Comme nous l'avons déjà dit, cette décision d'aménager les combles a pour conséquence de bouleverser les «habitudes» des éléments constitutifs de ces volumes.

Au premier rang de ces éléments «perturbés», il y a tous les éléments en bois qui constituent le plus souvent la charpente. En effet, après avoir longtemps subi les variations, parfois brusques, d'un climat quasi extérieur (température, vent, degré d'humidité...), ces éléments vont être intégrés dans l'espace protégé, et parfois même chauffé, du bâtiment !

Parce que dans ce type d'aménagement, la plupart des éléments de la charpente vont devenir, le plus souvent, inaccessibles, une première étape importante de l'étude consistera à les inspecter attentivement. Pour faire cet examen de la situation existante, il ne faut pas hésiter à recourir aux services d'un expert qui pourra aussi vous proposer des traitements adaptés capables de remédier à bon nombre de problèmes.

Il faut en effet, à tout prix, éviter d'emprisonner des éléments qui ne seraient plus sains ou plus capables de remplir leur fonction.

Si la charpente est en bois, les ennemis principaux sont les insectes xylophages et les champignons dont le plus connu et le plus craint est appelé communément mэрule.

Quant à la putréfaction du bois, elle peut être causée par des infiltrations d'eau directes mais aussi par un manque d'aération qui permet à la vapeur d'eau contenue dans l'air d'enclencher le processus. C'est cette même humidité qui peut permettre le développement des moisissures et champignons.

Quand c'est la solidité même des éléments qui pose problème ou la qualité de leurs appuis ou encore la flèche que le temps leur a fait prendre, il faut les remplacer ou mettre en place les éléments qui vont permettre de diminuer les sollicitations qui agissent sur eux.

Si, suite à cet examen attentif, la charpente paraît saine, il faut quand même envisager la mise en œuvre d'un **traitement de protection** des bois afin de les préserver d'une attaque ultérieure. A cet effet, il existe sur le marché toute une gamme de produits fongicides et insecticides.

Pour une charpente constituée, en tout ou en partie, d'éléments métalliques, l'étude devra veiller à éviter que, suite aux travaux d'isolation, l'une ou l'autre de ces pièces présente à la fois une partie en contact avec l'ambiance froide extérieure et une autre avec l'ambiance chaude. En effet, l'existence d'un tel pont thermique aurait, à coup sûr, des conséquences dommageables (condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur sur la surface froide de la pièce métallique...). Il va de soi que la protection contre la corrosion de ces éventuels éléments métalliques doit aussi être assurée.

◇◇◇◇

Comme nous l'avons déjà signalé, l'isolation thermique d'un espace sous toit modifie significativement le climat de cet espace et **le risque de condensation interne devient souvent réel**.

Comment diminuer ce risque ?

C'est ici que l'existence d'une sous-toiture peut s'avérer très importante. Si la sous-toiture est un matériau peu perméable à la vapeur d'eau (cas des feuilles de polyéthylène ou du papier kraft bitumé), la technique de l'isolation par l'intérieur présente des risques importants de condensation interne. Selon l'ampleur de celle-ci et l'endroit où elle va se produire, les conséquences peuvent se limiter à une diminution du pouvoir isolant du matériau mis en place (suite à son humidification) ou s'avérer très graves (pourriture et destruction progressive de la charpente et des finitions).

Pour éviter l'apparition de ce phénomène de condensation interne, le respect de la règle des résistances à la diffusion de vapeur d'eau décroissantes depuis l'isolant vers l'extérieur est particulièrement important. (voir encadré).

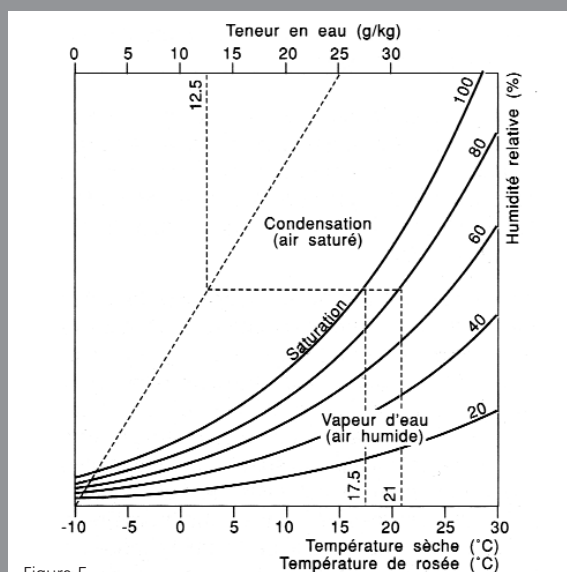
En effet, contrairement à certaines idées reçues, le recours à un pare-vapeur ne permet pas d'annuler

totalement le risque de condensation interne. Certes, l'idée de barrer totalement le chemin de migration de la vapeur peut, en théorie, solutionner le problème puisqu'en éliminant la cause de la condensation, on en élimine aussi les effets...

Mais, dans la pratique, il s'avère très difficile de réaliser un pare-vapeur totalement efficace : trous de fixations, joints entre les bandes, petites déchirures, jonctions avec d'autres éléments... sont autant de points faibles difficiles à éviter totalement. Des études ont montré qu'une perforation de 0,01 % du pare-vapeur peut diminuer son efficacité de 60 % ! Plutôt que de parler de pare-vapeur, il serait réaliste alors de parler de frein-vapeur...

La nécessité de mettre en œuvre un pare-vapeur dépend évidemment de la quantité d'humidité produite dans le bâtiment. Les spécialistes en sont arrivés à distinguer 4 classes de climat intérieur.

L'air chaud peut contenir 3 à 4 fois plus de vapeur d'eau que l'air froid. C'est pourquoi, en hiver, il existe dans un espace chauffé une pression de vapeur sensiblement plus élevée que celle qui règne à l'extérieur.



Cette différence de pression a pour conséquence toute naturelle la création d'un mouvement de migration de la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur.

Au cours de sa migration vers l'extérieur, la vapeur d'eau se refroidit progressivement et elle peut même se transformer en eau. C'est le phénomène de condensation.

La condensation superficielle est la conséquence du contact entre l'air humide et la surface d'un corps dont la température est plus basse que celle du point de rosée de l'air. C'est ce qui se produit sur le miroir de la salle de bains lorsque vous prenez une douche... Ce phénomène est donc bien visible.

La condensation interne se produit elle dans l'épaisseur d'une couche de la paroi ou à la frontière entre deux couches. Elle n'est donc pas visible. Dans les cas les plus graves, l'eau condensée, après s'être accumulée au point de saturer la capacité d'absorption du matériau dans lequel cette condensation se produit, va s'écouler ailleurs et provoquer de sérieux dégâts.

MAIS POURQUOI CETTE CONDENSATION INTERNE ?

Le mouvement de migration de la vapeur d'eau est en fait plus ou moins contrarié par les parois qui séparent

Les classes de climat intérieur

Classe I	$1100 \text{ Pa} < p_i^* \leq 1165 \text{ Pa}$	Bâtiments avec production d'humidité nulle ou faible (lieux de stockage pour marchandises sèches, églises, salles de sport à utilisation normale).
Classe II	$1165 \text{ Pa} < p_i \leq 1300 \text{ Pa}$	Bâtiments avec une production d'humidité limitée et une bonne ventilation (immeubles de bureaux non climatisés, magasins, écoles, habitations de grande dimension, unités de soins).
Classe III	$1370 \text{ Pa} < p_i \leq 1500 \text{ Pa}$	Bâtiments avec une production plus élevée et une ventilation d'au moins 0,5 volume-heure (habitations sociales, flats, maisons de soins et bâtiments faiblement climatisés).
Classe IV	$p_i > 1500 \text{ Pa}$	Bâtiments avec une production d'humidité élevée (locaux industriels, blanchisseries, piscines, bâtiments fortement climatisés).

figure 6

Pour les bâtiments rangés dans les classes I et II, il n'y a pratiquement pas de risque de condensation interne. Pour les bâtiments qui font partie des deux autres classes, des précautions doivent être prises.

Mais revenons à l'expérience de Mr DELISEE.

Après avoir pris connaissance des résultats de la pré-étude, les autorités scolaires le chargent d'organiser la phase suivante du dossier, à savoir sa mise au point en vue de la réalisation des travaux. Un bureau d'architecture est désigné. Il propose rapidement, vu la nécessité absolue de maintenir en service une partie au moins du bâtiment, d'organiser les travaux en trois phases.

Les travaux nécessaires sont en effet du type «lourd»... Il faut vider le bâtiment de son contenu pour ne conserver que les murs extérieurs, la char-

pente et la couverture! Le cas étudié est évidemment un peu extrême: point n'est toujours besoin de recourir à ces grands moyens...

Evidemment, pour atteindre les objectifs et tenir compte des conclusions de l'étude de faisabilité, il existe, dans l'immense majorité des cas, plusieurs solutions. Ne serait-ce par exemple qu'au niveau du choix des matériaux à mettre en œuvre...

Détaillons rapidement les principaux matériaux disponibles dans notre région.

les deux ambiances. En effet, suite à des essais réalisés en laboratoire, chaque matériau de construction est caractérisé par un coefficient μ qui exprime sa résistance à la diffusion de la vapeur d'eau.

La valeur μ de référence est celle de l'air stagnant : elle est par définition égale à 1. Plus le coefficient μ est grand, plus le matériau qu'il caractérise fait office de barrière à la diffusion de la vapeur d'eau.

Le risque de condensation interne peut donc être évalué de manière théorique. Dans la pratique, il faut retenir que l'on élimine tout risque de condensation interne lorsque les résistances à la diffusion de la vapeur d'eau des différentes couches de matériaux qui constituent une paroi, décroissent à partir de l'isolant vers l'extérieur.

A l'examen d'une situation existante, un premier diagnostic peut donc être posé rapidement :

- absence de sous-toiture et présence d'un espace ventilé sous le matériau de couverture ; il n'y a pas de risque de condensation !
- présence d'une sous-toiture et / ou absence d'un espace ventilé sous le matériau de couverture ; il y a un risque

de condensation !

Pour réagir face à ce risque, il faut distinguer deux cas:

- si la sous-toiture est très étanche à la vapeur d'eau et que la couverture est étanche à l'eau même par grand vent, l'enlèvement de la sous-toiture sera envisagé :
 - ◊ si l'enlèvement est possible, il sera réalisé car cela permettra de mettre en place, sans souci dû au risque de condensation interne, une isolation thermique par l'intérieur;
 - ◊ si l'enlèvement n'est pas possible, il faudra analyser la résistance à la diffusion de vapeur d'eau de cette sous-toiture afin de pouvoir décider de la position (intérieure ou extérieure par rapport à la sous-toiture) et du type de l'isolant.
- si la présence de la sous-toiture est indispensable pour assurer l'étanchéité à l'eau de la toiture, il faudra alors nécessairement réaliser une isolation " par l'extérieur " . Dans ce cas, c'est par exemple la technique de la toiture Sarking (voir § X. b2) qui sera mise en œuvre.

Les lignes qui précèdent montrent combien il est important, lors du choix d'une sous-toiture, de donner la préférence à un matériau perméable à la vapeur d'eau...

VII. Les matériaux disponibles

- Plusieurs matériaux peuvent assurer la fonction de **sous-toiture** : le papier fort, les panneaux de cellulose-ciment, les panneaux de fibres de bois résistants à l'eau, le papier bitumé ou revêtu de feuilles d'aluminium ou d'une matière synthétique, les feuilles en matière synthétique (éventuellement avec micro-perforations), les membranes bitumineuses. Une distinction peut être établie entre les sous-toitures capillaires et les non capillaires. Dans notre région, les matériaux les plus utilisés sont les membranes souples micro-perforées et les panneaux de cellulose-ciment. Etanche à l'eau, perméable à la vapeur d'eau, résistante au gel, ininflammable sont autant de qualificatifs que l'on devrait pouvoir attribuer à toute bonne sous-toiture.

- Pour ce qui est du **pare-vapeur**, on distingue 4 classes d'efficacité selon la valeur obtenue par multiplication du coefficient μ (voir définition 4., en fin de brochure) par l'épaisseur du pare-vapeur. Si cette valeur (épaisseur de diffusion équivalente : voir définition 5., en fin de brochure) est située entre 2 et 5 m, c'est la classe E1. Si cette valeur est comprise entre 5 et 25 m, c'est la classe E2. Les classes E3 et E4 sont beaucoup plus efficaces mais moins employées.

La classe E1 regroupe le papier bitumé, le voile de verre bitumé, le papier à tapisser plastifié, la peinture à l'huile... La classe E2, plus efficace, comprend d'une part, le carton-plâtre recouvert d'une feuille d'aluminium et placé avec les joints entre panneaux rendus étanches et d'autre part, les feuilles de matière synthétique ou membrane bitumineuse agrafées et placées avec larges chevauchements entre les bandes.

- Le choix de **l'isolant** peut être établi en tenant compte de divers critères : les performances intrin-

sèques (le pouvoir isolant : voir définition 2., en fin de brochure, du coefficient λ), les épaisseurs et dimensions disponibles, le coût, la durabilité, la réaction au feu, le bilan écologique du matériau (comparaison des effets positifs et des effets négatifs sur l'environnement),...

Parmi les matériaux isolants disponibles actuellement sur le marché, on distingue généralement deux grands groupes :

A. LES LAINES MINÉRALES

Qu'il s'agisse de la laine de roche ou de la laine de verre, ces matériaux ont pour point commun qu'ils ne sont absolument pas étanches à l'air ni à la vapeur d'eau. Dans le cas où ils sont employés, le placement d'un pare-vapeur est nécessaire si le matériau de couverture freine trop la migration de la vapeur d'eau... ou si l'on se situe au-dessus de locaux humides...

En cas d'incendie, ces laines minérales ne libèrent ni fumées, ni gaz toxiques. La laine de roche présente d'ailleurs des caractéristiques particulièrement intéressantes au niveau de la protection incendie puisqu'elle ne subit pratiquement aucune détérioration, ni modification structurelle en dessous de 750 ° C. Mais le simple enrobage au moyen d'un papier kraft peut diminuer de manière très sensible cet atout...

Les autres caractéristiques de ces matériaux sont :

- nombreux conditionnements proposés (panneaux semi-rigides, matelas ...);
- fortes épaisseurs disponibles (jusque 15 cm pour certains matelas);
- bonne adaptation à l'irrégularité des supports;
- coût raisonnable.

Les classes de pare-vapeur

E1	E2	E3	E4
$2\text{m} < \mu d \leq 5\text{m}$	$5\text{m} < \mu d \leq 25\text{m}$	$25\text{m} < \mu d \leq 200\text{m}$	$200\text{m} < \mu d$
- Papier kraft revêtu d'une feuille d'aluminium. - Carton plâtre revêtu d'une feuille aluminium. - Papier bituminé.	- Feuilles de matière synthétique (PE ou PVC > 0,1 mm). - Membranes bitumineuses avec joints fermés mécaniquement (par ex. chevauchement et agrafage, etc.)	Bitumes armés avec voile de verre et joints collés ou soudés.	Bitumes armés avec métal et joints collés ou soudés (par ex. ALU-3).
Remarque : E3 et E4 ne sont que rarement utilisés dans les toitures inclinées			

figure 7

B. LES MOUSSES SYNTHÉTIQUES

Outre leur rigidité, ces panneaux ont pour point commun d'être étanches à l'air et donc à la vapeur d'eau. Ils conservent leurs qualités isolantes même en cas d'humidification et l'utilisation d'un pare-vapeur peut donc être superflue. Evidemment, pour assurer la continuité de l'étanchéité à la vapeur d'eau, il faut soigner tout particulièrement le colmatage des joints !

En cas d'incendie, même s'ils ne propagent pas le feu, ces matériaux libèrent d'importants dégagements de gaz, toxiques (cas du PUR et du PIR) ou non, qui risquent d'asphyxier les occupants. En cas d'utilisation, il faut donc, de manière générale, parachever la face intérieure de la paroi au moyen de matériaux présentant une très bonne résistance au feu (plaques de plâtre...).

Font partie de ce groupe des mousses synthétiques :

- la mousse de polyuréthane (PUR) :
- le polystyrène expansé (PS) :
- le polystyrène extrudé (PSE) :
- la mousse de polyisocyanurate (PIR).

A propos de ce dernier matériau, le comportement au feu est meilleur que celui du PUR. Si la mousse de polyuréthane dispose d'un coefficient λ très performant (voir tableau récapitulatif), c'est que l'air qui sert de frein thermique dans les autres isolants est ici remplacé par du fréon, gaz trois fois moins conducteur que l'air !

Quant au polystyrène expansé, il faut absolument vérifier qu'il contient un agent retardant au feu lui permettant d'être classé A1 selon la norme NBN S21-203. Seule cette qualité de produit (panneaux marqués d'un trait rouge) convient pour la construction !

Le comportement au feu des matériaux isolants constitue un critère de choix à ne pas négliger dans le cadre de l'isolation d'une toiture inclinée. En effet, s'il est relativement aisé de s'échapper du rez-de-chaussée d'un immeuble en feu, il n'en est pas toujours de même pour les occupants d'un local situé dans les combles... Et dans ce cas, quelques minutes supplémentaires de répit peuvent s'avérer vitales! (voir encadré page 14).

TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX MATÉRIAUX ISOLANTS UTILISÉS EN TOITURE						
Matériau isolant Caractéristiques	Polystyrène expansé	Verre cellulaire	Laine de roche	Laine de verre	Mousse de Polyuréthane	Polystyrène extrudé
Conductivité thermique (λ , en W/mK)	0,040	0,045	0,040	0,040	0,028	0,035
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ , sans unité)	20 à 60	∞	1,1 à 1,8	1,2 à 1,3	10 à 80	60 à 250
Température limite d'utilisation (tu, en °C)	70	430	750	500	100 (PIR : 130)	75
Masse volumique (ρ , en kg/m³)	15 à 35	125 à 135	20 à 175	12 à 110	20 à 40	25 à 45
Comportement au feu	Malgré adjonction d'un agent retardant au feu, ne peut être exposé à la moindre source d'ignition	très bonne résistance au feu	très bonne résistance au feu	bonne résistance au feu	dégagement de gaz toxiques	Ne peut être exposé à la flamme ni à toute autre source d'ignition

figure 8



En matière de **résistance au feu**, nous savons que, pour qu'un incendie se déclare, trois éléments doivent être réunis dans une certaine proportion : l'oxygène, l'énergie d'inflammation et les matériaux combustibles.

Comme l'oxygène est partout présent en suffisance dans l'air et que l'énergie d'inflammation, origine de l'incendie, est un facteur imprévisible, il reste à agir sur les matériaux.

Plusieurs facteurs entrent en jeu. La combustibilité des matériaux est une caractéristique que l'on peut analyser pour chacun d'entre eux. Selon qu'ils soient solides, fusibles, liquides ou gazeux, l'énergie nécessaire pour les enflammer, leur façon de brûler et leur capacité de propagation de l'incendie seront très variables.

Parce qu'il est important, autant pour le maître de l'ouvrage que pour l'architecte ou l'entrepreneur, de savoir comment les produits que l'on voudrait utiliser, se comportent en cas d'incendie, un classement a été établi en fonction de la réaction au feu des matériaux.

La norme NBN S 21-203 et l'Arrêté Royal consacré aux Normes de base en matière de Prévention contre l'Incendie proposent trois méthodes d'essais qui permettent de déboucher sur le classement suivant :

• classe A0.	Matériaux non-combustibles
• classe A1.	Propagation du feu faible
• classe A2.	Propagation du feu moyenne
• classe A3.	Propagation du feu forte
• classe A4.	Matériaux ne satisfaisant pas aux exigences.

Une grille d'exigence a été ensuite établie pour déterminer, en fonction du type de local et selon la paroi considérée, la classe de matériau acceptable.

Des normes de Protection contre l'incendie ont été établies pour les bâtiments scolaires, pour les établissements hôteliers, pour les bâtiments élevés et moyens... Une norme est même entrée en application en Avril 1996 pour les bâtiments bas mais son application a été reportée au 01.01.1997.

Quant à la résistance au feu d'une construction, elle dépend des caractéristiques des différents éléments qui la composent.

La résistance au feu d'un élément de construction se définit comme le temps pendant lequel cet élément satisfait aux critères de stabilité, d'étanchéité aux flammes et d'isolation thermique. Ce temps est mesuré en laboratoire selon des procédures d'essais normalisées et, en fonction du temps mesuré, chaque élément de construction reçoit une désignation. C'est ainsi que l'on parle de Rf d'1/2 heure, d' 1 heure, d' 1 heure et demi ou même de 2 heures.

Lors d'un incendie, une combustion incomplète peut provoquer l'apparition de différents gaz toxiques et corrosifs ainsi qu'un important dégagement de fumées. Les dégâts qui s'ensuivent sont souvent plus importants que ceux engendrés par l'incendie !

Le cas du verre cellulaire est un peu particulier. La structure de ce matériau et la parfaite étanchéité de ses parois cellulaires permettent tout à la fois de maintenir un coefficient λ inchangé au cours du temps et d'assurer une totale insensibilité du matériau à l'humidité. Le verre cellulaire présente en conséquence un coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (le coefficient μ) égal à l'infini et ce matériau, pour autant que les joints entre panneaux soient bien étanches, peut donc servir à la fois de sous-toiture, d'isolant et d'écran étanche à l'air et à la vapeur.

Malheureusement, la mise en œuvre de ce matériau aux excellentes qualités demande beaucoup de soins : il faut notamment enduire d'un mastic à élasticité permanente toutes les tranches des panneaux. Impossible «entre» les chevrons, le placement sous les chevrons demande quant à lui une excellente planéité du support.

N.B. 1. Les panneaux composites qui sont proposés sur le marché, sont le fruit de l'assemblage d'un matériau isolant (le plus souvent le PS, le PUR ou la laine minérale) et d'un panneau de finition (le plus souvent un panneau de plâtre).

2. Pour être complet, nous nous devons de signaler aussi l'existence d'autres matériaux isolants tels que le liège expansé, la perlite, la vermiculite, l'argile expansé... Quoique ces

matériaux soient moins souvent mis en œuvre dans les toitures inclinées, ils peuvent parfois apporter une réponse à des cas un peu particuliers.

3. Les critères de choix d'un isolant sont très nombreux. Celui de la vulnérabilité du matériau face aux insectes et rongeurs peut aussi, dans certaines circonstances, être important.

Afin de faciliter le travail au niveau de la mise en œuvre, les fabricants de matériaux isolants ont mis sur le marché toute une panoplie de produits aux applications parfois bien spécifiques. C'est ainsi qu'il existe des panneaux rectangulaires de laine de roche pré-découpés selon leur diagonale (pour faciliter l'adaptation aux entraxes souvent irréguliers qui existent entre les bois de charpente et diminuer les chutes de matériau) ou des panneaux de laine de verre comportant des lignes de repère à intervalle de 10 cm (pour faciliter les découpes).

Il faut donc inviter le lecteur à bien se renseigner sur les qualités strictement nécessaires de l'isolant à mettre en place. Inutile de payer bien cher un isolant aux qualités superflues ! Il ne sert par exemple à rien d'employer dans une toiture inclinée le produit mis au point pour l'isolation d'une toiture parking....

VIII. Le choix de l'épaisseur d'isolant

Autre cap important, ce choix n'est plus tout à fait libre. En effet, le nouveau Règlement thermique en Région Wallonne impose pour chaque paroi de la surface de déperdition d'un bâtiment, un coefficient k maximum. Cette imposition a pour origine la volonté d'assurer une certaine homogénéité de l'isolation thermique du bâtiment.

Pour atteindre les performances demandées pour les toitures ou les plafonds séparant le volume protégé d'un local non-chauffé exposé au gel, il faut désormais obtenir une valeur k (voir définition 3 en fin de brochure) inférieure ou égale à $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Concrètement et sans tenir compte des éventuels ponts thermiques à traiter, cela signifie la mise en œuvre :

- d'au moins 100 mm de polystyrène expansé ou de laine minérale ($\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$),
- d'au moins 90 mm de polystyrène extrudé ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$),
- d'au moins 70 mm de polyuréthane ($\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$).

Mais si l'espace disponible le permet, il ne faut pas hésiter à mettre en place des épaisseurs d'isolant encore plus importantes...

En vigueur à partir du 01.12.1996, ce nouveau règlement connu sous le nom de K55 a un champ d'application plus large que l'ancien (on parlait jusqu'alors du K70) car, outre les immeubles de logement, il concerne aussi les immeubles de bureaux

et les bâtiments scolaires, qu'ils soient neufs ou rénovés.

Il impose, au moment de la demande de permis de bâtir, que l'auteur de projet démontre la performance énergétique du bâtiment qu'il a conçu.

Cette performance est mesurée par le niveau K qui est le niveau global d'isolation du bâtiment : plus cette valeur K est faible, plus les besoins du bâtiment en énergie de chauffage seront faibles.

IX. Conseils et exigences à satisfaire

Avant d'envisager la technique de mise en œuvre la mieux adaptée à votre cas, vous devez garder à l'esprit les deux conseils ci-après.

CONSEIL N° 1

Assurer l'existence d'une lame d'air ventilée juste sous le matériau de couverture afin de permettre l'évacuation rapide de l'humidité qui existe fréquemment, par temps froid ou pluvieux, au niveau de la face inférieure de ce matériau de couverture.

En effet, la volonté d'obtenir pour les parois des performances élevées en matière d'isolation thermique ne doit pas aboutir à un remplissage irrfléchi de tous les creux disponibles. L'épaisseur d'isolant à mettre en place doit donc dans tous les cas être adaptée à la disposition des lieux !

Dans la pratique, ce conseil peut être facilement atteint par la mise en place de contrelattes d'une section minimum de 20 x 40 mm.

Mais il ne suffit pas que l'espace existe, il faut aussi que sa ventilation soit assurée. A ce propos, il semble aujourd'hui démontré que la mise en œuvre d'orifices de ventilation en partie basse et en partie haute du toit soit rarement nécessaire car, pour la plupart, les matériaux de couverture utilisés dans nos régions sont suffisamment perméables à l'air par eux-mêmes.

Quant au maintien d'un espace libre entre la sous-toiture (lorsqu'elle existe) et la face supérieure de l'isolant, il est aujourd'hui déconseillé par les spécialistes du problème car il a pour conséquence de créer des courants d'air parasites qui diminuent finalement l'efficacité de la couche isolante et qui peuvent engendrer des problèmes d'humidité.

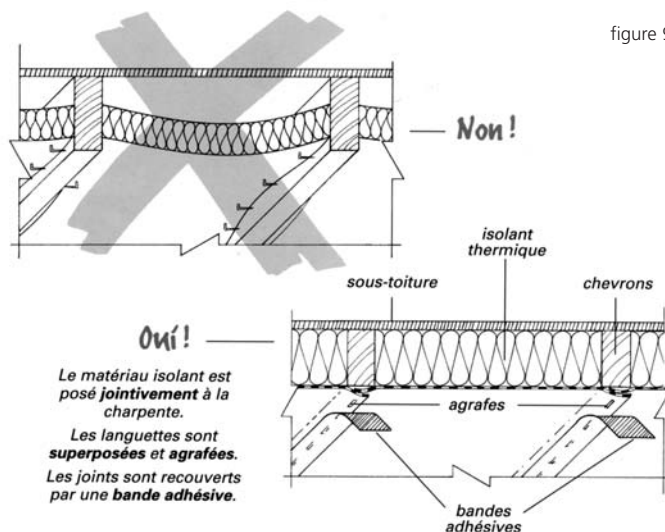
CONSEIL N° 2

Assurer l'étanchéité à l'air des parois isolées suite aux travaux.

Tant pour éviter que l'air extérieur puisse s'infiltrer vers l'intérieur et refroidir le volume protégé que pour éviter les fuites de calories dues à la migration de l'air intérieur vers l'extérieur, une bonne isolation thermique passe nécessairement par une bonne étanchéité à l'air.

Pour atteindre cet objectif, il s'agit d'abord de placer avec grand soin les couches de matériau isolant en veillant à limiter à tout prix les joints ouverts entre panneaux ou entre panneaux et autres éléments (murs, bois de charpente...).

Ce soin apporté à la mise en œuvre doit permettre de réduire autant que possible ce que les spécialistes appellent les «fuites convectives», lesquelles peuvent être responsables de l'apparition de phénomènes de condensation, interne ou superficielle.



Si les panneaux isolants sont eux-mêmes étanches à l'air et que les joints entre panneaux sont bien fermés, il n'y aura pas besoin de mettre en place un écran étanche à l'air comme c'est toujours nécessaire avec les isolants non-étanches à l'air.

Le corollaire indispensable de ce deuxième conseil, c'est qu'il faut alors contrôler la ventilation du bâtiment.

En effet, le renouvellement de l'air est absolument indispensable :

- pour évacuer les fumées, les odeurs, les impuretés de l'air ambiant ;
- pour assurer un volume d'air neuf suffisant dans les locaux où il y a combustion ;
- pour éliminer l'humidité inévitablement produite par les occupants.

Le nouveau Règlement Thermique établi pour la Région Wallonne demande de prendre en compte ce besoin de ventilation : par des techniques de

ventilation naturelle ou par des systèmes de ventilation mécanique... Mais c'est là un autre sujet que celui qui nous occupe.

Le respect de ces deux conseils doit être conjugué avec celui des trois exigences de base que devrait remplir toute toiture inclinée isolée correctement conçue. Ces exigences sont :

1. Assurer la continuité de l'étanchéité à l'eau et éviter les infiltrations ;
2. Assurer l'étanchéité à l'air de la toiture et éviter, si besoin par le recours à un pare-vapeur, le phénomène de condensation interne ;
3. Assurer la continuité de l'isolation thermique en évitant le phénomène de pont thermique.

X. Les techniques de mise en œuvre

Dans le cadre qui nous intéresse, à savoir la rénovation d'une toiture inclinée, le démontage du matériau de couverture en vue de son remplacement sera sans doute le cas le plus fréquent. Toutes les techniques de mise en œuvre d'une couche d'isolation thermique seront alors théoriquement disponibles... L'intervention pourra se faire **sur ou sous la charpente**.

Dans le cas de l'IATA, parce que le matériau de couverture était encore en bon état, seules les interventions **sous la charpente** étaient envisageables.

Dans tous les cas, parmi les techniques de mise en œuvre, celles qui assurent une bonne homogénéité de l'isolation thermique sont toujours préférables.

Si nous prenons le cas classique d'une toiture constituée d'une charpente en bois, la présence de ces éléments en bois constitue un " point faible " (pour ne pas dire un pont thermique) de la paroi puisque le coefficient moyen de conductivité thermique (λ) du bois est de l'ordre de 4 fois supérieur à celui d'un matériau isolant moyen.

Au niveau des performances globales, l'incidence de ces points faibles, d'autant plus grande que la couche d'isolant est épaisse, peut diminuer de 20 à 25 % la performance de la couche isolante mise en place.

En pratique, pour éliminer cette incidence négative des chevrons ou gîtes sur la valeur globale d'isolation thermique de la toiture, il suffira de placer, sous ces pièces de bois, une épaisseur d'isolant. En choisissant un matériau sandwich du type " panneau de plâtre + isolant ", il est même possible, par l'emploi de cette technique d'isolation croisée, de créer en même temps la finition intérieure de la paroi.

Mais d'autres ponts thermiques potentiels et plus problématiques existent. Les cheminées, les murs pignons, les gouttières en béton armé, les raccords entre toit plat et toit incliné, les raccords entre le plancher des combles et les maçonneries périphériques sont autant d'endroits qui méritent un traitement adéquat via une bonne conception des détails de construction !

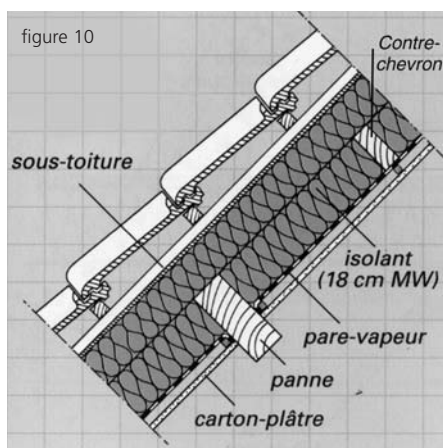
Passons maintenant en revue quelques cas concrets qui permettront de présenter différentes techniques de réalisation.

Comme toujours, c'est tout autant de la qualité de la mise en œuvre que de la qualité des matériaux employés que dépend la qualité du résultat final...

Il ressort clairement des contrôles effectués sur les chantiers que, si le résultat des travaux d'isolation est insuffisant et donne lieu à l'apparition de ponts thermiques, de fuites d'air ou de phénomènes de condensation, c'est toujours la conséquence d'un mauvais placement du pare-vapeur ou de l'écran étanche à l'air. La qualité du matériau isolant entre très rarement en cause dans l'explication de ces mauvais résultats.

Nous envisagerons d'abord les techniques qui ont pour point commun le placement de la couche isolante du côté intérieur de la charpente du toit. Dans ce cas, cette structure se trouve donc du côté froid de l'isolation.

A.1. ISOLATION EN DEUX COUCHES CROISÉES AVEC CONTRE-CHEVRONNAGE HORIZONTAL.



C'est une technique efficace qui assure une bonne homogénéité de l'isolation thermique. L'emploi d'isolant sous forme de matelas, conditionnement économique, est possible.

Cette technique demande un surplus de main-

d'œuvre car il faut créer le contre-chevonnage, c'est à dire des pièces de bois fixées à la sous-face des chevrons existants.

De la qualité d'exécution de ce travail, dépendra aussi la qualité de l'aspect final de la paroi (cfr planéité...). Les dimensions des bois sont à choisir en fonction de l'épaisseur souhaitée de l'isolant, de l'écartement des chevrons supports et du type de plafond.

Dans le cas des constructions anciennes où les chevrons existants sont souvent très irréguliers tant au niveau de leur entredistance que de leurs formes et épaisseurs, la technique du contre-chevonnage ou celle du plafond suspendu sont incontournables si l'on veut obtenir un plafond plan et régulier à la fin des travaux.

A.2. ISOLATION EN DEUX COUCHES CROISÉES SANS CONTRE-CHEVRONNAGE HORIZONTAL.

Cette technique qui assure aussi une bonne homogénéité de l'isolation thermique, utilise, pour la couche "intérieure", des panneaux sandwichs qui assurent la double fonction d'isolation et de finition intérieure.

Il existe sur le marché toute une gamme de panneaux proposant l'assemblage de divers matériaux isolants et de finitions.

Une attention particulière doit être portée au colmatage des joints entre plaques et des joints entre plaques et murs, bois ou autres éléments contigus.

Une variante de cette technique consiste à utiliser des pattes de fixation spécialement étudiées pour permettre la mise en place sous les chevrons existants de couches isolantes dont l'épaisseur totale peut atteindre 22 cm. Plusieurs fabricants proposent ces pattes de fixation qui permettent aussi, moyennant la mise en place de profilés en acier clipsés ou de lattes de bois vissées sur elles, d'assurer une finition de plafond du type panneaux de plâtre ou planchettes en bois.

Les techniques suivantes ont pour point commun le placement de la couche isolante du côté extérieur de la charpente du toit. Dans ce cas, cette structure se trouve donc du côté chaud de l'isolation et le volume intérieur n'est pas réduit par la mise en place de la couche isolante. Si elle est bien appliquée, cette façon de procéder réduit de manière très sensible le problème des ponts thermiques.

B.1. ISOLATION EN UNE COUCHE PAR PANNEAUX AUTO-PORTANTS.

Cette technique utilise des éléments de toiture auto-portants à isolation intégrée. Ces panneaux préfabriqués sont prêts à être couverts et ils comportent généralement une finition intérieure préparée en usine.

Ils permettent de supprimer les chevrons puisqu'ils peuvent franchir des portées plus importantes (le plus souvent de l'ordre d'un mètre) et prendre dès

lors directement appui sur les pannes.

L'utilisation de ces panneaux est surtout avantageuse pour des toits de forme simple ne comportant pas trop de percements.

Ces panneaux auto-portants peuvent être du type «ouvert» (matériau isolant visible sur la face supérieure) ou du type «sandwich» (matériau isolant recouvert d'un panneau de bois sur chacune de ses faces). Dans tous les cas, les joints entre ces panneaux doivent être parfaitement étanches à l'eau en face supérieure (usage de mousse de PUR) et à l'air et à la vapeur d'eau en face inférieure.

Il faut aussi savoir que, pour certains d'entre eux, les qualités acoustiques de ces panneaux sont un peu «légères»... C'est un point à ne pas négliger lors du choix final.

B.2. ISOLATION EN UNE COUCHE PAR PANNEAUX POSÉS SUR LES CHEVRONS.

Dans cette technique, aussi connue sous le nom de toiture Sarking, la couche isolante est placée sur les chevrons. Les panneaux utilisés, pourvus de rainures et languettes, sont constitués de polystyrène extrudé ; ils ont une épaisseur de 3 à 10 cm et sont, grâce à leur faible poids, faciles à manipuler. Les joints entre les panneaux doivent être étanches à l'air.

Ce matériau n'absorbant pas l'eau, le placement d'un pare-vapeur est dans ce cas superflu. Quant à la mise en place d'une sous-toiture sur la face extérieure des panneaux isolants, elle a alors pour but principal de garantir l'étanchéité des joints entre les panneaux.

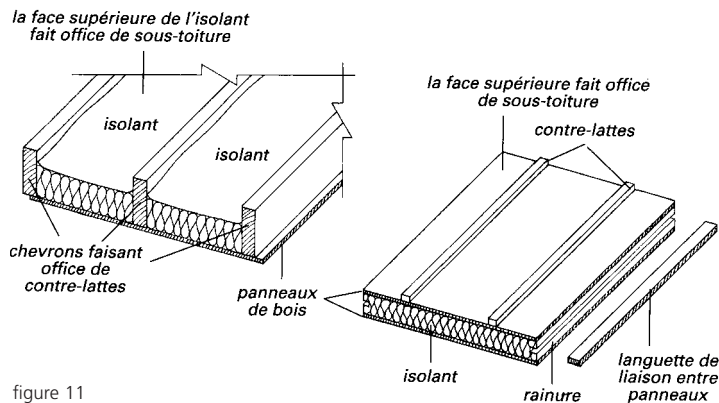
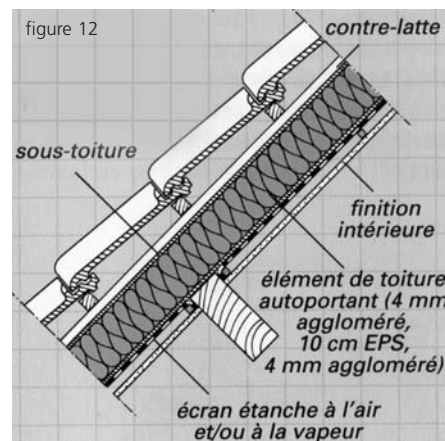


figure 11



Sur cette sous-toiture, la mise en place des contre-lattes (vissées dans les chevrons au travers de la couche isolante), des lattes et des éléments de couverture se fait alors de manière classique.

Signalons que, depuis peu de temps, des panneaux à base de polystyrène expansé sont aussi disponibles sur le marché pour réaliser cette toiture Sarking.

Une variante de cette technique consiste en l'emploi de panneaux de mousse rigide de polyisocyanurate dont la face inférieure est revêtue d'une feuille d'aluminium faisant fonction de pare-vapeur. La face supérieure présente une « peau » de surface imperméable et laisse apparaître une armature en treillis métallique galvanisé et plastifié qui est insérée dans le panneau de mousse lors de la fabrication en usine.

Ce treillis forme des saillies de ± 25 mm par rapport à la face supérieure de l'isolant et il remplace à la fois le contrelattage et le lattage en bois.

Outre leur faible poids (± 4 kg / m²), ces panneaux présentent l'avantage d'assurer la création d'une isolation continue, de 6 à 8 cm d'épaisseur, et évitent ainsi toute création de pont thermique.

La gamme comprend plusieurs panneaux qui se distinguent par l'écartement entre les treillis afin de pouvoir recevoir les types de tuiles les plus usités dans nos régions.

Pour les moyens de fixation, l'étanchéisation des joints, les caractéristiques nécessaires du support, nous renvoyons le lecteur aux notices techniques du fabricant.

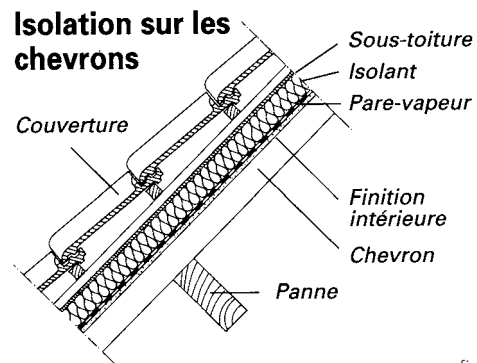


figure 13

La mise en œuvre de sous-tuiles isolantes préfabriquées (le plus souvent en mousse de polystyrène expansé) et le remplissage de l'espace compris entre la couverture et la sous-toiture (par injection de mousse ou insufflation de flocons de laine minérale) sont des techniques à déconseiller car elles ne permettent pas la création d'une lame d'air ventilée en sous-face du matériau de couverture.

Rappelons encore qu'il faut, dans tous les cas, viser à assurer la continuité de l'isolation thermique et que les ouvrages tels que cheminées, fenêtres de toiture, lucarnes,... mais aussi les changements de niveau dans les toitures... doivent être étudiés et réalisés avec soin.

XI. La finition intérieure

Le choix de la finition intérieure est laissé à l'appréciation esthétique de chacun.

Si les conseils de mise en œuvre des couches isolantes et des autres membranes (écran étanche à l'air, pare-vapeur, sous-toiture...) sont respectés, la couche de finition intérieure a peu d'importance du point de vue de la physique du bâtiment.

Entre le pare-vapeur ou l'écran étanche à l'air et la finition intérieure, il est cependant vivement conseillé de ménager un espace libre permettant l'installation des gaines (le plus souvent électriques) sans être obligé de perforer et donc de diminuer très fortement l'efficacité de l'écran mis en place.

Evidemment, le choix de la technique d'isolation peut aussi être guidé par la recherche d'un aspect esthétique, d'une ambiance... Certains ne jurent

que par les poutres apparentes... ou veulent à tout prix préserver au maximum l'espace disponible et habitable des combles. Nous avons vu aussi que certains matériaux permettent de mettre en œuvre tout à la fois la couche d'isolation thermique et la finition intérieure.

Le profil du plafond doit aussi être bien réfléchi. Si la hauteur sous faite est importante, il est souvent préférable de créer un faux-plafond afin de minimiser le volume à chauffer.

Enfin, il faut prêter attention au choix et à l'installation des appareils d'éclairage. Il faut notamment leur assurer des possibilités de refroidissement et éviter tout contact avec un isolant ou une membrane qui ne pourrait résister à la chaleur que ces appareils dégagent.

Au niveau des budgets, les autorités scolaires ont décidé, vu les délais disponibles, de financer sur fonds propres la première phase des travaux. Pour les deux phases suivantes, elles introduisent un dossier auprès du Fonds de Garantie des Bâtiments Scolaires.

Afin de réduire les coûts à supporter dans la première phase, la main-d'œuvre disponible dans l'établissement (ouvriers du service d'entretien) est sollicitée pour la réalisation de divers travaux de déblaiement ou de préparation (décapage des vieux enduits, traitement de la charpente...). Espérant obtenir de meilleurs prix mais ne souhaitant pas scinder complètement l'entreprise, le maître de l'ouvrage décide finalement de travailler en entreprise générale sauf pour les lots Menuiseries Extérieures et Chauffage.

Après un appel d'offres en bonne et due forme, les trois lots constituant l'entreprise sont adjugés à des firmes de la région. Les travaux débutent à la fin du mois de Mai 1996 et sont terminés pour la rentrée scolaire suivante. Le choix de cette période n'est évidemment pas le fruit du hasard puisqu'il permet d'éviter que les désagréments inhérents à tout chantier viennent perturber les cours mais aussi parce qu'il rend quasi nuls les problèmes liés à la sécurité des élèves et des enseignants par rapport au chantier...

Afin de pouvoir utiliser tout l'espace disponible, il est décidé d'aménager le volume situé juste sous le toit. Les travaux résultant de cette décision, nous essayons de vous en convaincre depuis les premières pages, doivent être soigneusement préparés et réfléchis. Il ne suffit pas de mettre en place quelques panneaux de plâtre et quelques matelas d'isolant...

Dans les combles du bâtiment de l'IATA qui nous sert d'exemple (voir le croquis ci-joint), des cloisons verticales ont été construites derrière les pieds de la charpente existante et un plafond suspendu a été aménagé au niveau des entrants. Les matériaux de finition sont des panneaux à base de plâtre, panneaux aux qualités anti-feu reconnues. Derrière ces panneaux (épaisseur totale 16 mm pour les plafonds et 22 mm pour les parois verticales), une double couche d'isolation thermique a été préalablement mise en place. Le choix s'est porté sur des matelas isolant de 50 mm d'épaisseur, matelas composés de laine de roche présentant une masse volumique de 45 kg / m³.

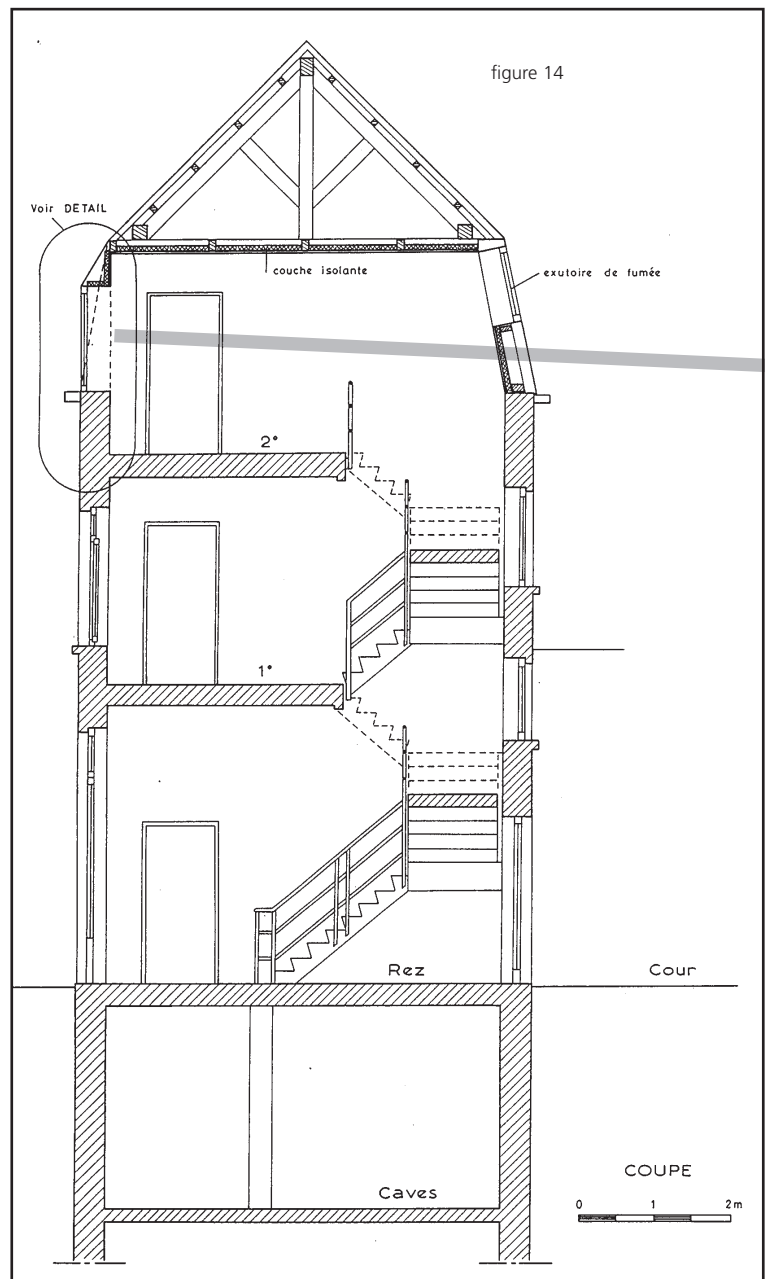
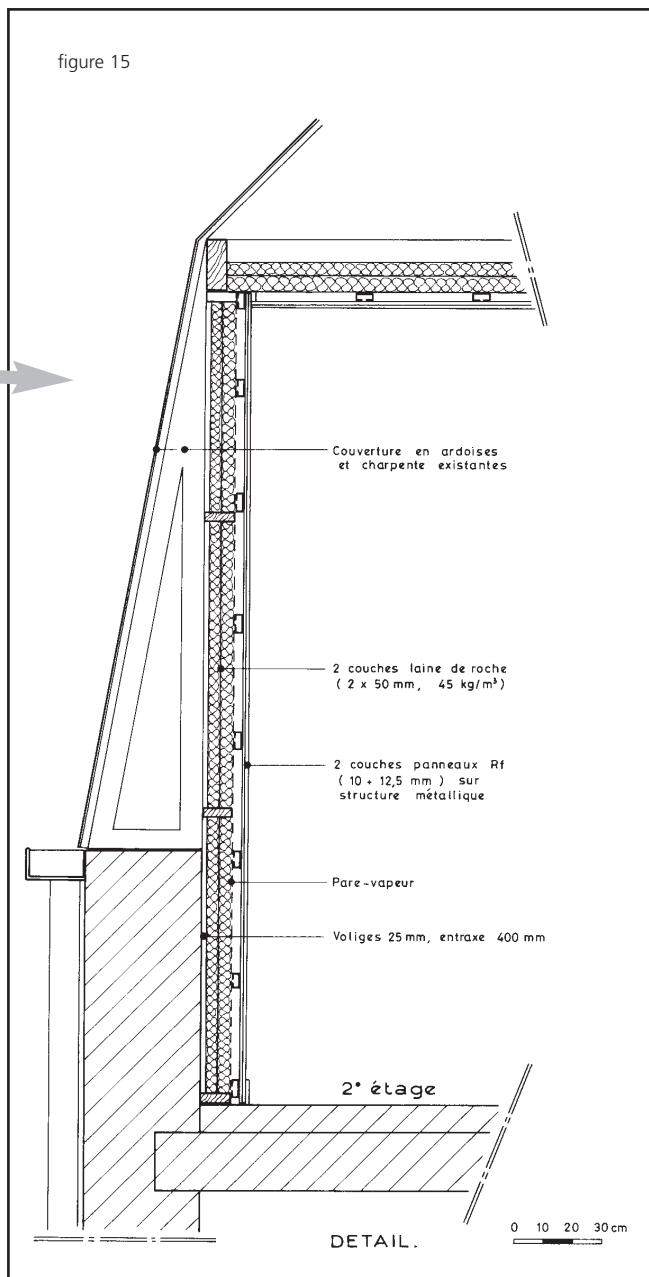




figure 15



XII. Quelles sont les améliorations obtenues ?

Nous ne reviendrons pas sur l'aspect **«confort thermique»** des travaux entrepris. Le gain dans ce domaine, si les matériaux ont été bien choisis et les techniques bien mises en œuvre, devrait être très net car le confort thermique dépend de la température de l'air ambiant mais aussi de la température de surface des parois environnantes.

Ce confort thermique accru va assurément de pair avec une économie en matière de frais de chauffage. (*voir encadré coût/économie ci-contre*)

En effet, il est révolu le temps où certains pouvaient encore croire qu'Economie et Confort sont deux concepts inconciliables.

Mais le confort des occupants, c'est aussi la qualité et la quantité d'**éclairage** qui leur sont assurées. Qu'il s'agisse d'éclairage naturel ou d'éclairage artificiel...

Lors de travaux de rénovation d'une toiture entraînant l'occupation des combles, il faut toujours étudier les possibilités d'assurer l'éclairage naturel de ces nouveaux locaux.

La mise en place de fenêtres de toiture permet d'amener de la lumière, de l'air et aussi d'agrandir, tout au moins visuellement, l'espace. Il existe sur le marché une large gamme de dimensions, de modes d'ouverture et d'accessoires, y compris de finition intérieure.

Cet éclairage zénithal offre une luminosité très constante puisqu'il diminue l'impact des ombres et il permet aussi une excellente ventilation.

D'autres solutions sont évidemment possibles mais elles exigent souvent la réalisation d'aménagements plus importants ; lucarnes de toutes formes, ouverture de baies dans les pignons...

Dans tous les cas, y compris celui des fenêtres de toiture, il faudrait veiller à ne pas «défigurer» la toiture par une disposition anarchique de ces prises de lumière. Il ne faut pas oublier que la toiture est la cinquième façade d'un bâtiment ! Idéalement, l'aspect esthétique de l'ensemble «volume (avec ses murs) + toit» doit former un tout. Il faut rechercher une harmonie de tons, de formes et d'échelle entre

les diverses parties...

Mais des actions peuvent être aussi menées dans le domaine de l'éclairage artificiel. A ce sujet, nous dirons deux mots dans les pages qui suivent du choix fait par Mr DELISEE.

Des améliorations devraient aussi exister au niveau de l'**isolation acoustique** du bâtiment. Nous savons tous que des niveaux de bruit trop élevés sont gênants. Ces niveaux de bruit peuvent être diminués en appliquant des matériaux qui absorbent le bruit et en réalisant des constructions qui isolent contre le bruit.

Le problème du bruit est très complexe car il peut nous atteindre par des chemins détournés et l'existence d'un petit point faible peut ruiner en bonne partie l'efficacité globale du système mis en place... Il faut donc veiller à colmater tous les joints, tous les interstices et toutes les fentes.

Au niveau des techniques à mettre en œuvre, il y a lieu de faire une distinction entre les bruits aériens et les bruits de contact même si dans les deux cas, la source sonore et le récepteur se trouvent dans des locaux différents, séparés par un ou plusieurs éléments de construction.

Il existe deux grandes manières d'obtenir une isolation efficace contre les bruits aériens. La mise en œuvre d'une masse permet de lutter principalement contre les hautes fréquences tandis que la mise en œuvre de panneaux absorbants permet de s'isoler contre les moyennes et les hautes fréquences.

Pour créer une bonne isolation contre les bruits de contact, il faut faire en sorte que les différentes parties de la construction soient désolidarisées. Le recours à des sols flottants est le moyen le plus connu mais il n'est pas toujours suffisant.

Dans le cas qui nous occupe, à savoir l'occupation, suite à leur réaménagement, de locaux situés sous la toiture, négliger le problème acoustique serait malencontreux car les occupants des locaux de l'étage inférieur pourraient par exemple regretter amèrement d'avoir de nouveaux voisins au-dessus de leur tête...

Calcul du temps de retour de l'investissement

• Cas des faux plafonds •

Considérons la surface des faux-plafonds (Rf 1h) mis en place dans le cadre des travaux, soit 85 m². Le coût global des travaux relatifs à ce poste, coût comprenant la sous-structure en acier, les deux couches d'isolant, le pare-vapeur, les deux couches de panneaux et leur enduisage, est de 250.000 F. hors TVA, soit environ 3000 F/m².

Dans ce coût au m², la part des 2 couches d'isolant peut être estimée à 600 F/m².

La déperdition avant travaux est estimée par calcul à 175 kWh par an et par m² de plafond (en tenant compte d'un coefficient k de la paroi égal à 2,8 W/m²K et d'une durée d'utilisation de 5800 heures par an).

Après réalisation des travaux d'isolation, cette même déperdition serait ramenée à 15kWh par an et par m² de plafond (k devenu 0,25 W/m²K).

Le gain espéré est donc de 160 kWh/an par m², ce qui représente 16 m³ de gaz ou encore une somme de 160 francs/m².

Comparée au surcoût dû à la mise en place de l'isolation thermique, cette économie permet donc de récupérer au bout de 3,75 ans la mise de départ (cfr $600/160 = 3,75$).

Grâce aux subsides obtenus dans le cadre du projet ECHOP, le temps de retour est ramené à **$(600 \times 0,8)/160 = 3$ ans.**

Quant à l'installation de luminaires sophistiqués, les calculs montrent que pour les 47 appareils installés dans le bâtiment rénové, la consommation sur une année serait ramenée de 8742 kW/h à 3431 kW/h, soit une économie de 60% qui représente environ 20.000 F par an (en tenant compte d'un prix du kW/h égal à 3,7 F, d'une durée d'utilisation de 10 heures par jour et ce 200 jours sur l'année).

Il faudrait donc **$(47 \times 8.000) / 20.000 = 18,8$ années** pour récupérer la mise... Mais c'est oublier de tenir compte de la durée de vie double de ces appareils et, fait important, du confort nettement amélioré pour les occupants (cfr meilleure répartition des niveaux d'éclairage dans le local).

L'intervention des subsides obtenus dans le cadre du programme ECHOP (à raison de 20%) permet de ramener ce temps de retour à 15 ans.

Signalons encore que le simple calorifugeage des tuyauteries de l'installation de chauffage peut permettre de réduire de 85% les pertes d'énergie calorifique mesurées pour ces éléments !



Idéalement, la **résistance au feu** globale devrait elle aussi se trouver améliorée par rapport à la situation de départ.

Enfin, au-delà de ces améliorations «individuelles», la situation finale devrait aussi être meilleure en ce qui concerne le **respect de l'environnement**. Dans une WALLONIE qui ne produit plus

que 2 % de l'énergie qui lui est nécessaire, l'utilisation rationnelle de l'énergie mérite assurément notre attention. Et quand on sait que 20 % des rejets de CO₂ dans l'atmosphère ont pour origine les systèmes de chauffage...

Au total, toutes ces améliorations sont donc importantes et significatives.

Pour le cas de l'IATA, au final, ce sont trois classes de dessin (une par étage), chacune disposant d'un petit local annexe, qui ont été aménagées dans cette aile du vieux bâtiment. En fait, c'est presque un bâtiment neuf qui est mis à la disposition des élèves et des enseignants...

Les châssis sont neufs. Le choix s'est porté sur des châssis en bois (merbau) équipés d'un double vitrage standard ($k = 2,9 \text{ W / m}^2\text{K}$, à comparer avec le k des anciens châssis qui était égal à $5,8 \text{ W / m}^2\text{K}$...). Ce choix s'inscrit évidemment dans la logique d'amélioration des performances thermiques du bâtiment. Signalons simplement qu'il aurait été possible de pousser l'avantage encore un cran plus loin en optant pour des double vitrages plus performants. (Voir à ce sujet la fiche technico-commerciale intitulée «Types de vitrages» réalisée par l'Institut Wallon asbl).

Les planchers, les cloisons, les enduits, les portes, les escaliers sont aussi totalement neufs. Ainsi, les vieux planchers du rez (plancher sur voussettes en briques) ont été remplacés par une dalle en béton armé tandis que ceux des 1^{er} et 2^{es} étages ont été réalisés au moyen de poutres et de poteaux en béton.

Nous attirerons enfin l'attention du lecteur sur le choix qui a été fait au niveau des appareils d'éclairage artificiel. Sur le conseil des auteurs de projet, Mr DELISEE a convaincu le pouvoir organisateur de l'école d'investir dans un matériel assez sophistiqué. Il s'agit en effet de luminaires équipés chacun d'une cellule qui, mesurant la quantité de lumière naturelle disponible, règle, en fonction de l'intensité de celle-ci, l'intensité de la lumière artificielle nécessaire. Cet outil cherche donc à la fois à assurer le confort des utilisateurs des locaux et à utiliser rationnellement l'énergie électrique.

Au niveau du coût, les travaux de la première phase se sont finalement soldés par une dépense de près de 9 millions.

Suite aux interventions pratiquées sur les cloisons, plafonds et menuiseries extérieures, le bilan énergétique du bâtiment rénové devrait, selon les calculs établis par l'Institut Wallon, être amélioré de l'ordre de 15 %. Comme nous vous l'avons expliqué, ce n'était pas là la première motivation dans la décision de réaliser les travaux mais il n'empêche que c'est une conséquence très positive de ceux-ci, conséquence qui, par les économies qu'elle va engendrer, permettra aux autorités scolaires de récupérer petit à petit les fonds investis.



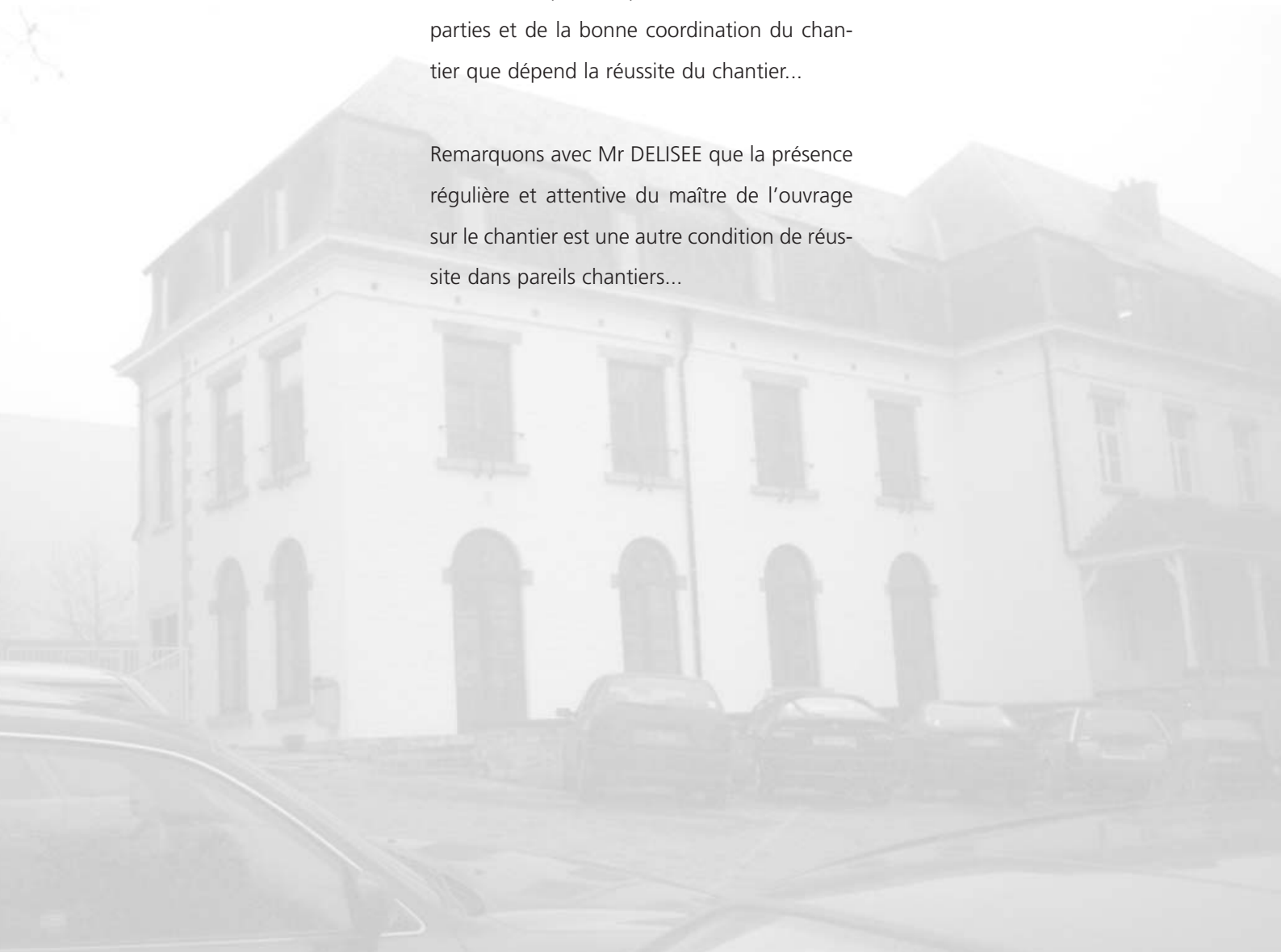
XIII. Conclusions

Nous espérons que la lecture des pages qui précèdent vous aura permis de mesurer combien l'isolation d'une toiture inclinée est un sujet complexe aux multiples facettes.

Nous ne pouvons dès lors que vous inviter à envisager, dès le départ, l'ensemble de la problématique !

C'est de la bonne préparation du dossier, de la confiance respective qui doit s'établir entre les parties et de la bonne coordination du chantier que dépend la réussite du chantier...

Remarquons avec Mr DELISEE que la présence régulière et attentive du maître de l'ouvrage sur le chantier est une autre condition de réussite dans pareils chantiers...





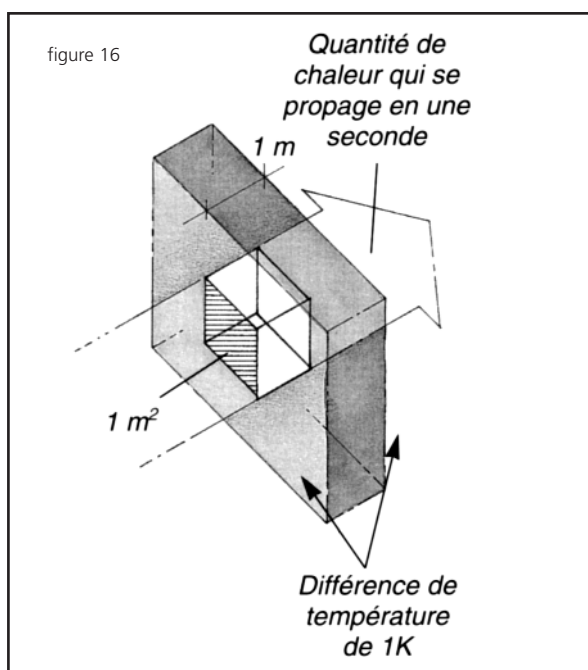
XIV. Quelques définitions

1. La calorie est l'unité de quantité de chaleur. Elle représente la quantité de chaleur nécessaire pour faire passer la température d'un gramme d'eau de 14,5 °C à 15,5 °C. La Kcal (kilocalorie) vaut bien entendu 1000 calories. Il peut aussi être utile de se souvenir que:

$$1 \text{ calorie} = 4,186 \text{ Joules}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ Kcal.}$$

2. Le coefficient λ , coefficient de conductivité thermique, représente la quantité d'énergie (exprimée en Watt) qui traverse, par unité de temps, un matériau ayant une superficie de 1 m² et une épaisseur de 1 mètre, lorsque la différence de température entre les deux faces parallèles de ce matériau est de 1° K (un degré Kelvin = 1 degré Celsius). Ce coefficient s'exprime donc en W / mK ou en Kcal/hm°C. (voir figure 16).



Un **isolant thermique** est un matériau peu conducteur de la chaleur. Un gaz, et l'air en particulier, est un très bon isolant thermique. Dans la construction, on considère que les matériaux présentant une valeur λ inférieure à 0,07 W / mK font partie de la famille des matériaux isolants.

L'eau étant elle un très bon conducteur de chaleur, il est important qu'un matériau isolant ne s'humidifie pas car il perd alors beaucoup de ses qualités. L'isolant thermique idéal est donc hydrophobe et non capillaire.

3. La valeur k est le coefficient de transmission thermique d'une paroi. Il indique la quantité d'énergie qui passe par unité de temps au travers d'une surface d'1 m² lorsque la différence de température entre les faces intérieure et extérieure de la paroi est de 1° K. Ce coefficient (aussi appelé U dans le système international) s'exprime en W/m²K. Plus basse est cette valeur k, plus la paroi considérée est performante du point de vue de l'isolation thermique.

4. Le coefficient μ (sans unité), coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau, indique la résistance qu'oppose au passage de la vapeur d'eau un matériau d'une épaisseur donnée comparée à celle d'une couche d'air immobile de même épaisseur.

5. Le produit du coefficient de résistance à la diffusion de vapeur par l'épaisseur du matériau constitue **l'épaisseur de diffusion équivalente**. Cette notion, exprimée en mètre, est principalement utilisée pour des matériaux dont on peut difficilement déterminer soi-même l'épaisseur (feuilles plastiques...).



XV. Quelques conseils

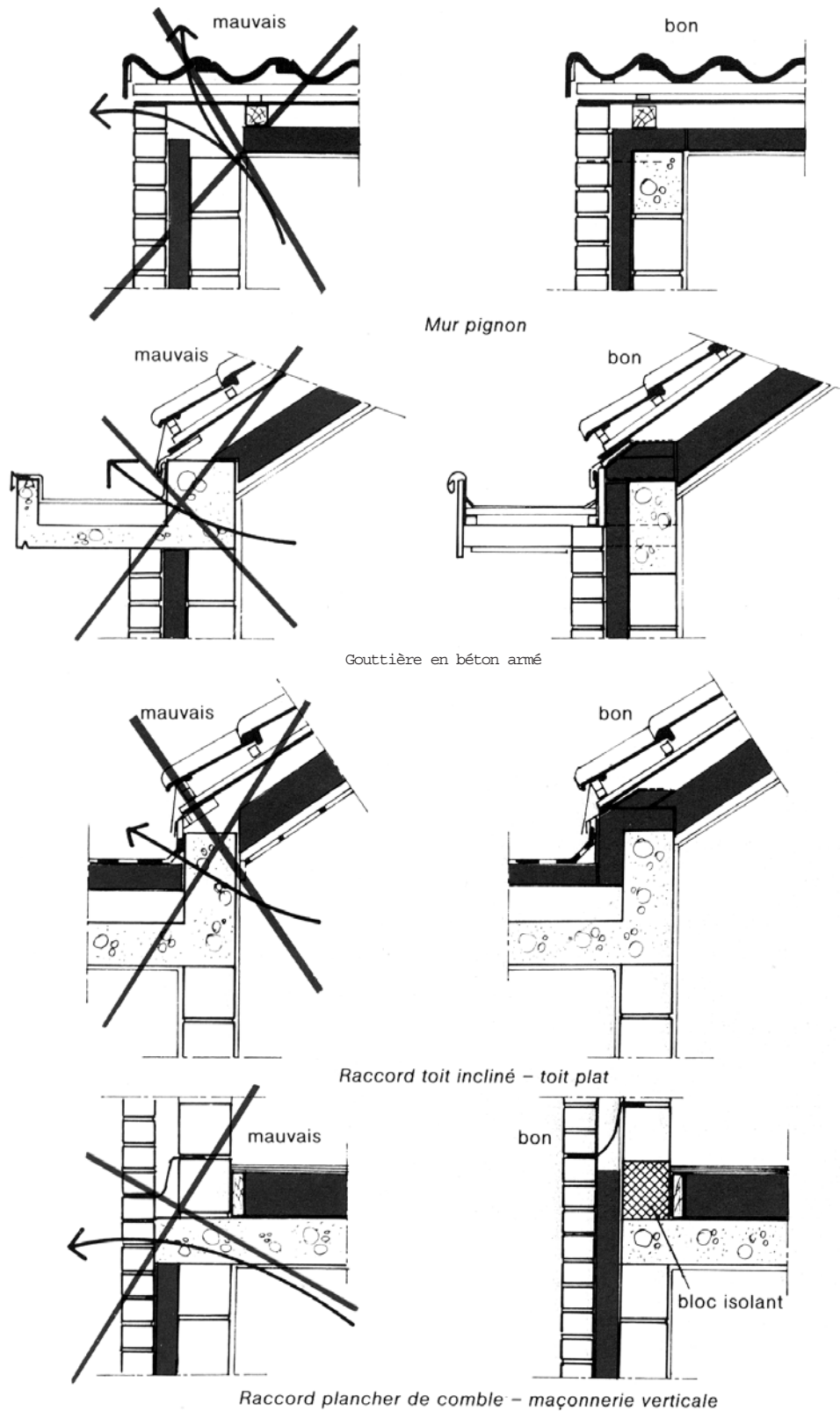


figure 17





XVI. Bibliographie

1. ***Isolation thermique de la Toiture Inclinée***
Brochure éditée en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne, réalisée par le CIFIUL avec la collaboration du CSTC.
Actualisation d'une brochure éditée en 1988 par le SPPS.
Plusieurs illustrations de la présente brochure sont tirées de cet ouvrage.
2. ***Nouvelle Réglementation thermique en Région Wallonne***
Arrêtés du 15/02/96 relatifs à l'isolation thermique et à la ventilation des bâtiments : réglementation en vigueur depuis le 01/12/96
3. ***Le C.S.T.C.*** a publié de nombreux documents relatifs au sujet abordé dans la présente brochure.
Voir les Revue du C.S.T.C. , Notes d'Information Technique, Magazine du C.S.T.C.
Les NIT 134, 175, 195 sont particulièrement intéressantes.
4. ***Le CIFIUL a publié*** de nombreux documents relatifs au sujet abordé dans la présente brochure.
Le plus complet est l'outil didactique mis au point pour l'enseignement technique et professionnel et intitulé «Isolation thermique des toitures». Plusieurs illustrations de la présente brochure sont tirées de cet ouvrage.
5. Sur un autre sujet tout aussi digne d'intérêt, nous vous conseillons la lecture de la brochure consacrée à ***L'ISOLATION THERMIQUE des MURS CREUX***. Cette brochure, destinée en priorité aux architectes et éditée par le Ministère de la Région Wallonne, a été rédigée par F. SIMON et J-M HAUGLUSTAINE.
La figure 1 de la présente brochure est tirée de cet ouvrage.
6. De nombreux articles de vulgarisation scientifique ont été consacrés au sujet abordé dans la présente brochure dans des revues pour le grand public telles que ***Je Vais Construire*** ou ***Tu bâtis, Je rénove***.

Adresses utiles... parmi beaucoup d'autres...

- 1. MINISTÈRE de la RÉGION WALLONNE**
D.G.T.R.E. Service de l'Energie.
Avenue Prince de Liège, 7 • 5100 JAMBES • Tél. 081.32.15.69.
- 2. CENTRE SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE de la CONSTRUCTION**
- *Service des Publications*
Rue de la Violette, 21-23 • 1000 BRUXELLES • Tél. 02.502.66.90.
- *Station expérimentale*
Avenue P. Holoffe, 21 • 1342 LIMELETTE • Tél. 02.653.88.01.
- 3. INSTITUT BELGE de NORMALISATION**
IBN • Avenue de la Brabançonne, 29 • 1040 BRUXELLES • Tél. 02.734.92.05.
- 4. COMMUNAUTE de l'ISOLATION THERMIQUE et ACOUSTIQUE**
COMITA • Rue Royale, 109 • 1000 BRUXELLES • Tél. 02.217.63.65.
- 5. CENTRE d'ETUDES et de RECHERCHES des ISOLANTS MINERAUX Asbl**
WTC 1 • Bte 13 • Bd E. Jacqmain, 162 • 1210 BRUXELLES • Tél. 02.509.15.20.
- 6. CENTRE TECHNIQUE de l'INDUSTRIE du BOIS**
Chaussée d'Alseberg, 830 • 1180 BRUXELLES • Tél. 02.332.28.28.
- 7. INSTITUT WALLON Asbl**
Boulevard Frère Orban, 4 • 5000 NAMUR • Tél. 081.25.04.80.

Réalisation :

Institut Wallon asbl
Boulevard Frère Orban, 4
5000 Namur
Tél. : 081/25 04 80

Avec la collaboration de
Alain MARIAGE, Ir. Architecte.

Editeur responsable :

Ministère de la Région Wallonne
DGTRE - Service de l'Energie
7, avenue Prince de Liège
5100 Jambes
Tél. : 081/32 12 11

