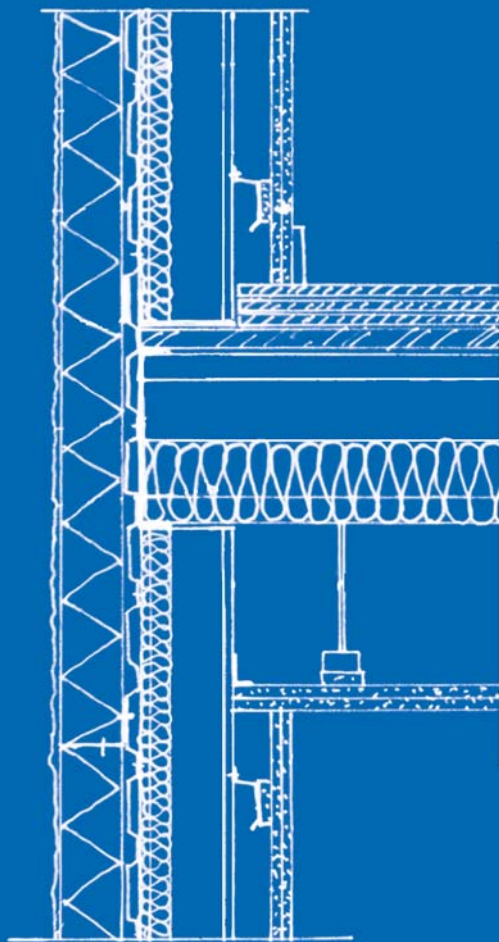


Sous la direction de :
Jean-Marie HAUGLUSTAINE*
Francy SIMON**

Avec la collaboration de :
Catherine BALTUS*
Sophie LIESSE**



L'ISOLATION THERMIQUE DES FAÇADES VERTICALES

Guide pratique
pour les architectes



PRÉFACE	3
<i>ENJEUX</i>	
LE CADRE DE LA BROCHURE	5
LES PRINCIPALES SOLLICITATIONS DE L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE	6
LA PARTICIPATION DES FAÇADES DANS LE BILAN THERMIQUE D'UN LOGEMENT	12
<i>LES TYPOLOGIES DES FAÇADES EXTÉRIEURES</i>	
HISTORIQUE	14
LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE	16
LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE	18
LES QUATRE GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE	20
<i>LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES</i>	
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE	24
ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3)	28
ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENTS (4) ET DE FINITION (5)	47
<i>LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES</i>	
LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	50
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE	52
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	55
BIBLIOGRAPHIE	58
TABLE DES MATIÈRES	59
<i>ANNEXES</i>	
ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX	
ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES	

Ce guide pratique a été élaboré sous la direction de :

- Jean-Marie HAUGLUSTAINE, Dr. ir. architecte, Premier Assistant au Département d'Architecture et d'Urbanisme de l'Université de Liège.
- Francy SIMON, Ir. architecte, Professeur à l'Université Catholique de Louvain (Centre de Recherche en Architecture) ;

avec la collaboration de :

- Catherine BALTUS, Ir. architecte, ir. de recherche à l'Université de Liège (Laboratoire d'Études Méthodologiques Architecturales, Directeur : Prof. A. DUPAGNE) ;
- Sophie LIESSE, Architecte et DES en Urbanisme et Architecture Urbaine, Assistante de recherche à l'Université Catholique de Louvain (Centre de Recherche en Architecture).

Tout au long de son élaboration et de sa rédaction, ce guide pratique a été suivi par un comité composé de :

- Madame O. NEGRO, Cabinet du Ministre J. DARAS, Ministère des Transports, de la Mobilité et de l'Énergie ;
- Madame M. GLINEUR, Première Attachée, Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie - Division de l'Énergie ;
- Monsieur M. de BONHOME, Architecte, Membre de la Fédération des Sociétés d'Architectes Francophones de Belgique (SAF) ;
- Madame A-M. GALLER, Ir. architecte, membre de l'Association des Architectes du Brabant Wallon (AABW) ;
- Monsieur M. WAGNEUR, Directeur de l'Information au Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) ;
- Monsieur M. PROCÈS, Architecte, Chef de Travaux à l'Institut Supérieur d'Architecture St-Luc Bruxelles ;
- Monsieur J-M. GUILLEMEAU, Directeur de projets, Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège (CIFIUL).

Depuis quelques années, les préoccupations du monde scientifique quant à l'équilibre climatique de la Terre ont trouvé écho dans la société civile et le monde politique. La population elle-même commence à prendre conscience de la situation.

Mais ce n'est pas le seul enjeu auquel nous sommes confrontés.

La sécurité d'approvisionnement, notamment, doit être anticipée dès aujourd'hui : la consommation d'énergie augmente continuellement (elle devrait doubler d'ici 2030), alors que les réserves - en charbon, pétrole, gaz naturel et uranium - s'épuisent inéluctablement.

Face à ces véritables défis, la maîtrise de la demande constitue cependant aussi un élément primordial : pour reprendre une phrase devenue célèbre, la meilleure énergie reste celle que l'on ne consomme pas ! Dans ce dernier domaine, la performance énergétique des bâtiments est un facteur incontournable.

D'autant que la directive européenne du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments (qui doit être transposée pour janvier 2006) entraînera une petite révolution dans le secteur de la construction et, à terme, dans la rénovation des bâtiments.

Même si cette directive nous invite à raisonner en termes de performance globale, prenant en considération l'ensemble des caractéristiques énergétiques du bâtiment (enveloppe, équipements de chauffage et d'approvisionnement en eau chaude, installations de climatisation, ventilation, emplacement et orientation des bâtiments, systèmes solaires passifs et protection solaire, ventilation naturelle, qualité climatique intérieure, ...), l'enveloppe du bâtiment reste certainement le premier élément à considérer.

La réglementation wallonne impose depuis plusieurs années aux nouveaux bâtiments de respecter un niveau d'isolation thermique globale minimum pour l'enveloppe. Il va sans dire que la tendance à l'avenir, notamment eu égard aux objectifs fixés au niveau européen, sera de renforcer les exigences actuelles en la matière.

Ce nouvel ouvrage qui vient enrichir la collection de "*Guides pratiques pour les Architectes*" en explorant, sous l'angle de l'énergie, la méthodologie de conception des façades d'un bâtiment, fait suite plus particulièrement aux guides consacrés aux murs creux et aux façades à ossature bois.

L'énergie n'est qu'un des nombreux paramètres avec lesquels un architecte doit jongler et ce n'est peut-être pas votre priorité aujourd'hui. Pourtant, je suis persuadé qu'il faut changer nos habitudes en la matière et que l'architecte est la "pierre angulaire" des défis que constitue la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment. Celle-ci est impératif économique, social et environnemental.

Bonne lecture à tous !

André ANTOINE

Ministre du Logement,
des Transports et du Développement territorial

ENJEUX

LE CADRE DE LA BROCHURE

LE CONFORT ET L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE URE

Le bilan thermique de l'homme dans son environnement

La température de confort

LES PRINCIPALES SOLLICITATIONS DE L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE

LE CONTRÔLE DU CLIMAT

L'eau

Le climat intérieur et l'humidité relative

L'air

L'isolation thermique

L'inertie thermique

Le rayonnement solaire et la température de surface interne des parois

LE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

Le bruit

La lumière et les vues

Les accès

La sécurité à l'effraction

La sécurité au feu

LA FONCTION STRUCTURALE

LA FONCTION VISUELLE

LA PARTICIPATION DES FAÇADES DANS LE BILAN THERMIQUE D'UN LOGEMENT

Le présent guide traite principalement de l'isolation thermique des parois opaques verticales de l'enveloppe d'un bâtiment.

En ce qui concerne les parois vitrées et leurs accessoires (protections, etc.), nous invitons le lecteur à consulter le guide pratique "*Les fenêtres et l'énergie - Guide pratique pour les architectes*" [d].

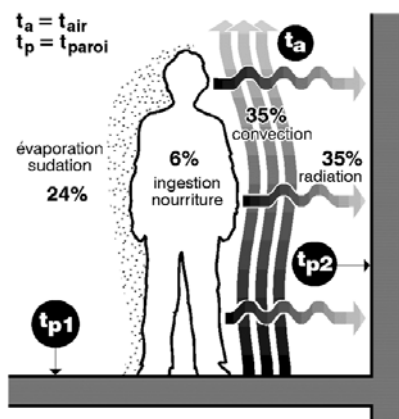
L'isolation thermique du mur creux ayant déjà fait l'objet d'une brochure, nous n'examinons pas de façon détaillée ce type de paroi et nous renvoyons le lecteur au guide pratique "*L'isolation thermique des murs creux - Guide pratique pour les architectes*" [a].

Il en est de même pour les façades à structure bois qui ont déjà fait l'objet d'un guide pratique "*L'isolation thermique des façades à structure bois - Guide pratique pour les architectes*" [f].

LE CADRE DE LA BROCHURE

QUELQUES DÉFINITIONS [17]

- **Façade** : en général, toute face extérieure d'allure verticale d'un bâtiment.
- **Façade porteuse** : façade supportant les planchers, la toiture.
- **Façade lourde** : façade en béton, en maçonnerie, etc.
- **Façade légère** : façade en métal, en bois, en verre, etc.



BILAN THERMIQUE DE L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT

LA PROPAGATION DE LA CHALEUR À TRAVERS UNE PAROI

Une paroi séparant deux ambiances de températures différentes, constitue un obstacle plus ou moins efficace au flux de chaleur qui s'établit du chaud vers le froid.

La chaleur va devoir :

- pénétrer dans la paroi ;
- traverser les différentes couches de matériaux constituant la paroi ;
- traverser des couches d'air éventuelles ;
- sortir de la paroi.

La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection.

La conduction thermique est le mode de propagation de l'énergie thermique à travers les matières. Les éléments qui constituent ces matières reçoivent et transmettent l'énergie aux éléments voisins par contact.

Les matériaux de construction sont plus ou moins conducteurs de l'énergie thermique.

Ces différentes notions sont examinées en détail dans la brochure "Conception de l'enveloppe globale et l'énergie - Guide pratique pour les architectes" [h].

LE CONFORT ET L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE URE

LE BILAN THERMIQUE DE L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT

D'une température (36,6 °C), en général plus élevée que la température ambiante, le corps humain dissipe une certaine quantité de chaleur vers l'environnement qui l'entoure.

L'activité réalisée, l'habillement, la température de l'air ambiant ainsi que la température de surface interne des parois du local sont autant de facteurs qui interviennent dans le bilan global de confort.

Pour empêcher un échange thermique trop important et donc inconfortable entre le corps et son environnement, il y a lieu d'éviter :

- une radiation du corps vers des parois trop froides ;
- une radiation de parois trop chaudes vers le corps ;
- une convection autour du corps, par des mouvements d'air trop rapides au sein du local.

LA TEMPÉRATURE DE CONFORT

Puisque les échanges par convection et rayonnement interviennent pour 70 % dans le bilan thermique de l'occupant (voir figure ci-contre), la température moyenne de surface intérieure des parois d'un local t_{pm} et la température de l'air ambiant du local t_a sont les facteurs essentiels du confort thermique. C'est la raison pour laquelle la température de confort t_c est définie comme la moyenne

$$\text{entre } t_a \text{ et } t_{pm} : t_c = \frac{t_a + t_{pm}}{2}$$

Un autre facteur de confort est l'homogénéité des températures des parois du local. A une température de confort t_c donnée, si t_{pm} est faible, on devra augmenter t_a et donc consommer plus d'énergie.

Pour atteindre les objectifs de confort, il y a donc intérêt à augmenter la t_{pm} des parois extérieures en les isolant, et à maintenir la température de l'air ambiant la plus uniforme possible.

Pour une paroi, augmenter l'isolation thermique accroît sa résistance thermique et diminue, par conséquent, les déperditions et, donc, la consommation d'énergie.

LES PRINCIPALES SOLLICITATIONS DE L'ENVELOPPE EXTÉRIÈRE

Parmi les désordres subis par les murs extérieurs, on peut distinguer [11] :

- la pénétration des eaux de pluie ;
- la condensation sur la face interne des murs extérieurs causée par une isolation thermique insuffisante par rapport à la teneur en humidité que l'on veut maintenir dans la pièce ;
- la condensation dans l'épaisseur du mur causée par l'exfiltration de l'air chaud et humide de l'intérieur vers les parties plus froides de l'enveloppe, ou encore par la diffusion de la vapeur d'eau de l'intérieur vers ces mêmes parties froides ;
- les efflorescences dues à la migration de sels dissous vers la surface où l'évaporation laisse des traînées caractéristiques ;
- les épaufures qui résultent parfois d'un mouvement différentiel ;
- la fissuration d'une maçonnerie extérieure : c'est souvent le résultat du mouvement différentiel d'origine hygrothermique ou structurel.

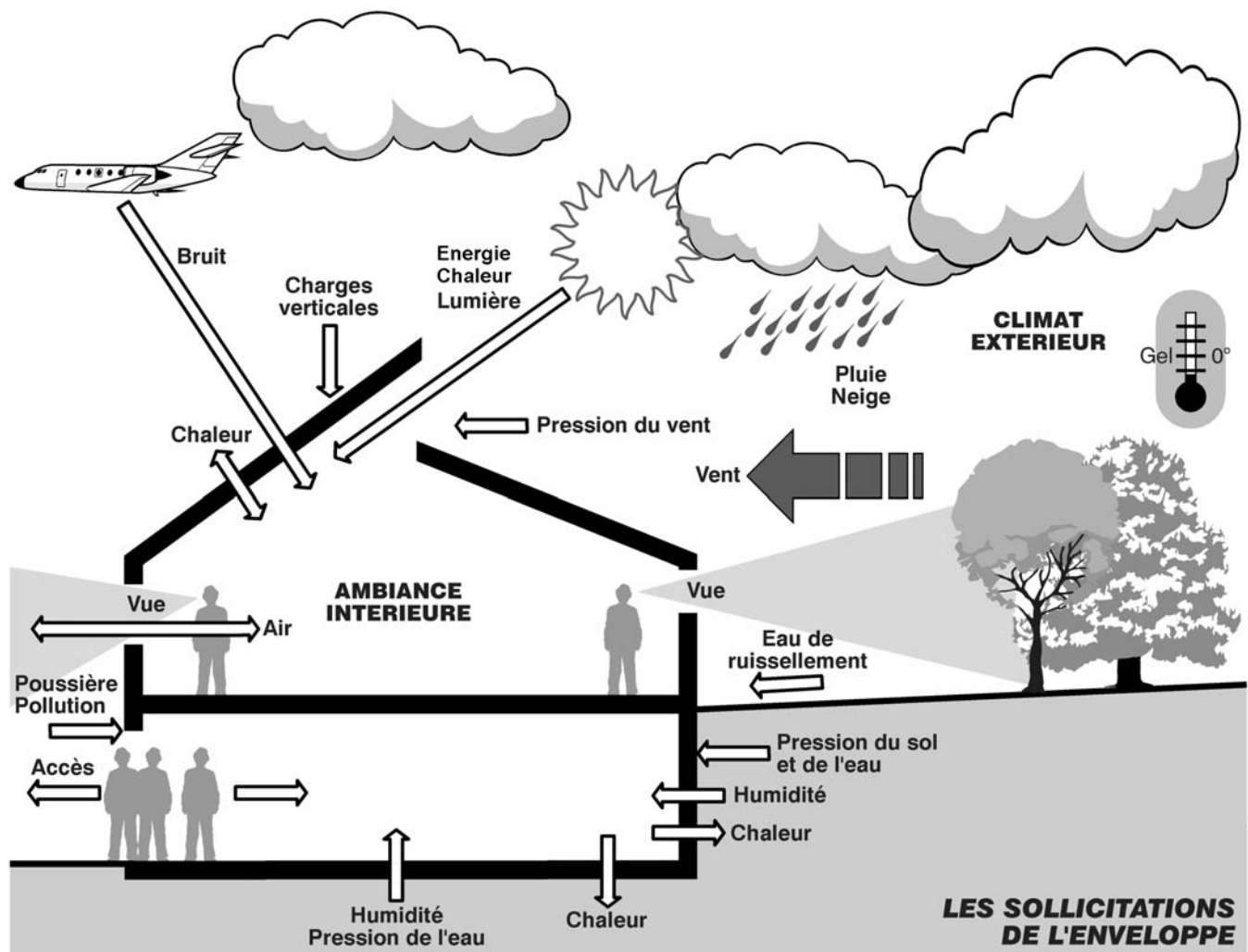
Tout comme l'ensemble de l'enveloppe extérieure, les façades extérieures doivent avant tout maîtriser les sollicitations climatiques et environnementales, c'est-à-dire :

- l'eau sous toutes ses formes, l'air et le vent ;
- la chaleur et le rayonnement solaire ;
- les variations de température ;
- la lumière et les vues en général ;
- les accès (contrôlés ou non) ;
- les bruits aériens extérieurs ;
- les agressions diverses (l'effraction, le feu, etc.).

Elles doivent également pouvoir remplir d'autres fonctions, à savoir :

- la fonction structurale : soit la façade fait partie de la structure portante, soit ses éléments doivent seulement résister localement pour transmettre les charges extérieures à une structure principale ;
- la fonction visuelle : l'enveloppe (façades et toitures) façonne le bâtiment, lui donne son expression architecturale et l'intègre dans l'environnement.

Ce sont aussi les façades, au travers de leurs matériaux, de leurs ouvertures et des éléments qui la composent (balcons, loggias, etc.), qui permettent de recevoir et de réfléchir la lumière.



LE CONTRÔLE DU CLIMAT

L'EAU

L'eau doit être en principe arrêtée totalement par l'enveloppe, c'est-à-dire par tous ses constituants, leurs formes et tous leurs joints, quelle que soit l'action du vent.

Elle ne peut en aucun cas menacer les performances de l'isolation thermique ni atteindre les parachèvements intérieurs.

Lorsqu'elle pénètre dans l'enveloppe ou dans les matériaux, elle peut geler et causer de nombreux dégâts aux constituants extérieurs trop gélifs ou putrescibles.

L'accumulation de neige, même partielle (par exemple, formant une congère au bas d'une baie) peut également provoquer soit des infiltrations, soit des "chocs thermiques" et donc, parfois, entraîner l'éclatement de certains matériaux.

- La vapeur d'eau

En conditions hivernales, la température et l'humidité de l'air sont plus élevées dans le bâtiment qu'à l'extérieur, surtout dans les locaux dits "humides", comme la cuisine, la salle de bains, la buanderie, etc.

L'intérieur du bâtiment est donc comme un réservoir de chaleur et de vapeur d'eau, qui tendent à s'échapper au travers des parois extérieures.

Plus la température intérieure est basse et le degré d'humidité élevé, plus le risque de condensation est grand.

La composition de l'enveloppe, et en particulier des parois de façade, doit être telle qu'en aucun endroit, on n'y rencontre des conditions de basse température qui, alliées à une forte teneur en vapeur d'eau, pourraient occasionner des dégradations suite à des condensations de longue durée.

- La condensation interne à la paroi [9]

La condensation de la vapeur d'eau dans les parois extérieures d'un bâtiment provoque une perte d'isolation thermique et une dégradation de l'enveloppe.

Ce phénomène de condensation interne est lié à la résistance à la diffusion de vapeur d'eau des matériaux constituant la paroi.

La quantité de vapeur d'eau traversant un mur ne dépend pas uniquement de la différence de pression de vapeur d'eau, mais également de la perméabilité du mur à la vapeur.

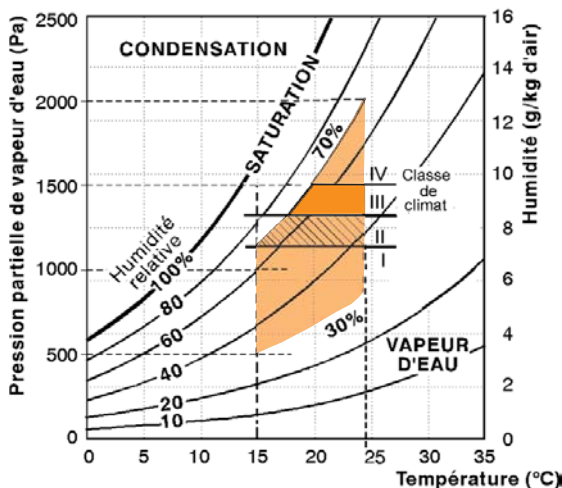
Cette perméabilité est due aux pores très fins que comportent la plupart des matériaux.

Lorsqu'on désire éviter la condensation autant que possible, il faut placer un pare-vapeur du côté chaud de l'isolant.

On peut admettre une certaine condensation interne si celle-ci n'est pas résiduelle et si elle n'entraîne pas de dégradations des matériaux et des écoulements excessifs de condensats.

L'annexe 1 de ce guide pratique reprend plus précisément les principales caractéristiques thermophysiques des matériaux isolants et des pare-vapeur.

Classe de climat intérieur	Type de bâtiment	Exemples	p_i (Pa) [1 Pa = 1 N/m ²]
I	Bâtiments avec une production d'humidité nulle à faible	<ul style="list-style-type: none"> Lieux de stockage pour marchandises sèches Églises Salles de sport d'utilisation modérée 	$1.100 \leq p_i < 1.165$
II	Bâtiments bien ventilés avec une production d'humidité limitée	<ul style="list-style-type: none"> Habitations de grandes dimensions Écoles Magasins Bureaux non climatisés Unités de soins hospitaliers 	$1.165 \leq p_i < 1.370$
III	Bâtiments d'utilisation intense	<ul style="list-style-type: none"> Habitations moyennes Maisons de soins Bureaux faiblement climatisés (H.R. $\leq 60\%$) 	$1.370 \leq p_i < 1.500$
IV	Bâtiments avec une production d'humidité élevée	<ul style="list-style-type: none"> Piscines Locaux industriels Blanchisseries Bureaux climatisés (H.R. $> 60\%$) 	$p_i \geq 1.500$



LE DIAGRAMME DE MOLLIER

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR D'UN BÂTIMENT

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure peut être mesurée de manière relativement simple par l'essai dit de "pressurisation" qui permet de déterminer la relation entre la différence de pression au niveau de l'enveloppe du bâtiment et le débit d'air.

Ensuite, un calcul de régression permet de déterminer le débit d'air pour une différence de pression de 50 Pa.

Le rapport entre le débit d'air et le volume du bâtiment indique le taux de ventilation pour une différence de pression de 50 Pa, c'est-à-dire la valeur n_{50} .

Cette valeur n_{50} permet d'évaluer le " n_{sb} ", taux de ventilation saisonnier moyen, qui ne tient compte que du débit d'infiltration d'air par les fuites dans l'enveloppe du bâtiment, et ce au moyen de la formule : $n_{sb} = \frac{n_{50}}{a}$

où le facteur a dépend de l'influence du vent sur l'habitation :

- a = 30 pour les habitations fortement protégées ;
- a = 10 pour les habitations fortement exposées.

Généralement, on affecte, au facteur a, une valeur de 20 (protection moyenne).

L'étanchéité à l'air moyenne de l'habitat belge s'élève à environ $n_{50} = 8,7 \text{ h}^{-1}$ correspondant à 8,7 renouvellements d'air par heure. Pour une différence de pression de 2 Pa, l'étanchéité à l'air moyenne de l'habitat belge s'élève à 0,44 h^{-1} correspondant à 0,44 renouvellement d'air par heure.

LE CLIMAT INTÉRIEUR ET L'HUMIDITÉ RELATIVE

Dans le cadre du classement de leur climat intérieur du point de vue hygrothermique, les bâtiments se subdivisent en fonction de la pression de vapeur de l'air intérieur. Ils sont classés selon la pression de vapeur exprimée en moyenne annuelle p_i (Pa) de la vapeur du climat intérieur, comme repris dans le tableau ci-contre.

Dans des conditions habituelles de confort (zone grisée sur le diagramme de Mollier ci-contre), le taux courant d'humidité relative de l'air ambiant est préféré autour de 50 %, pour des températures d'air avoisinant 20°C.

Dans le cas d'un local humide et chaud (salle de bains, de douche, cuisine, etc.), la température élevée de l'air le rend capable de contenir potentiellement plus de vapeur d'eau qu'en d'autres espaces du bâtiment. Lorsque cette vapeur d'eau rencontre une paroi froide ou un pont thermique, des problèmes d'hygroscopicité peuvent apparaître et entraîner l'apparition de moisissures.

En matière d'humidité relative, il faut surtout veiller à évacuer l'humidité produite. La production de vapeur d'eau doit rester un pic et la ventilation doit permettre le retour rapide à la normale : une légère ventilation permanente reste préférable à une ventilation intense mais de courte durée.

L'AIR

Vis-à-vis de l'air, l'enveloppe agit plus comme un régulateur que comme une barrière.

Dans le cadre de la gestion de l'énergie, pour que l'air ambiant puisse être chauffé ou refroidi avec la plus faible consommation d'énergie possible, il faut maîtriser les échanges d'air entre l'extérieur et l'intérieur.

Les infiltrations naturelles de l'air dans un bâtiment sont dues à des différences de pression entre l'extérieur et l'intérieur ; celles-ci sont engendrées par le vent et/ou par l'écart de température de part et d'autre de l'enveloppe.

Lorsqu'on parle d'étanchéité à l'air des bâtiments, généralement on pense à l'étanchéité des fenêtres et des portes mais, c'est l'ensemble de l'enveloppe, et particulièrement les façades verticales qui sont sujettes à ces fuites sauvages.

Afin de limiter les déperditions thermiques, il est important de concevoir une enveloppe la plus étanche à l'air possible, tout en assurant un contrôle efficace et rigoureux de la ventilation car le renouvellement périodique de l'air intérieur est indispensable.

Une isolation thermique et une étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure, ainsi qu'une ventilation contrôlée du bâtiment, sont essentielles pour permettre le transfert de l'excédent de l'humidité intérieure vers l'extérieur, sans que cette vapeur d'eau ne s'accumule dans la paroi et ne provoque des problèmes d'hygroscopicité. Ceux-ci peuvent favoriser le développement de moisissures, entraîner la dégradation de certains matériaux et, combinés au gel, l'éclatement des matériaux imprégnés.

L'ISOLATION THERMIQUE

L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger des radiations solaires en été.

Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conduction, convection et radiation.

La nécessité d'isoler thermiquement est surtout importante dans les parois qui sont soumises aux conditions climatiques extérieures ou qui sont en contact avec l'ambiance "froide" d'un local non chauffé et non protégé du gel (vide ventilé, garage, etc.).

La position de la zone de coupure thermique dans la paroi extérieure n'a guère d'influence sur la résistance thermique de la paroi pour autant que sa continuité ne soit pas interrompue.

Par contre, cette position peut influencer l'inertie thermique et d'autres performances tant techniques qu'architecturales.

L'INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'un logement se combine souvent avec l'isolation thermique des parois comme facteur de confort.

Elle est identifiée au temps nécessaire à la redistribution des calories accumulées par l'ensemble des parois. Ce temps résulte du volant d'inertie thermique.

Un fort volant d'inertie thermique conduit :

- en hiver : à un fonctionnement plus régulier de l'installation de chauffage, permettant une puissance installée moindre et des variations de la température intérieure plus lentes et plus réduites, donc plus acceptables ;
- en saison d'été : à une température intérieure clémente en soirée et fraîche pendant la journée.

LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET LA TEMPÉRATURE DE SURFACE INTERNE DES PAROIS

Le rayonnement solaire au travers des parois translucides constitue, par effet de serre (voir ci-contre), un apport de chaleur important. Le rayonnement solaire réchauffe les parties opaques de l'enveloppe qui, par conduction, diffusent cette chaleur à l'intérieur du bâtiment.

Le contrôle des apports solaires est indispensable, car le rayonnement solaire peut produire des surchauffes qu'une régulation usuelle maîtrise mal.

La possibilité de stockage de la chaleur solaire dans les parois lourdes peut également avoir une incidence sur les choix des matériaux des parties intérieures de l'enveloppe.

La conception des façades doit également tenir compte des variations de dimensions des matériaux, dues aux variations de la température extérieure mais aussi au gradient de température entre l'intérieur et l'extérieur.

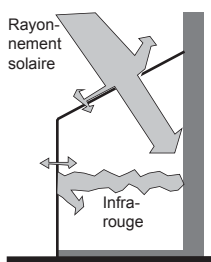
La température de la surface interne des parois extérieures est également importante et sera conditionnée par le choix du type de paroi et des types de matériau.

LES RADIATIONS SOLAIRES

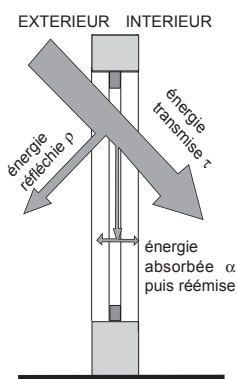
Lorsque le rayonnement solaire frappe un bâtiment, il peut atteindre une paroi opaque ou une paroi translucide (et/ou transparente).

Si le rayonnement atteint :

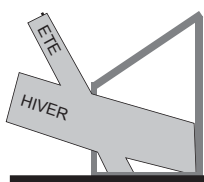
- une paroi opaque : une partie de l'énergie rayonnée est absorbée tandis que le reste est réfléchi ; l'énergie absorbée est réémise en partie vers l'extérieur tandis que l'autre partie se diffuse progressivement vers l'intérieur ;



- une paroi translucide : cette paroi transmettra les rayonnements à courtes longueurs d'onde (rayonnements solaires) vers l'intérieur (τ). Elle réfléchira directement une partie de l'énergie (ρ) (grandes longueurs d'onde) et elle absorbera puis réémettra une très faible partie de l'énergie (α) ;



- l'inclinaison du rayonnement solaire en hiver diffère de celui en été ; en hiver, le rayonnement solaire pénètre plus profondément dans le bâtiment. L'ombrage d'une même fenêtre n'est donc pas le même en hiver qu'en été, il est fonction de la position du soleil et des protections solaires éventuelles.



PRINCIPE DE L'EFFET DE SERRE

Le rayonnement solaire, dont les longueurs d'onde sont courtes, traverse en partie le vitrage. Il atteint l'intérieur du local et en réchauffe les objets et les parois.

Étant donné que le rayonnement réémis a de grandes longueurs d'onde et que les objets et matériaux translucides des parois extérieures sont "pratiquement opaques" à ces longueurs d'onde, il s'ensuit une augmentation de la température du local.

Ce phénomène, basé sur la capture de l'énergie solaire à travers les parois translucides, est appelé l'effet de serre.

LE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

LE BRUIT

Les activités extérieures sont, en général, sources de bruits aériens qu'il faut atténuer.

Selon qu'il s'agisse d'une zone rurale, d'une zone de séjour récréatif, d'une zone résidentielle, etc., et selon le moment de la journée, un certain niveau de bruit est habituellement rencontré : les tableaux ci-contre donnent les valeurs de niveau de l'ambiance sonore mesurées habituellement à l'air libre et celles acceptables dans les locaux intérieurs.

Des niveaux sonores maxima résultant de l'interférence de différents bruits ont été établis comme limite supérieure acceptable pour le confort acoustique des occupants : ce sont les niveaux de pressions acoustiques admissibles à l'intérieur des locaux.

Pour atténuer une trop forte transmission directe des bruits extérieurs aériens, l'enveloppe doit offrir le plus de résistance possible au passage de l'air, porteur de l'onde sonore.

L'étanchéité à l'air étant assurée, pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, trois systèmes peuvent être utilisés, seuls ou en combinaison :

- une masse importante de l'enveloppe ;
- une enveloppe en deux parties, de masses différentes, sans contact entre elles, éventuellement complétées d'une matière absorbant les sons, interposée entre ces deux parties ;
- on peut encore réduire le niveau de bruit à l'intérieur, d'un local en utilisant des pièges à sons qui amortissent les réverbérations. Cette dernière mesure peut également se combiner aux deux précédentes.

Attention : un isolant thermique peut également être considéré comme un isolant acoustique s'il est à fibres ouvertes (pour le bruit aérien) et à fibres ouvertes et résilient (pour le bruit d'impact).

Le choix de l'enveloppe et de sa conception d'ensemble ainsi que le choix de chaque paroi jouent un rôle essentiel dans l'atténuation des bruits extérieurs.

LA LUMIÈRE ET LES VUES

Par leurs ouvertures translucides, les façades contribuent largement à créer des conditions de vie très variées à l'intérieur du bâtiment.

Le contrôle de la pénétration de la lumière et sa diffusion dans l'habitat ainsi que le contrôle des vues extérieur-intérieur et intérieur-extérieur influenceront grandement la composition architecturale et architectonique des façades.

LES ACCÈS

Les accès, tels que les portes d'entrée, les portes de garage, etc. jouent un rôle prépondérant au niveau de la qualité de vie et du confort dans les bâtiments.

VALEURS INDICATIVES DE NIVEAU DE L'AMBIANCE SONORE MESURÉE A L'AIR LIBRE [dB(A)] DANS DES ZONES D'ACTIVITÉS EXTERIEURES	de jour	en soirée	de nuit
1. Zones rurales et zones de séjour récréatif, à l'exception des zones reprises aux points 2, 3 et 8.	40	35	30
2. Zones résidentielles, zones rurales (excepté les zones tampons) et zones de loisirs situées à moins de 500 m d'une zone industrielle non citée au point 3 ou d'une zone d'équipements collectifs ou d'utilité publique.	50	45	45
3. Zones résidentielles, zones rurales (excepté les zones tampons), zones de séjour récréatif à moins de 500 m d'une zone d'activités artisanales, d'une zone de PME, d'une zone de services ou d'une zone d'exploitation pendant la période d'activité.	50	45	40
4. Zones résidentielles, excepté celles reprises aux points 2 et 3.	45	40	35
5. Zones industrielles, zones de services, zones d'équipements collectifs ou d'utilité publique et zones d'exploitation pendant la période d'activité.	60	55	55
6. Zones de loisirs, à l'exception de celles reprises au point 2, et zones de séjour récréatif.	50	45	40
7. Autres zones, à l'exception des zones tampons, domaines militaires et zones auxquelles s'appliquent des valeurs indicatives fixées par décret particulier.	45	40	35
8. Zones tampons.	55	50	50

VALEURS INDICATIVES DE NIVEAU DE L'AMBIANCE SONORE RÉSULTANT DES ACTIVITÉS [4]

Locaux	Niveaux de pression acoustique [dB]
Chambres, bibliothèques	20 à 30
Appartements, locaux de séjour	20 à 40
Ecoles	25 à 40
Salles de cinéma et de conférences	30 à 40
Bureau individuel	30 à 45
Bureau collectif	40 à 50
Grands magasins, restaurants	45 à 55

NIVEAUX DE PRESSION ACOUSTIQUES ADMISSIBLES À L'INTÉRIEUR DES LOCAUX [4]

L'annexe 2 de ce guide pratique traite plus précisément de la problématique du comportement au feu des façades verticales.

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE [8]

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre aux leurs.

Le développement durable est une finalité qui s'inscrit dans le long terme.

L'acte de construire s'inscrit également dans la durée ; la vie d'un bâtiment est longue et, par conséquent, les répercussions des différents choix posés (d'implantation, paysagers, de conception, techniques, etc.) le sont aussi.

La construction durable est un processus qui intègre les trois aspects du développement durable :

- efficacité économique ;
- équité sociale et bien être ;
- préservation de l'environnement.

Le concept de "construction durable" est apparu comme une problématique émergente du secteur de la construction. En effet, durant sa vie, le bâtiment est responsable, en Europe, de :

- 50 % du total des ressources naturelles exploitées ;
- 40 % des déchets produits ;
- 42 % des consommations d'énergie dont 70 % en chauffage et climatisation ;
- 30 % des émissions de CO₂ ;
- 16 % des consommations d'eau, soit 140 litres d'eau par personne et par jour.

Chaque site est unique, il ne peut donc y avoir de réponse toute faite, et les éléments à prendre en compte sont nombreux, divers et parfois contradictoires.

Un bâtiment durable n'est pas un bâtiment qui nécessite de recourir à des équipements et technologies très sophistiqués et chers, c'est au contraire, un bâtiment qui met à profit une architecture de bon sens répondant au milieu local (site, climat, etc.), aux besoins présents et futurs.

Pour répondre aux nombreuses exigences, l'accès doit être performant, des points de vue de la thermique et de l'étanchéité, de la ventilation, de la lumière, de l'acoustique, de la résistance mécanique, etc.

LA SÉCURITÉ À L'EFFRACTION

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui a amené l'homme à construire. L'enveloppe extérieure doit lui fournir cette protection. Pour ce faire, il faut que :

- les éléments de l'enveloppe soient suffisamment solides pour résister à un démantèlement rapide ou silencieux ;
- l'implantation des points sensibles et propices à l'effraction (ouvertures, fenêtres, portes, lanterneaux...) fassent l'objet d'un contrôle efficace.

LA SÉCURITÉ AU FEU

L'enveloppe doit être conçue de façon à empêcher un incendie de se communiquer aux étages et à l'immeuble voisin ou l'inverse. Ceci implique des réactions et résistances au feu des matériaux de parement et de l'ensemble de l'enveloppe, conformes à la réglementation.

L'enveloppe doit également rester stable lorsqu'elle est portante.

LA FONCTION STRUCTURALE

La fonction structurale d'une paroi de façade est sa capacité à résister aux charges, à savoir :

- le poids propre ou poids mort de tous les éléments eux-mêmes (planchers, toitures, murs, etc.) ;
- les charges "structurales" intérieures : c'est le cas lorsque la zone de structure de la façade est amenée à porter un plancher, une toiture et/ou d'autres éléments tels que des escaliers, etc. ;
- les charges extérieures et/ou surcharges (vent, trafic, neige, eau, etc.) ;
- les charges intérieures et/ou surcharges d'utilisation.

LA FONCTION VISUELLE

Les façades verticales et les toitures expriment l'architecture d'un bâtiment et contribuent à son intégration dans l'environnement.

La peau extérieure d'un bâtiment est amenée à changer d'apparence dans le temps, mais différemment selon la nature des matériaux et les conditions d'exposition.

Il faut donc choisir des matériaux qui vieilliront au mieux en fonction des conditions d'exposition et composer la peau extérieure pour que le vieillissement se réalise selon une évolution désirée.

Ce qui rythme une façade, ce sont les jeux d'ombre et de lumière obtenus par les matériaux (couleurs et mise en oeuvre), les balcons, les loggias, les corniches (débordantes ou non), les différentes baies et leurs équipements (fenêtres avec/sans battée, volets...).

LA PARTICIPATION DES FAÇADES DANS LE BILAN THERMIQUE D'UN LOGEMENT

L'architecture choisie détermine une volumétrie qui peut engendrer, selon le type de bâtiment, des superficies très différentes des parois de déperdition.

A surface habitable égale (100 m² par exemple), passer d'une maison 4 façades de plain-pied, à un volume avec étage engagé dans la toiture réduit les superficies extérieures de déperdition de l'ordre de 18 à 20 %.

Type de bâtiment	Qualité isolation thermique	U parois [W/m ² K]				Niveau K	Déperditions de l'enveloppe M █ P █ F █ T █	Budget chauffage [en Euro/an]	Budget sur 30 ans (isolation + chauffage) [en Euro]	Temps de retour
		T = toitures / M = murs F = fenêtres / P = planchers								
		T	M	F	P					
MAISONS DE 100 M ² CHAUFFÉES SUR 1 OU 2 NIVEAUX, AVEC OU SANS MITOYENNETE De plain-pied	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K114		1.780	53.500	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K48		910	29.200	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K41		820	26.700	2.2
1,5 niveaux seule	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K128		1.530	46.000	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K54		800	25.500	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K46		720	23.400	2.2
2 niveaux seule	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K149		1.720	51.700	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K55		700	23.500	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K45		800	26.100	2.2

LES TABLEAUX CI-DESSUS DONNENT, POUR DES QUALITÉS PROGRESSIVES DE L'ISOLATION THERMIQUE :

- les déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment (pertes par transmission) ;
- le niveau d'isolation thermique globale K ;
- le budget alloué aux consommations de chauffage (ni les apports internes ni les apports solaires ne sont ici pris en compte).

Les hypothèses choisies pour les maisons d'habitation sont les suivantes :

- la superficie totale habitable des logements est de 100 m², pour un volume habitable de 250 m³ ;
- les fenêtres comportent des châssis en bois munis de double vitrage clair (U = 2,84 W/m²K), à raison d'une superficie de 15 m² de fenêtres ;
- seules les façades sont non isolées ou isolées :
 - les façades non isolées ont un coefficient de transmission thermique U de 2,3 W/m²K, correspondant à un mur creux ou un mur plein sans isolation thermique ;
 - les façades isolées ont un coefficient U :
 - de **0,5 W/m²K pour atteindre le niveau d'isolation K55**, correspondant à un mur creux avec 5 cm d'isolation thermique ;
 - de 0,3 W/m²K pour atteindre le niveau K45, correspondant à un mur creux avec 12 cm d'isolation thermique ;
- les planchers (sur caves ou vides ventilés) et la toiture sont également isolés ;
- le rendement global de l'installation de chauffage est estimé à **0,7** ;
- le tarif considéré pour le mazout (livraison de + de 2000 litres) est celui qui était en vigueur au 20 février 2006, soit 0,5528 EUR/litre ;
- la température extérieure moyenne diurne durant la saison de chauffe est de **8,5°C**, tandis que la température de consigne des locaux est de **20°C** ;
- le taux global de renouvellement d'air est de 0,8 vol/h.

Type de bâtiment	Qualité isolation thermique	U parois [W/m²K]				Niveau K	Déperditions de l'enveloppe M ████ P ████ F ████ T ████	Budget chauffage [en Euro/an]	Budget sur 30 ans (isolation + chauffage) [en Euro]	Temps de retour
		T = toitures / M = murs F = fenêtres / P = planchers								
		T	M	F	P					
2 niveaux seule	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K149		1.720	51.700	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K55		800	26.100	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K45		700	23.500	2.2
2 niveaux semi-mitoyenne	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K130		1.460	43.700	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K54		770	24.400	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K46		690	22.400	2.2
2 niveaux mitoyenne	Non isolé	0.3	2.3	2.8	0.6	K104		1.150	34.600	0.0
	Pour K55	0.3	0.5	2.8	0.6	K49		680	21.500	2.0
	Pour K45	0.3	0.3	2.8	0.6	K43		630	20.200	2.2

L'impact des murs dans la superficie extérieure totale est de l'ordre de 60 % du total [Murs + Toiture]. Investir pour l'isolation thermique des façades permet ainsi une réduction du budget de chauffage de l'ordre de 30 %.

Par ailleurs, à l'échelle du bâtiment, une compacité des formes est toujours bénéfique.

A l'échelle d'un groupement de bâtiments, en autorisant de rendre mitoyennes des parois qui, sinon, seraient extérieures, la compacité du groupement est génératrice d'économie d'énergie.

S'imposer une isolation plus importante des murs pour atteindre de meilleures performances thermiques, qui respectent de nouvelles exigences, conduit à une économie complémentaire. Le surcoût de l'isolation renforcée des façades reste donc encore amorti.

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

HISTORIQUE

LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE

ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE

ZONES 2 ET 3 : ZONE DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET ZONE DE LA STRUCTURE (3)

ZONES 4 ET 5 : ZONE D'ÉQUIPEMENTS (4) ET ZONE DE FINITION (5)

LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE

LES QUATRE GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE

TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES

Parois avec une peau extérieure solidaire sans coulisse

Parois avec une peau extérieure indépendante avec coulisse ventilée ou drainée

HISTORIQUE

La conception des murs extérieurs du bâtiment a toujours reposé, dans une large mesure, sur ce qu'on pourrait appeler la pratique du bâtiment, par opposition à la science du bâtiment.

La pratique du bâtiment est avant tout un héritage, modifié par des influences contemporaines et locales comme le climat, l'économie, les moeurs, l'esthétique et les ressources en matériaux et en main-d'oeuvre.

Au cours de l'histoire, la paroi extérieure verticale opaque est le plus généralement de type "pleine".

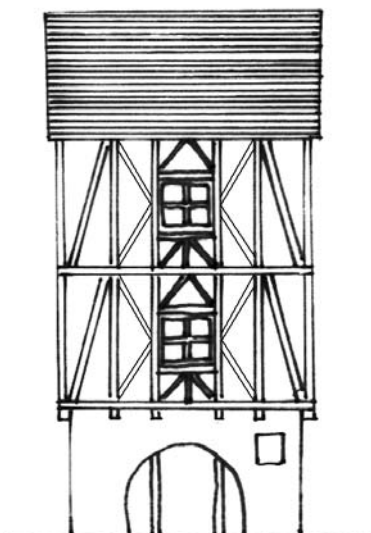
Dans l'architecture des villes wallonnes, on trouve des façades en pierres de taille très ajourées pouvant être assimilées à une ossature en pierre plutôt qu'à une maçonnerie.

Suivant les régions de multiples variations se rencontrent, combinant parfois des pierres calcaires bleues ou blanches avec de la brique ou des pierres.

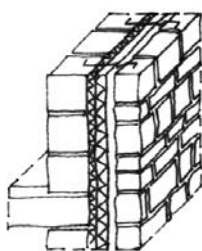
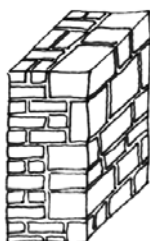
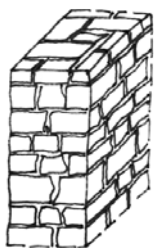
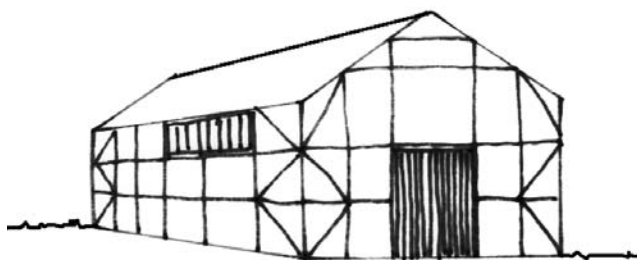
• Les façades ossaturées

Ce type de façade se rencontre d'abord dans les très vieux bâtiments à ossature bois, dans les bâtiments nés de la révolution industrielle dans les zones urbaines ainsi que dans les bâtiments plus récents de l'après-guerre (ossatures en acier et en béton). On distingue :

- le système portant : l'ossature en bois (colombages), en acier, en fer, en béton armé ;



LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES



L'essor de la science a entraîné d'énormes progrès en ce qui concerne l'analyse et la conception rationnelle de l'ossature même des bâtiments. La tendance va de plus en plus vers une spécialisation fonctionnelle des couches constituant la paroi. Par contre, les progrès restent relativement faibles du point de vue de l'intégration de tous les éléments et de leur action réciproque vis-à-vis de la performance globale du bâtiment.

- le système enveloppe : le remplissage ou galandage (en bois, en torchis, en maçonnerie de briques et pierres enduites ou non), ou le bardage.

• Le mur plein

Dans la plupart des cas, les parois extérieures en briques, en pierres, ou en pierres et briques combinées, ont été réalisées suivant le principe de la texture continue et respirante.

L'étanchéité à l'eau de ce type de composition de mur "plein" est assurée par une barrière perméable. Celle-ci consiste à permettre à l'eau qui s'est introduite dans la face extérieure de l'enveloppe, de s'évaporer à la bonne saison, suffisamment vite avant qu'elle ait pu pénétrer jusqu'à la face intérieure de l'enveloppe.

Ce phénomène de séchage ne se produit que lorsque le climat est sec.

Dans nos climats tempérés, cette solution demande une épaisseur de matériau importante, de l'ordre de 30 à 40 cm (briques) - 50 à 80 cm (moellons de pierres naturelles) ainsi qu'une occupation constante, avec un apport de chaleur venant de l'intérieur.

Pour remédier au comportement peu étanche des maçonneries pleines, diverses techniques se sont développées :

- Application d'un enduit sur mur plein :

Cette solution, proche du mur plein mais aussi de la peau "plus étanche", convient plus particulièrement au climat continental plus sec, connaissant des variations de température moins rapides. C'est sans doute la raison pour laquelle on la rencontre le plus souvent en Europe Centrale et à l'est de notre pays, déjà moins influencé par le climat maritime.

On trouve des enduits perméables à la vapeur d'eau et d'autres relativement étanches à celle-ci.

- Recouvrement d'un mur plein par une peau étanche à l'eau :

Une feuille de pierre naturelle, ou de céramique, ou de matériau synthétique, est apposée sur un mur plein, formant ainsi une peau plus étanche à l'eau et à la vapeur d'eau. Cette technologie est peu fiable s'il y a risque de condensation derrière le recouvrement car, avec le gel, des décollements sont possibles, qui intensifient les dégradations dues à la pénétration d'eau.

- Mise en oeuvre d'une partie en maçonnerie indépendante (mur creux) :

Cette technologie consiste à maçonner deux parties indépendantes, séparées par un espace d'air et/ou rempli d'un matériau isolant. Ces deux parties sont solidarisées par des ancrages assurant la stabilité de la partie extérieure coupée de la structure du bâtiment.

- Application d'une seconde peau ou bardage :

Le bardage de bois, d'ardoises, de plaques de pierres ou bardeaux de terre cuite, de panneaux ou de feuilles synthétiques ou métalliques suit le principe de la composition discontinue et établit une couverture accrochée au mur, qui l'abrite de l'eau, tout en lui permettant de "respirer".

LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE

Quel que soit le type de paroi de façade, celle-ci est composée de cinq zones, parfois confondues.

ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE

La peau extérieure est la face vue de la partie extérieure de la paroi de façade.

Sa perméabilité à la vapeur d'eau et son degré d'absorption de l'eau de précipitation influencent fortement la conception de la zone de l'isolation thermique.

Elle est également déterminante pour la perception et la composition architecturale.

La zone de la peau extérieure peut être par rapport à la zone de la structure (zone 3) :

- intégrée ou confondue ;
- "solidaire" ou "adhérente" ;
- "indépendante" ou "non adhérente", créant une coulisse drainée et selon le cas, ventilée.

Outre les performances techniques décrites dans le chapitre suivant, le choix de la peau extérieure constitue une réponse de l'auteur de projet :

- aux prescriptions urbanistiques ;
- au parti architectural que celui-ci souhaite exprimer dans le site où le bâtiment s'intègre ;
- aux sollicitations climatiques ;
- aux considérations tant esthétiques que techniques, de l'appareillage et de la modulation choisis pour le matériau de la face extérieure et du raccord aux châssis des ouvertures ;
- aux conséquences de la composition de la façade sur le plan, voire la structure de l'immeuble.

ZONES 2 ET 3 : ZONE DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET ZONE DE LA STRUCTURE (3)

L'enveloppe d'un bâtiment doit isoler l'environnement intérieur de l'environnement extérieur.

Elle doit avoir une durabilité et une intégrité structurales élevées, en particulier pour empêcher les dommages par l'humidité.

Le comportement hygrothermique de la paroi dépend de la zone d'isolation thermique. De même, le programme architectural et le type d'occupation des locaux peuvent induire un comportement hygrothermique qui, lui-même, sous-tend une composition de paroi.

La zone de structure est porteuse des charges des planchers et toitures et stabilisatrice du bâtiment.

Elle reprend évidemment sa charge propre et aide éventuellement à la reprise des charges de la partie extérieure de la paroi qu'elle stabilise.

Selon la technologie de mise en oeuvre de la façade extérieure, la zone de coupure thermique peut être :

- inexistante ;
- placée à l'extérieur de l'enveloppe ;

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

- placée à l'intérieur de l'enveloppe ;
- intégrée à la structure.

La perméabilité à la vapeur d'eau du matériau isolant doit être confrontée à la perméabilité de la peau extérieure (zone 1) et de la peau intérieure (zone 5) pour que le transfert de vapeur se fasse harmonieusement.

On peut arrêter totalement la vapeur d'eau du côté intérieur en interposant un matériau pare-vapeur du côté chaud de l'isolant thermique.

ZONES 4 ET 5 : ZONE D'ÉQUIPEMENTS (4) ET ZONE DE FINITION (5)

Lorsque la zone d'équipements n'existe pas, elle est généralement intégrée à une autre zone (zone 2 ou 3 ou 5).

Si elle existe, cet espace est réservé au passage des divers équipements : électricité, câblages divers, canalisations, etc.

Le choix de la zone de finition se fait selon :

- la nécessité de participer ou non à l'étanchéité à la vapeur d'eau de la paroi ;
- l'aspect souhaité de la finition intérieure ;
- la performance acoustique souhaitée ;
- l'entretien ;
- la résistance et la réaction au feu.

La zone de finition peut :

- être confondue avec la zone de structure ;
- être enduite ;
- être peinte : l'épaisseur pelliculaire de la couche de peinture rend négligeable sa résistance thermique. Quant à sa perméabilité à la vapeur d'eau, elle varie selon la nature de la peinture appliquée ;
- être tapissée : l'épaisseur minimale du papier peint rend sa résistance thermique négligeable. Sa résistivité à la vapeur d'eau reste faible, mais la peinture préalable à la pose l'augmente fortement.

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE

FONCTIONS DE LA FAÇADE	ZONE 1 PEAU EXTÉRIEURE	ZONE 2 ISOLATION THERMIQUE	ZONE 3 STRUCTURE	ZONES 4 ET 5 EQUIPEMENTS ET FINITION	RÔLES DEMANDÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES
FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT					
EAU	•				Rejette ou/et laisse pénétrer l'eau Si coulisse drainée : draine l'eau de pénétration et/ou de condensation, accélère l'assèchement de la partie extérieure, favorise l'évacuation de la vapeur d'eau
VAPEUR	•		•	•	Doit être très perméable à la vapeur si pas de pare-vapeur côté intérieur de la paroi Perméable à la vapeur si nécessaire Peu de perméabilité à la vapeur si possible
CONFORT THERMIQUE	•	•	•	•	Par la couleur, absorbe ou réfléchit le rayonnement solaire Isolation thermique Inertie thermique pour autant que 3 soit situé côté intérieur de 2 Par sa brillance, peut réfléchir le rayonnement des sources internes de chaleur
AIR	•		•	•	Filtre (ou étanchéité à) l'air Étanchéité à l'air Étanchéité à l'air
FONCTION DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT					
LUMIÈRE	•	•	•	•	Reflète ± la lumière ou non, selon sa teinte et sa texture Si paroi vitrée, transmission, réflexion et absorption du rayonnement solaire Réfléchit la lumière du local, selon sa teinte et sa texture
BRUIT AÉRIEN	•	•	•	•	Plus elle est massive et étanche à l'air, plus elle absorbe le son Absorption et/ou coupure acoustique si bonne étanchéité à l'air Par sa masse, amortissement acoustique du bruit aérien Absorbe ± le son, selon sa texture
SÉCURITÉ À L'USAGE	•	•	•	•	Pour la sécurité de contact : éviter les matériaux trop abrasifs Selon sa texture, accroche ± les poussières et les salissures Ne peut dégager d'émanations nocives Faciliter l'entretien et éviter les matériaux trop abrasifs
SÉCURITÉ À L'EFFRACTION ET AUX CHOCS	•	•	•	•	Doit résister aux chocs mécaniques Les ouvertures et parois vitrées sont des points faibles pour repousser les effractions Doit résister aux percements
SÉCURITÉ AU FEU	•	•	•	•	Réaction au feu nécessaire en fonction des risques de transmission Doit offrir une réaction au feu suffisante Résistance et réaction au feu suffisantes Réaction au feu suffisante en fonction des risques de transmission
BILAN ÉNERGÉTIQUE	•	•	•	•	Favoriser le choix de matériaux dont la fabrication et la mise en oeuvre consomment, au total, le moins d'énergie Favoriser le choix de matériaux particulièrement recyclables ou biodégradables

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

FONCTIONS DE LA FAÇADE	ZONE 1 PEAU EXTÉRIEURE ZONE 2 ISOLATION THERMIQUE ZONE 3 STRUCTURE ZONES 4 ET 5 EQUIPEMENTS ET FINITION	RÔLES DEMANDÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES
FONCTION STRUCTURALE		
TRANSMISSION DES CHARGES STATIQUES ET STABILITÉ STRUCTURELLE		<p>Peut participer à la reprise des charges verticales et à la stabilité globale du mur porteur Reprend parfois les poussées du vent et les transmet à la structure Résiste aux chocs Supporte certains équipements</p> <hr/> <p>Assume le rôle de stabilité et de résistance mécanique aux sollicitations dues aux charges statiques, en général Résistance aux charges dynamiques Résistance aux chocs</p> <hr/> <p>Supporte et intègre certains équipements</p>
FONCTION VISUELLE		
PERCEPTION, ASPECT		<p>Seul élément perçu de l'extérieur, d'où l'importance du choix de la teinte, de la texture, de la durabilité, du vieillissement, du comportement aux salissures, etc.</p> <hr/> <p>Seul élément perçu de l'intérieur, d'où l'importance du choix de la teinte, de la texture, de la durabilité, du vieillissement, du comportement aux salissures, etc.</p>
VISION		<p>Les vues de l'intérieur vers l'extérieur et inversement sont assurées par les parties vitrées des façades.</p>

Remarque : la position des zones 2 et 3 reprise au tableau peut être inversée.
Si c'est le cas, les appuis des planchers et le contact des parois intérieures avec la zone 3 peuvent occasionner des ponts thermiques linéaires si leurs matériaux constitutifs sont conducteurs de chaleur.

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

LES QUATRE GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE

Dans le cadre de ce guide, nous ne pouvons décrire toutes les possibilités de composition des parois de façade. C'est pourquoi nous avons déterminé une typologie de paroi différenciée selon le comportement hygrothermique.

On peut, suivant ce point de vue, classer les parois de façades en quatre grandes catégories :

- type A : paroi monolithique "auto-isolante" ;
- type B : paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique extérieure (type B₁), intérieure (type B₂) ;
- type C : paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique intégrée à la structure traversante ;
- type D : paroi constituée d'une isolation thermique comprise entre deux feuilles, accrochée à la structure (mur rideau).

Chacun de ces types de façade peut, en variante, être recouvert d'un bardage ventilé.

- 1 Zone de la peau extérieure
- 2 Zone de l'isolation thermique
- 3 Zone de la structure
- 4 Zone d'équipements
- 5 Zone de finition

TYPE A : PAROI MONOLITHIQUE "AUTO-ISOLANTE" (MUR PLEIN)

A

MAÇONNERIE EN MOELLONS

- Zone 1 : éventuelle
- Zone 2 : inexistante (la résistance thermique de la zone 3 doit alors suffire)
- Zone 3 : si les dispositions sont appropriées, elle peut remplir tous les rôles.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

TYPE B : PAROI MULTICOUCHE AVEC UNE ZONE D'ISOLATION THERMIQUE

B₁

MUR CREUX ISOLÉ

MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR

- Zone 1 : indispensable
- Zone 2 : nécessaire
- Zone 3 : elle peut remplir les rôles des zones 4 et 5.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

B₂

MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

- Zone 1 : éventuelle
- Zone 2 : nécessaire
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle de la zone 1 si elle est imperméable à l'eau.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : indispensable

TYPE C : PAROI MULTICOUCHE AVEC UNE ZONE D'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE TRAVERSANTE

C

PAROI À OSSATURE BOIS ISOLÉE

- Zone 1 : indispensable
- Zone 2 : nécessaire et intégrée dans la zone 3 ; elle peut remplir le rôle de la zone 4
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle de la zone 4
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : indispensable

TYPE D : PAROI CONSTITUÉE D'UNE ISOLATION THERMIQUE ENTRE 2 FEUILLES, ACCROCHÉE À LA STRUCTURE (MUR RIDEAU)

D

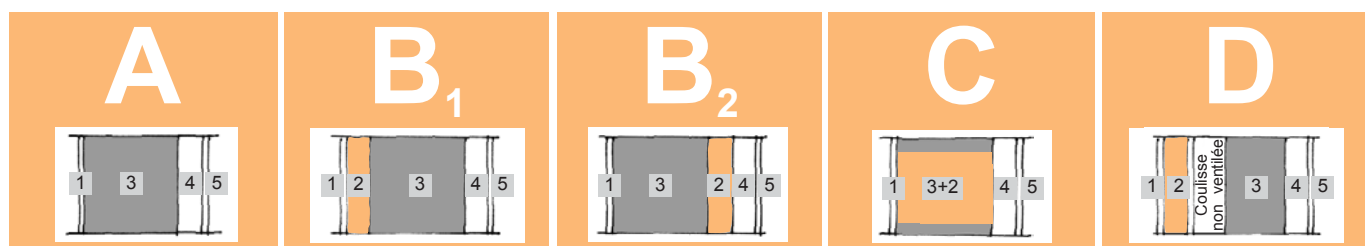
MUR RIDEAU

- Zone 1 : indispensable (mais peut être la peau extérieure du panneau sandwich)
- Zone 2 : elle peut comprendre la zone 1 et remplir le rôle de la zone 5
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle des zones 4 et 5
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE SOLIDAIRE SANS COULISSE

TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES



PLUIE

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 étanche, évite la pénétration de l'eau. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 non étanche, absorbe l'eau en profondeur ; jonctions maçonnerie - châssis à réaliser soigneusement. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> mur intérieur toujours sec. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> les défauts de réalisation peuvent entraîner des pénétrations d'eau ; l'isolation doit être protégée de l'eau de pluie. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 étanche, évite la pénétration de l'eau. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> jonctions maçonnerie - châssis à réaliser soigneusement 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> limite la pénétration d'eau. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> les défauts de réalisation peuvent entraîner des pénétrations d'eau. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> limite la pénétration d'eau. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> les défauts de réalisation peuvent entraîner des pénétrations d'eau.
--	--	---	---	---

GEL

<p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> dangereux si matériau gélif en partie extérieure et si peinture sur parement extérieur ; si fissure, l'eau pénétrée gèle : décollement de la zone 1 et aggravation des fissures.
--

VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 perméable à la vapeur, moins de risque de condensation interne. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 imperméable à la vapeur et pas de pare-vapeur du côté intérieur : risque de condensation au dos de la peau extérieure, risque de gel et d'éclatement ; veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation. 	<p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> nécessite un pare-vapeur efficace côté intérieur, du côté chaud de l'isolant ; veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 perméable à la vapeur, moins de risque de condensation interne. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 imperméable à la vapeur et pas de pare-vapeur du côté intérieur : risque de condensation ; veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation.
--	---	--

AIR

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si il y a un pare-vapeur du côté intérieur, celui-ci peut servir de barrière étanche à l'air. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 perméable, nécessite un enduit intérieur pour assurer l'étanchéité à l'air ; jonctions maçonnerie - châssis difficiles à réaliser.

ISOLATION THERMIQUE

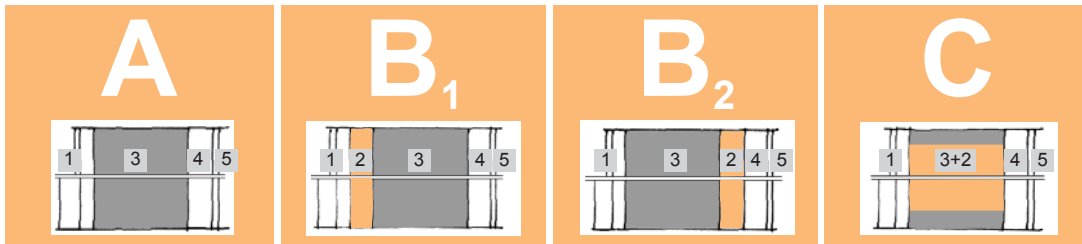
<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si résistance thermique de la paroi suffisante. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> pour une résistance thermique suffisante, nécessite une forte épaisseur car matériau en général conducteur de chaleur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> bonne résistance thermique de la paroi si épaisseur de l'isolant suffisante ; garde la partie portante dans la zone sèche et chauffée ; permet de minimiser les risques de ponts thermiques <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> nécessite un savoir-faire particulier, surtout dans le cas des systèmes à enduits. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> bonne résistance thermique de la paroi si épaisseur de l'isolant suffisante. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> difficulté de réalisation pour éviter les ponts thermiques ; zone 3 sujette à des écarts de température augmentant le risque de fissuration ; risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant : il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> bonne résistance thermique de la paroi si structure en bois ou métallique avec coupure thermique. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> difficulté de réalisation pour éviter les ponts thermiques ; il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur, servant aussi de barrière à l'air. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> bonne résistance thermique de la paroi si épaisseur de l'isolant suffisante ; garde la partie portante dans la zone sèche et chauffée ; permet de minimiser les ponts thermiques. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> nécessite un savoir-faire particulier ; si paroi vitrée, il faut des vitrages et châssis offrant une bonne résistance thermique.
--	--	--	--	---

INERTIE THERMIQUE

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> intéressant pour un bâtiment à usage permanent, surtout si le matériau a une forte masse volumique et donc une grande capacité thermique. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> intéressant pour un bâtiment à usage permanent ; l'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ; <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> l'inertie du mur n'est pas utilisable pour améliorer le confort intérieur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ; <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> inertie faible, améliorable par des matériaux lourds dans les parois intérieures et dans les planchers. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si paroi vitrée, mur-rideau : intéressant pour un bâtiment à usage intermittent. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> si paroi vitrée, mur-rideau : faible inertie thermique : prévoir des protections solaires pour éviter les surchauffes.
--	---	--	---	---

LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE INDÉPENDANTE AVEC COULISSE VENTILÉE OU DRAINÉE



REMARQUE :
La typologie de paroi de type D ne figure pas dans ce tableau car il ne peut y avoir de coulisse ventilée derrière l'isolant thermique.

PLUIE

Pour :

- si zone 1 étanche, évite la pénétration de l'eau ;
- la coulisse établit une chambre de décompression permettant l'écoulement des eaux.

Contre :

- jonctions maçonnerie - châssis à réaliser soigneusement.

GEL

Contre :

- dangereux si matériau gélif en partie extérieure et si peinture sur parement extérieur.

VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • si zone 1 perméable à la vapeur, moins de risque de condensation ; • si zone 1 imperméable à la vapeur, la coulisse ventilée évite les problèmes. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation. 	<p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • nécessite un pare-vapeur efficace côté intérieur, du côté chaud de l'isolant ; • veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • si zone 1 perméable à la vapeur, moins de risque de condensation. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • si zone 1 imperméable à la vapeur et pas de pare-vapeur du côté intérieur : risque de condensation ; • veiller à la continuité de l'isolation thermique aux pourtours des baies, afin de réduire le risque de condensation.
---	---	--

AIR

Pour :

- si il y a un pare-vapeur du côté intérieur, celui-ci peut servir de barrière étanche à l'air.

Contre :

- la coulisse ventilée impose des joints étanches à l'air en partie intérieure.
- jonctions maçonnerie - châssis difficiles à réaliser.

ISOLATION THERMIQUE

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • si résistance thermique de la paroi suffisante. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • parce que structurellement porteur, matériau en général conducteur de chaleur ; • pour une résistance thermique suffisante, nécessite une forte épaisseur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance thermique de la paroi ; • garde la partie portante dans la zone sèche et chauffée ; • permet de minimiser les risques de ponts thermiques • permet la pose d'une isolation dans la coulisse. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • nécessite un savoir-faire particulier. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance thermique de la paroi. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • difficulté de réalisation pour éviter les ponts thermiques ; • zone 3 sujette à des écarts de température augmentant ainsi le risque d'apparition des fissures ; • risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant : il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • bonne résistance thermique de la paroi. <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • difficulté de réalisation pour éviter les ponts thermiques ; • il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur, servant de barrière à l'air.
---	---	--	--

INERTIE THERMIQUE

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • intéressant pour un bâtiment à usage permanent, surtout si le matériau a une forte masse volumique et donc une grande capacité thermique. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • intéressant pour un bâtiment à usage permanent ; • l'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ; <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'inertie du mur n'est pas utilisable pour améliorer le confort intérieur. 	<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ; <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> • inertie faible, améliorable par des matériaux lourds dans les parois intérieures et dans les planchers.
--	---	--	---

LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE

L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR

LES PEAUX EXTÉRIEURES INTÉGRÉES OU CONFONDUES AVEC LA ZONE 3

Le mur plein traditionnel

Le mur monolithique récent, maçonné ou préfabriqué

Le mur plein isolé par l'intérieur

LES PEAUX EXTÉRIEURES "SOLIDAIRES" OU "ADHÉRENTES" SANS COULISSE

La mise en peinture

L'hydrofugation

Les enduits extérieurs

Les panneaux étanches

LES PEAUX EXTÉRIEURES "INDÉPENDANTES" OU "NON ADHÉRENTES" AVEC UNE COULISSE

Les peaux extérieures lourdes - le mur creux ou le panneau creux

Les peaux extérieures "légères"

ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3)

LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES ET DE PARE-VAPEUR

Les isolants thermiques

Les pare-vapeur

LES TYPES DE STRUCTURE

Les parois pleines portantes (types A et B)

Les parois à ossature (type C)

LES PAROIS À STRUCTURE MASSIVE SANS ISOLATION THERMIQUE (TYPE A)

Le mur plein traditionnel

Le mur monolithique récent

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR (TYPE B₁)

Les différents systèmes

Comportement du mur isolé par l'extérieur

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR (TYPE B₂)

Les différents systèmes

Comportement du mur isolé par l'intérieur

L'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE (TYPE C)

Les différents systèmes

Comportement d'une paroi ossaturée isolée

LES MURS RIDEAUX (TYPE D)

Les différents systèmes

Comportement du mur-rideau

LA PROBLÉMATIQUE DES PONTS THERMIQUES

Cas du mur isolé par l'extérieur

Cas du mur isolé par l'intérieur

Cas du mur creux isolé

Cas d'une paroi ossaturée isolée

Cas des murs-rideaux

ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENTS (4) ET DE FINITION (5)

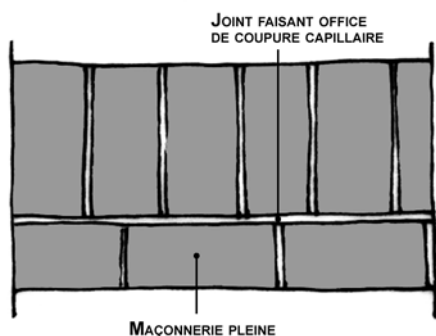
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE

LE COMPORTEMENT DE L'EAU SUR UNE ENVELOPPE [21]

Le comportement de l'eau sur une enveloppe est dû à divers effets dynamiques :

- le ruissellement gravitaire : l'eau s'écoule du haut vers le bas. Des recouvrements ou des débords convenablement disposés permettent de rejeter l'eau hors de la façade et au-delà du joint, s'il existe ;
- la tension superficielle : ces forces permettent à un film d'eau "d'adhérer" à des parois même en sous-face horizontale et de pénétrer à l'intérieur du joint, s'il existe. Pour y remédier, il faut prévoir des ruptures de la sous-face, creux ou reliefs formant une goutte d'eau ;
- la capillarité : des interstices de faible dimension permettent à l'eau de cheminer sur de longs trajets par une action similaire à une aspiration ;
- l'énergie cinétique : due à la chute des gouttes d'eau et au vent, celle-ci permet à l'eau de heurter l'enveloppe avec une quantité de mouvement suffisante pour, par exemple, pénétrer horizontalement dans un joint. Cette eau doit pouvoir être recueillie et rejetée à l'extérieur de l'enveloppe ;
- La pression différentielle : la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment peut créer un phénomène d'aspiration de l'eau présente dans la paroi. Pour l'empêcher, il faut prévoir des zones de décompression ventilées qui mettent les cavités internes de la façade à la pression extérieure.

Il s'agit ici des murs pleins sans peau extérieure rapportée, sans isolation thermique (donc de type A) ou avec un isolation thermique intérieure (alors de type B₂).



La peau extérieure est la face vue de la partie extérieure de la paroi verticale.

Sa perméabilité à la vapeur et son degré d'absorption de l'eau de précipitation influencent fortement la conception de la façade au point de vue hygrothermique.

Elle est également déterminante au point de vue de la composition architectonique et de sa tenue dans le temps.

L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR

La vitesse avec laquelle l'eau pénètre dans la maçonnerie, ainsi que la quantité absorbée, sont fonction :

- de l'intensité des pluies battantes ;
- de l'orientation de la façade ;
- des dispositions architecturales (dépassant de toiture, terrasse, etc.) ;
- des caractéristiques des matériaux de parement.

En Belgique, ce sont les façades orientées SSO et OSO qui sont les plus exposées aux pluies battantes.

Dans la plupart des cas, il faut veiller à respecter la double barrière d'étanchéité, c'est-à-dire l'étanchéité à l'eau et l'étanchéité à l'air. Lorsque la zone 1 n'est pas étanche à l'air, une des autres zones doit assurer ce rôle, sans quoi, des courants d'air et des pertes par infiltration d'air sont à craindre mais il y a également un risque plus élevé de condensation interne au sein de la paroi.

LES PEAUX EXTÉRIEURES INTÉGRÉES OU CONFONDUES À LA ZONE 3 [3]

LE MUR PLEIN TRADITIONNEL

Si ce type de mur n'a pas fait l'objet d'un traitement de protection du type "hydrofugation", ou mieux, de l'application d'un enduit extérieur, non seulement l'absorption capillaire de l'eau est inévitable, mais pour certaines expositions, les infiltrations sont fortement à craindre. En effet :

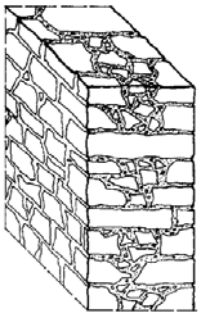
- la plupart des briques et mortier sont capillaires ;
- il y a souvent des joints capillaires entre la brique ou la pierre et le mortier ;
- lorsqu'il y a du vent, l'eau est chassée dans les petites discontinuités présentes dans la maçonnerie.

Les murs pleins de 1 brique d'épaisseur sont le siège d'infiltrations s'ils ne sont pas protégés par un revêtement imperméable.

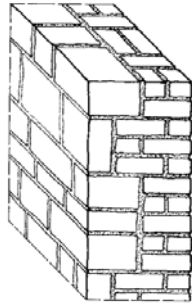
Les murs pleins de 1 brique 1/2 d'épaisseur et plus donnent d'autant moins rapidement lieu à des passages d'eau que :

- la maçonnerie peut jouer le rôle de réservoir-tampon, c'est-à-dire qu'elle est constituée de matériaux capillaires ;
- le mortier présent dans les joints verticaux d'about joue le rôle de "coupure capillaire" vis-à-vis des briques (voir schéma ci-contre).

LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES



MAÇONNERIE EN MOELLONS



PAREMENT DE MOELLONS INTÉGRÉ
À UNE MAÇONNERIE EN BRIQUES

Il s'agit ici des murs pleins avec peau extérieure rapportée, sans isolation thermique (type A) ou avec un isolation thermique extérieure (type B₁), intérieure (type B₂) ou intégrée à la structure (type C).

Les murs en moellons de pierres naturelles, même de forte épaisseur, ne sont pas étanches aux pluies battantes de longue durée.

Les murs en parement de moellons intégrés à une maçonnerie portante en briques sont plus étanches à l'eau que ceux en moellons uniquement.

LE MUR MONOLITHIQUE RÉCENT, MAÇONNÉ OU PRÉFABRIQUÉ

Ce type de mur est généralement constitué d'un bloc ou d'un panneau isolant de forte épaisseur. Il n'y a pas de joint central qui peut assurer l'étanchéité à la pluie ; celle-ci doit donc être assurée par un revêtement extérieur étanche. Une façon d'assurer une meilleure étanchéité au niveau du joint est de réaliser deux joints décalés afin de créer une zone entre les deux joints dans laquelle l'eau qui s'infiltré peut s'écouler verticalement.

LE MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

Quelle que soit la composition du mur plein, l'isolation thermique doit être protégée des eaux de pluie.

De plus, la présence de l'isolant a pour conséquence, en période hivernale, un abaissement non négligeable de la température au sein de la maçonnerie et un ralentissement prononcé de son séchage.

Il est donc toujours préférable que ce type de paroi fasse l'objet d'une protection efficace contre les pluies battantes.

LES PEAUX EXTÉRIEURES "SOLIDAIRES" OU "ADHÉRENTES" SANS COULISSE [3]

LA MISE EN PEINTURE

Le rôle de la peinture réside essentiellement dans la décoration de façade et non dans l'apport d'une étanchéité.

En effet, une partie de l'eau qui s'infiltré dans une maçonnerie y pénètre par les inévitables petites discontinuités qui, le plus souvent, ne peuvent être colmatées par la couche de peinture.

De plus, la peinture freine le séchage des matériaux.

L'HYDROFUGATION

Les hydrofuges de surface réduisent les pénétrations capillaires de l'eau et présentent l'avantage de ne ralentir que très faiblement le séchage du mur. En effet, l'hydrofugation laisse "respirer" le mur.

Appliqués sur une maçonnerie constituée par des matériaux capillaires, les hydrofuges sont susceptibles d'en retarder la saturation de manière significative.

Par contre, ils sont peu efficaces sur des matériaux peu ou pas capillaires, sur des supports présentant une structure très ouverte (certains blocs de béton) ou présentant des discontinuités (certaines maçonneries de moellons).

Les hydrofuges de surface ne permettent pas d'assurer l'étanchéité des façades mais peuvent retarder la saturation.

Si l'enduit est directement appliqué sur l'isolant thermique, il doit être choisi de façon à ne pas absorber trop d'eau et que celle absorbée soit évacuée rapidement par séchage vers l'extérieur.

Vu la position de l'isolant et la faible inertie de l'enduit extérieur, celui-ci peut être soumis à des écarts de température. Pour réduire le risque de fissuration de l'enduit, celui-ci doit être muni d'une armature.

Il est vivement conseillé d'avoir recours à un système bénéficiant d'un agrément technique ATG concernant le type d'isolant, l'enduit et l'accrochage.

Il s'agit ici des murs creux (type B₁), des murs-rideaux (type D) et de toutes les typologies de façade avec un bardage ventilé.

LES ENDUITS EXTÉRIEURS

On distingue deux familles d'enduit extérieur :

- l'enduit minéral à base de liants hydrauliques (ciment et/ou chaux) ;
- l'enduit synthétique dont le liant est une résine synthétique.

Les enduits extérieurs remplissent les fonctions suivantes :

- décoration : grande variété de compositions, de teintes et d'états de surface ;
- protection contre les pénétrations d'eau : ils remplissent cette fonction lorsqu'ils sont appliqués conformément aux recommandations et qu'ils ne présentent pas de fissuration importante, à savoir d'un ordre de grandeur qui serait supérieur à 0,2 mm environ ;
- perméabilité à la vapeur d'eau : ils doivent être perméable à la vapeur d'eau afin de permettre le séchage de la maçonnerie et l'évacuation de l'humidité ;
- résistance mécanique : ils doivent pouvoir résister à des chocs modérés, adhérer suffisamment au support, disposer d'une cohésion adéquate et résister à la fissuration.

LES PANNEAUX ÉTANCHES

Ils peuvent être :

- soit à base de bois ;
- soit en métal protégé contre la corrosion (acier inoxydable, acier galvanisé laqué, aluminium laqué). ces panneaux extérieurs étant étanches à la vapeur, il est nécessaire qu'un pare-vapeur très efficace soit placé du côté intérieur de l'isolant thermique. Ces panneaux sont totalement étanches à l'eau. Une attention particulière doit être apportée à la réalisation des joints entre les panneaux ;
- soit à base de béton : le béton est étanche à l'eau mais pas à la vapeur. Il existe des panneaux en deux couches de béton désolidarisées avec un isolant thermique intégré.

LES PEAUX EXTÉRIEURES "INDÉPENDANTES" OU "NON-ADHÉRENTES" AVEC UNE COULISSE

LES PEAUX EXTÉRIEURES LOURDES - LE MUR CREUX OU LE PANNEAU CREUX

- La maçonnerie de parement
Elle joue un rôle d'écran contre les pluies battantes mais n'offre pas une étanchéité totale.
La quantité d'eau et la rapidité avec laquelle celle-ci traverse la maçonnerie de parement sont fonction du soin apporté à la réalisation de cette maçonnerie et de la capillarité de celle-ci.
Le panneau extérieur lourd en béton ou en pierres est étanche à l'eau. Les joints doivent aussi être conçus pour laisser passer le moins d'eau possible. L'air atteint cependant la coulisse qui doit être drainée.

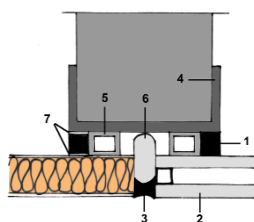
Pour plus d'informations concernant le mur creux, nous renvoyons le lecteur à la brochure "L'isolation thermique des murs creux - Guide pratique pour les architectes" [a].

LES TYPES DE JOINTS D'ÉTANCHÉITÉ POUR LES MURS-RIDEAUX [21]

• Les éléments plastiques d'étanchéité (mastics)

Constitués d'huiles et de charges diverses, la composition des mastics et silicones est propre à chaque fabricant. En fonction de leur aptitude à la déformation, de leur cohésion et de leur dureté superficielle.

Pour soustraire le mastic le plus possible aux tensions, on dispose par exemple des cales de place en place. La pression et la dépression résultant de l'action du vent sur les panneaux ne sont transmises aux raidisseurs que par cet intermédiaire ; l'élément d'étanchéité n'est alors soumis qu'à une pression limitée.



- 1 : joint avec la structure
- 2 : vitrage
- 3 : joint d'étanchéité
- 4 : structure de collage
- 5 : espaceur
- 6 : fond de joint
- 7 : plans d'adhérence

• Les éléments élastiques d'étanchéité (boudins)

Caoutchoucs naturels ou artificiels, produits de synthèse, feutres ou ressorts métalliques, ils peuvent être insérés, sous forme de bandes, entre les panneaux de remplissage et la feuillure ou la parclose. Il faut soit les coller à la feuillure et à la parclose, soit les introduire dans une rainure en queue d'aronde.

Les éléments élastiques d'étanchéité ne sont qu'exceptionnellement employés seuls pour assurer le calfeutrement des joints. En principe, on combine bandes élastiques (comme fond de joint) et mastic de finition.

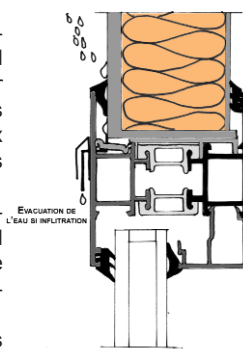
• Les étanchéités réalisées avec des profilés en préformé

Cas particulier d'obturation élastique sans mastic.

Ils se présentent sous la forme de bandes ou de profilés extrudés. Leur profil permet leur fixation au châssis par emboîtement dans une ou plusieurs rainures. Ils sont coupés d'onglets aux angles et soudés, puis montés sur les profilés métalliques.

L'étanchéité est assurée par la pression de contact existant entre le profil et la ou les surfaces de vitrage d'une part et les faces verticales de la feuillure d'autre part.

Les profilés d'obturation existent sous plusieurs formes, selon la forme des profilés de châssis et l'épaisseur des panneaux ou vitrages.



La meilleure manière de concevoir un joint est d'abord de le rendre aussi imperméable aux intempéries que possible, et ensuite de se dire que néanmoins il fuira. Il faut donc prendre les précautions nécessaires pour empêcher l'humidité de traverser l'enveloppe ou de rester dans le mur, soit par un système interne, soit par un drainage.

Les joints doivent être conçus de manière à pouvoir :

- rattraper les tolérances dimensionnelles de l'assemblage ;
- compenser ou absorber les dilatations, déformations et vibrations ;
- garder de bonnes caractéristiques dans le temps.

Pour une enveloppe de qualité, il faut vérifier que ce sont les fixations qui reprennent les diverses tensions, en protégeant les joints d'étanchéité.

• La coulisse

Elle remplit la fonction de rupture capillaire et de chambre de décompression. Elle empêche que l'eau qui a traversé la maçonnerie de parement soit transportée vers l'intérieur et permet à cette eau de s'écouler sur la face interne du parement.

La coulisse doit donc être drainée afin que l'eau soit renvoyée vers l'extérieur, à hauteur de chaque interruption.

• La paroi intérieure enduite

Cette partie de la façade joue le rôle de barrière à l'air et permet une mise en équilibre des pressions de part et d'autre de la maçonnerie de parement. En l'absence d'une barrière à l'air efficace, l'eau qui aurait traversé la maçonnerie de parement pourrait être projetée au point d'atteindre la paroi intérieure de la façade.

En l'absence d'un enduit appliqué sur la face vue de la paroi intérieure, il faut assurer l'étanchéité à l'air en enduisant cette paroi sur son autre face, du côté coulisse.

LES PEaux EXTÉRIEURES "LÉGÈRES"

• Les bardages

Ils sont constitués par des éléments de petits ou de grands formats en bois, en métal, en fibres-ciment, en matière plastique, en terre cuite, en pierre naturelle, etc. Ils permettent de réaliser à la fois la décoration, la protection contre l'humidité et contre les sollicitations mécaniques éventuelles de l'isolant thermique ou de la maçonnerie. La technique du bardage permet de créer une coulisse drainée entre le revêtement et la maçonnerie ou l'isolant thermique, de sorte que cette solution se rapproche de celle du mur creux.

Il faut cependant tenir compte du ruissellement rapide de l'eau sur de tels revêtements. Il faut par conséquent évacuer cette eau au pied de la paroi et créer des recouvrements ou des débords permettant de rejeter l'eau au-delà des joints.

• Les murs-rideaux [21]

Le mur-rideau étant conçu par juxtaposition d'éléments, il y a discontinuité à chaque joint entre chacun d'eux. Ces discontinuités sont potentiellement des points faibles du point de vue de l'étanchéité.

Selon le type de technologie du mur-rideau, il existe des joints :

- entre les différents éléments de la grille ;
- entre la grille et les éléments de remplissage (panneaux ou châssis) que l'on fixe ensuite ;
- entre les différents éléments constituant les châssis de remplissage ;
- entre le mur-rideau et le gros-oeuvre (pièces d'appui et périphérie).

ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3)

LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES ET DE PARE-VAPEUR

LES ISOLANTS THERMIQUES

L'encadré ci-dessous [16] reprend les principaux types d'isolants thermiques, à savoir ceux dont la valeur λ est tout au plus égale à 0,065 W/mK et qui disposent d'un agrément technique.

Pour plus d'informations, le lecteur est invité à consulter l'Annexe 1 reprenant les caractéristiques thermophysiques des matériaux.

LES MOUSSES SYNTHÉTIQUES

- **Le polyuréthane PUR et le polyisocyanurate PIR**
Il s'agit de panneaux à base de mousse expansée de polyuréthane ou de polyisocyanurate.
Le polyuréthane se caractérise par un pouvoir isolant élevé. Il résiste cependant mal à la chaleur, au feu et au rayonnement ultraviolet.
Les panneaux de polyisocyanurate présentent un meilleur comportement au feu que le polyuréthane mais ses propriétés mécaniques sont plus faibles.
- **Le polystyrène expansé EPS**
Il s'agit de panneaux à base de mousse expansée de polystyrène.
L'EPS ne peut pas être exposé à des températures excédant 70°C. Il résiste moins bien au feu.
- **Le polystyrène extrudé XPS**
Il s'agit de panneaux à base de mousse extrudée de polystyrène.
Il se caractérise par une structure cellulaire fermée et une surface d'extrusion qui empêche l'absorption d'humidité. Son coefficient de dilatation thermique est très élevé. Il résiste moins bien au feu et à une exposition prolongée à une température supérieure à 75°C.
- **La mousse phénolique PF**
Il s'agit de panneaux à base de mousse phénolique à structure cellulaire fermée.
Elle possède un bon comportement au feu et un pouvoir isolant élevé.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE MINÉRALE

- **La laine de roche MW**
Les fibres de laine de roche sont liées à l'aide de résines synthétiques polymérisées pour former des rouleaux et des panneaux. Ceux-ci peuvent présenter différentes rigidités et finitions de surface.
La MW est totalement perméable à la vapeur d'eau mais non hygroscopique. Elle est non capillaire et totalement perméable à l'air.
Elle se caractérise par une bonne stabilité thermique et un bon comportement au feu. Elle est fort compressible et résiste mal au délaminage.
- **La laine de verre GW**
Les fibres de laine de verre sont liées à l'aide d'un produit thermodurcissant pour former des rouleaux et des panneaux. Ceux-ci peuvent présenter différentes rigidités et finitions de surface. La GW a une composition uniforme.

La GW est totalement perméable à la vapeur d'eau mais non hygroscopique. Elle est non capillaire et totalement perméable à l'air. Elle se caractérise par une bonne stabilité thermique et un comportement au feu un peu moins bon que la laine de roche.

- **Le verre cellulaire CG**
Le verre cellulaire est une mousse de verre obtenue par expansion de celui-ci lorsqu'il est en fusion. Les cellules ainsi formées contiennent un gaz inerte.
Le CG est complètement étanche à la vapeur d'eau et à l'eau ; il est imperméable à l'air. Il se caractérise par une bonne stabilité thermique et un bon comportement au feu.
Ce matériau est relativement fragile et nécessite un support régulier et rigide lorsqu'il est soumis à des contraintes mécaniques.
- **La perlite expansée EPB**
Elle est obtenue à partir de pierre volcanique rhyolitique concassée et expansée à une température d'environ 900°C. Elle est mélangée à des fibres celluloseuses et à un liant bitumineux, pour former des panneaux.
Elle se caractérise par une grande résistance à la compression et au poinçonnement mais elle ne résiste pas à une humidification prolongée.
- **L'argile expansée**
Les billes d'argile expansée sont produites par cuisson à 1100°C de granules d'argile crue. Ces billes ont une forme arrondie et régulière à structure cellulaire poreuse. Elles sont insensibles à l'eau et très résistantes à la compression.
Elle est utilisée soit en vrac comme dallage isolant sur terre-pleins, terrasses, soit en béton allégé, soit comme constituant de blocs préfabriqués.
C'est un isolant assez médiocre en vrac. On peut l'utiliser dans les configurations où la résistance à l'humidité est prioritaire.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE VÉGÉTALE

- **Le bois feutré**
Il est obtenu à partir du défibrage de chutes de bois résineux. La plupart du temps il est transformé en pâte par adjonction d'eau, puis coulé, laminé et séché pour produire des panneaux auto-agglomérés de diverses formulations, densités, profilages et épaisseurs.
Ils s'utilisent comme isolation à part entière ou, le plus souvent, comme panneaux techniques complémentaires d'isolation.
Il est difficilement combustible.

Il faut noter qu'un matériau peut bénéficier d'un agrément technique (ATG) délivré par l'Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBAtc). Dans ce cas, sa conductivité thermique est notée λ_d ("valeur déclarée") et est déterminée statistiquement sur la base d'un certain nombre de valeurs de mesure individuelle.

Si la valeur λ_d n'est pas déterminée par voie statistique, on peut utiliser les valeurs λ_u reprises dans les addenda 1 et 2 (2001) de la norme NBN B62-002 [13].

Les nouvelles valeurs λ_u sont supérieures à celles qui sont déterminées selon la méthode de calcul statistique et qui sont contrôlées dans le cadre de la certification ATG.

• La laine de cellulose

Elle provient du papier recyclé. Le papier est défilé et réduit en flocons, puis stabilisé par incorporation de divers agents de texture et ignifugeants, variables selon les fabricants.

Elle se présente en vrac, compactée ou décompactée, en panneaux isolants texturés ou en panneaux d'agencement.

Elle est auto-extinguible.

• Le liège expansé

Le liège est réduit en granules puis expansé à la vapeur à haute température (300°C). L'aggloméré est ensuite découpé selon les épaisseurs désirées. Le pouvoir isolant du liège expansé tient à l'air enfermé dans ses cellules fermées.

Il se présente en granules, en panneaux ou en éléments composites préfabriqués.

Il est difficilement combustible.

• Le chanvre

Les particules issues de la partie centrale de la tige (chènevotte) qui sont entourées par les fibres longues (filasse) sont soumises à un traitement d'imprégnation par les silicates.

Il existe plusieurs présentations :

- en granules de chènevotte : la chènevotte est défibrée mécaniquement en paillettes de 5 à 15 mm de longueur ;
- en granules et fibres longues (chanvre entier) ;
- en fibres longues seules (laine de chanvre) : la filasse séparée de la chènevotte est ensuite affinée et calibrée pour donner une laine homogène (en vrac, en rouleaux ou en panneaux semi-rigides).

Il est difficilement inflammable.

• Le lin

Les produits actuels d'isolation sont fabriqués à partir des fibres courtes de la plante, non utilisées dans l'industrie textile. La matière brute reçoit un premier traitement aux sels minéraux, puis elle est cardée de manière à produire des couches superposées et thermoliées avec des fibres de polyester pour former la ouate. Elle est ensuite séchée, aérée et découpée selon les différents conditionnements.

La laine de lin se présente en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre.

Elle est difficilement inflammable.

• La laine de coco

Elle est issue de la bourre entourant le péricarpe des noix de coco.

Elle se présente en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides (les fibres sont liées et texturées par une colle au latex naturel) ou en feutre.

Elle est ignifugée au sel de bore.

• La laine de coton

Les fibres ne reçoivent aucun traitement chimique ; elles sont simplement cardées et reçoivent un traitement ignifugeant au sel de bore.

Elle se présente en vrac, en rouleaux ou en feutre.

• Les roseaux

Leur teneur en silice leur donne une durabilité exceptionnelle et une résistance aux agents climatiques. Ils constituent une ressource limitée car les roselières sont devenues rares et sont protégées.

Ils se présentent :

- en bottes ;
- en panneaux : les tiges de roseaux sont empilées parallèlement, comprimées mécaniquement et reliées à l'aide de fils de fer galvanisés pour former des panneaux de 2 à 10 cm d'épaisseur.
- en panneaux terre-roseaux : les tiges de roseaux servent d'armature interne pour des panneaux d'argile de préfinition destinés à recevoir un enduit. Ces panneaux sont armés extérieurement de treillis de fibres de jute. Ils agissent comme volants thermiques et régulateurs de l'hygrothermie.
- treillis de roseaux (faible épaisseur) : les tiges de roseaux servent essentiellement de support d'enduits et sont mises en oeuvre en finition rapportée sur des parois existantes.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE ANIMALE

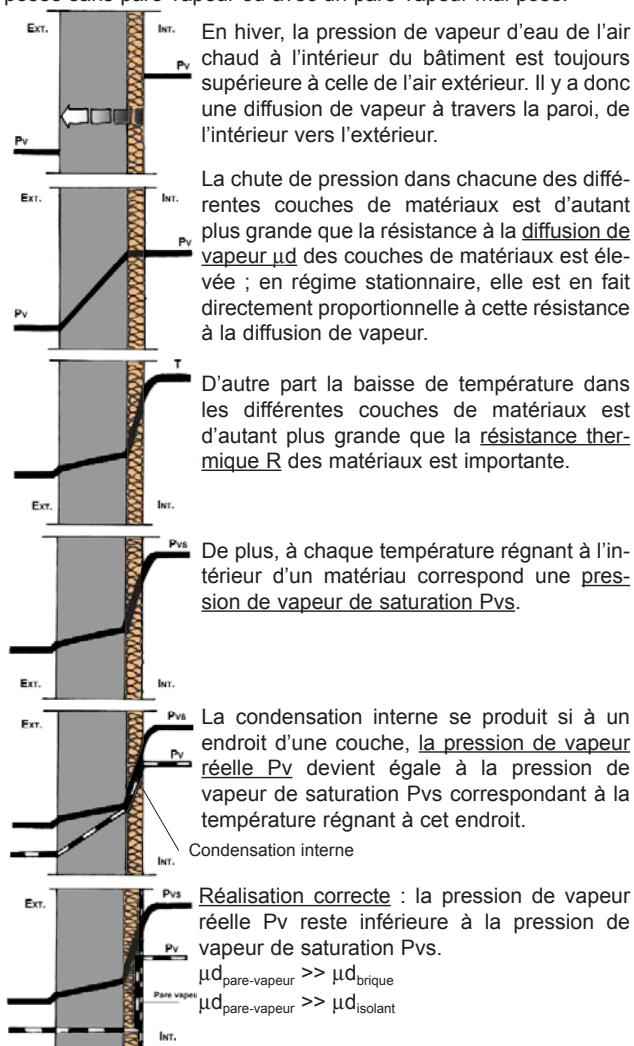
• La laine de mouton

Les produits de tonte sont d'abord lavés au savon et à la soude pour les débarrasser des impuretés et surtout du suint, sécrétion de l'épiderme de l'animal. La laine reçoit ensuite un traitement insecticide et un traitement contre le feu, principalement à base de sels de bore. Puis elle est cardée et texturée au moyen de fibres thermofusibles (polyester), ou sur un canevas en polypropylène.

Elle se présente en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre.

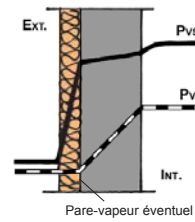
FORMATION DE CONDENSATION INTERNE PAR DIFFUSION DE VAPEUR [21]

Soit un mur plein isolé par l'intérieur. Le risque de condensation est grand lorsque l'isolation thermique (perméable à la vapeur) est posée sans pare-vapeur ou avec un pare-vapeur mal posé.



Le mur plein isolé par l'extérieur ne présente pas de risque de condensation interne pour autant que la migration de vapeur puisse se faire normalement de l'intérieur vers l'extérieur :

- soit par une finition extérieure perméable à la vapeur tout en étant imperméable à la pluie battante ;
- soit par une lame d'air ventilée entre l'isolant et la finition extérieure ;
- soit dans le cas d'un revêtement extérieur imperméable à la vapeur, en plaçant un pare-vapeur sur la face intérieure du mur ou du côté chaud de l'isolant thermique.



LES PARE-VAPEUR

Les matériaux constituant la façade doivent permettre au processus de migration de vapeur d'eau (allant de l'ambiance intérieure vers l'extérieur) de se dérouler normalement :

- soit en adoptant une finition extérieure perméable à la vapeur, tout en étant imperméable à la pluie battante ;
- soit en aménageant une coulisse d'air ventilée entre l'isolant et la finition extérieure ;
- soit, dans le cas d'un revêtement extérieur imperméable à la vapeur, en plaçant un pare-vapeur sur la face intérieure du mur ou du côté chaud de l'isolant.

Dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant si la vapeur d'eau a la possibilité de traverser le complexe isolant-finition.

Il faut donc que les couches situées du côté chaud de l'isolation, ou l'isolation elle-même, réduisent suffisamment - voire suppriment - le transport de vapeur par diffusion et par convection (voir tableau ci-contre).

La nécessité d'un écran pare-vapeur et le type à utiliser dépendent de plusieurs facteurs, dont le climat extérieur et intérieur, les caractéristiques des matériaux composant la façade, leur comportement en présence d'humidité, etc.

On distingue quatre classes de climat intérieur en fonction de la pression de vapeur à l'intérieur des locaux (voir tableau page 8).

La performance d'étanchéité à la vapeur d'un écran pare-vapeur est représentée par sa valeur μd (épaisseur équivalente de diffusion) [m] où :

- μ est un coefficient sans dimension qui indique la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau qu'oppose un matériau d'une épaisseur donnée, comparée à celle d'une couche d'air immobile de même épaisseur. Les valeurs μ sont étroitement liées à la nature des matériaux ;
- d est l'épaisseur du matériau exprimée en mètres.

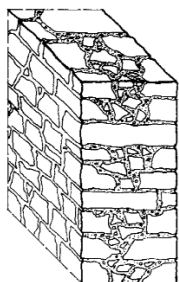
La valeur μd qualifie la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau.

On distingue quatre classes de pare-vapeur reprises dans le tableau ci-contre qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion μd [6].

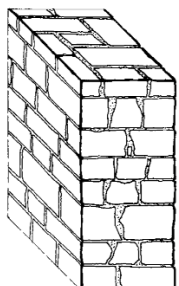
LES CLASSES DE PARE-VAPEUR

CLASSE	MATERIAU	REMARQUES
E1 $2 \text{ m} \leq \mu d < 5 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> papier kraft revêtu d'une feuille d'aluminium ; carton plâtre revêtu d'une feuille d'aluminium ; papier bituminé. 	
E2 $5 \text{ m} \leq \mu d < 25 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> feuilles de matière synthétique (PE ou PVC d'ép. > 0,1 mm) ; membranes bitumineuses avec joints fermés mécaniquement (chevauchement et agrafage, par ex.). 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E3 $25 \text{ m} \leq \mu d < 200 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> bitumes armés avec voile de verre et joints collés ou soudés. 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E4 $200 \text{ m} \leq \mu d$	<ul style="list-style-type: none"> bitumes armés avec métal et joints collés ou soudés (ALU 3) ; pare-vapeur multicouches en bitume polymère (d'ép. $\geq 8 \text{ mm}$). 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction. La classe de pare-vapeur E4 nécessite une mise en œuvre sur un support continu. Les perforations ne sont pas admises.

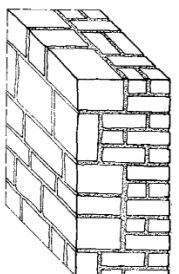
EXEMPLES DE PAROIS PLEINES PORTANTES [20]



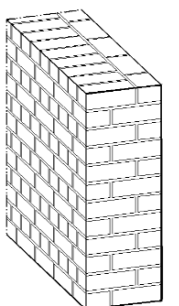
Mur plein en moellons de pierre à deux parements reliés par des grandes pierres traversantes et bloqués par déchets et mortier de terre et de chaux.



Mur plein en moellons de pierre appareillés.



Mur plein avec parement de pierres maçonnées en imbrication et adhérence totale avec une maçonnerie de briques.



Maçonnerie de briques de 1 1/2 à 2 briques d'épaisseur.

LES TYPES DE STRUCTURE

LES PAROIS PLEINES PORTANTES (TYPES A ET B)

Elles peuvent être constituées :

- de maçonnerie en terre cuite ou d'une brique et demi (29 cm). Pour des constructions plus anciennes et/ou situées dans certaines régions du pays, la maçonnerie peut être constituée de moellons de pierre naturelle. Dans ce cas l'épaisseur est généralement plus importante ;
- de maçonnerie composée de blocs de grand format en terre cuite allégée ou non, de blocs en béton lourd, mi-lourd ou léger, de blocs silico-calcaire de 19, 29 ou 39 cm d'épaisseur, maçonnés ou collés entre eux ;
- de madriers en bois empilés ;
- de panneaux sandwichs sans ossature autoportants ;
- de panneaux en bois contrecollés pleins ;
- de panneaux portants préfabriqués en béton lourd ou léger ;
- de panneaux préfabriqués en terre cuite assemblés par coulage de mortier.

LES PAROIS À OSSATURE (TYPE C)

Contrairement aux façades en murs portants ou simplement autoportants qui ne sont composées que d'un ou deux types de matériaux maçonnés, les façades ossaturées sont composées d'au moins deux systèmes différents :

- le système portant, c'est-à-dire l'ossature en bois, en acier ou en béton armé. Cette ossature est reliée à l'ossature interne du bâtiment ;
- le système d'enveloppe et de contreventement : le remplissage ou galandage en bois, en torchis, en maçonnerie de brique ou de pierre enduite ou non.

Il faut distinguer les parois ossaturées à matériaux conducteurs de chaleur (ossatures métalliques) de celles à matériaux peu conducteurs de chaleur (ossatures bois).

Lorsque l'ossature est en bois, il n'y a normalement pas de problème de ponts thermiques dus à la discontinuité de matériau entre l'ossature et l'isolant ; par contre, lorsque l'ossature est métallique, une isolation continue recouvrant l'ossature côté intérieur ou extérieur est nécessaire.

Pour plus d'informations concernant les façades à structure bois, nous invitons le lecteur à consulter le guide pratique "*L'isolation thermique des façades à structure bois - Guide pratique pour les architectes*" [f].

LES PAROIS À STRUCTURE MASSIVE SANS ISOLATION THERMIQUE (TYPE A)

Il y a lieu de faire une distinction entre les murs pleins traditionnels et les murs monolithiques plus récents offrant un meilleur niveau d'isolation thermique que les précédents.

LE MUR PLEIN TRADITIONNEL

Il se compose le plus souvent, de l'intérieur vers l'extérieur :

- d'un enduit mural à base de chaux et/ou de plâtre de 1,5 cm d'épaisseur ;
- d'une maçonnerie en terre cuite d'une brique d'épaisseur (19 cm) ou d'une brique et demi (29 cm). La maçonnerie peut parfois être constituée de moellons de pierre naturelle ;
- d'un revêtement extérieur éventuel, constitué par un enduit à base de chaux ou de ciment (épaisseur d'environ 2 cm) ou par un bardage.

Performance thermique

Le tableau ci-dessous reprend les coefficients de transmission thermique U, calculés sur la base de la norme NBN B62-002, de différents types de murs pleins traditionnels.

Il est erroné de croire que les murs monolithiques épais en pierres ou en briques offrent une bonne performance thermique. Non isolé, ce mur ne limite pas suffisamment les déperditions calorifiques et ne peut à lui seul apporter un confort intérieur satisfaisant.

Comportement thermique

Le mur traditionnel, vu qu'il est composé de matériaux lourds, offre une bonne inertie thermique. Le risque de surchauffe en été à l'intérieur du bâtiment est diminué. Il implique par contre, la nécessité d'un plus long temps pour réchauffer ou refroidir le bâtiment. L'évolution de la température (été-hiver) au sein de ce type de maçonnerie est schématisée ci-contre.

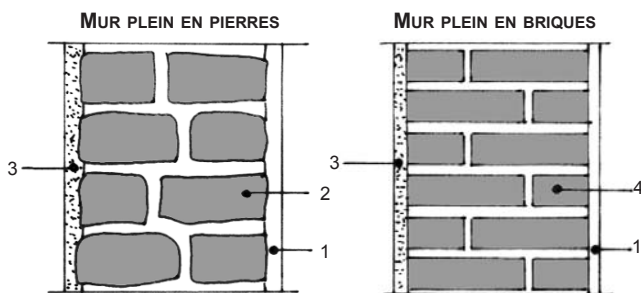
Risque de condensation superficielle

Les murs pleins en briques et en pierre, même de forte épaisseur, peuvent être fréquemment le siège de condensation superficielle, même pour un climat intérieur normal.

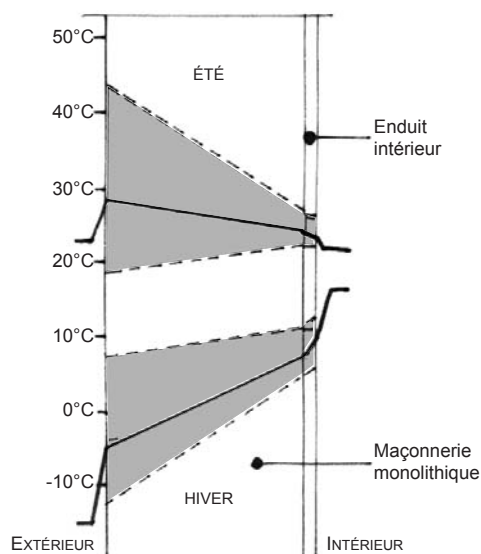
Risque de condensation interne

En l'absence de revêtement extérieur, le risque de condensation interne est nul.

Pour qu'il y ait un risque de condensation interne en hiver dans un mur plein traditionnel, il faut que le mur soit protégé par un enduit extérieur et que la résistance à la diffusion de vapeur de celui-ci soit sensiblement plus élevée que celle des enduits extérieurs courants (minéraux ou résineux), et que le climat intérieur soit anormalement élevé (classe de climat IV par exemple).



- 1 : enduit intérieur
- 2 : maçonnerie de moellons
- 3 : enduit extérieur facultatif
- 4 : maçonnerie de briques



EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN DU MUR LORS D'UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET LORS D'UNE JOURNÉE D'HIVER [3]

CONDENSATION SUPERFICIELLE SUR UNE PAROI [3] [21]

La condensation superficielle se forme sur une paroi si sa température de surface est inférieure ou égale à celle du point de rosée.

Pour limiter le risque de condensation superficielle, il faut veiller à ce que le facteur τ soit le plus élevé possible.

Le facteur τ détermine la différence entre la température de surface θ_{ie} en un point quelconque de la face intérieure d'une paroi d'un local et la température extérieure θ_e , lorsque la différence de température entre les ambiances intérieure θ_i et extérieure θ_e du local est égale à 1K.

$$\tau = \frac{\theta_{ie} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Lorsque le coefficient U des parois extérieures ne dépasse pas 1,69 W/m²K, le facteur de température τ est inférieur ou égal à 0,70 et le risque de condensation superficiel est très faible, même dans les angles extérieurs du local ; c'est-à-dire des zones où la circulation d'air est moins intense.

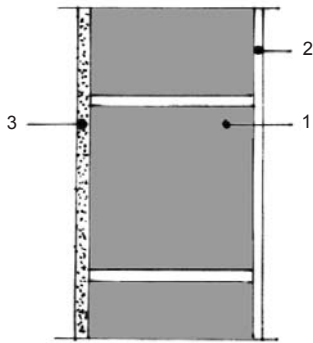
	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U [W/m²K]					
	Epaisseur 19 cm		Epaisseur 29 cm		Epaisseur 39 cm	
	Sec	Humide	Sec	Humide	Sec	Humide
Maçonnerie de briques ordinaires	2,22	2,55	1,69	2,00	1,37	1,64
Maçonnerie de moellons	-	-	2,54	2,79	2,15	2,39

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U DE DIFFÉRENTS TYPES DE MURS PLEINS TRADITIONNELS [3]

La réglementation wallonne imposant de respecter un U_{max} de 0,6 W/m²K pour les parois verticales extérieures, un tel risque devrait donc être totalement écarté.

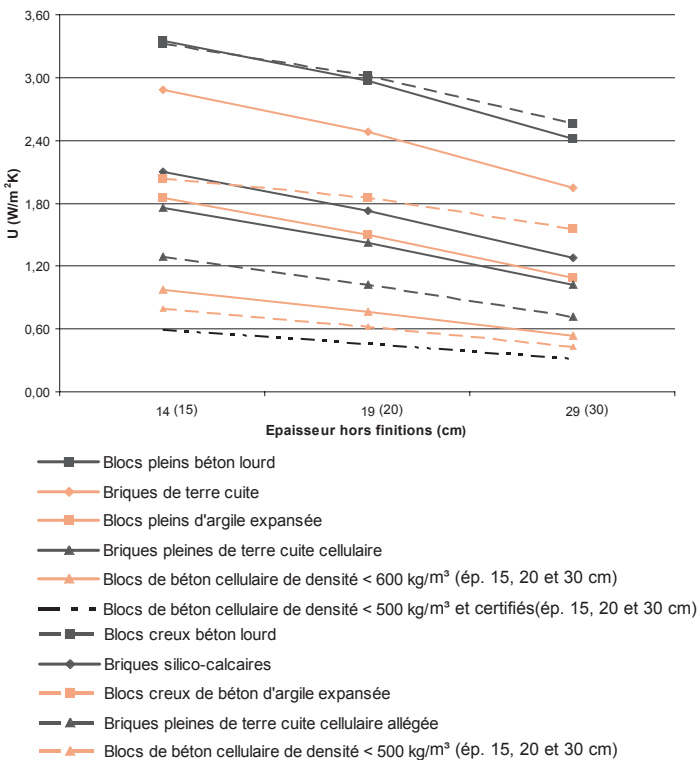
LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

MUR PLEIN EN BLOCS DE GRAND FORMAT



- 1 : finition intérieure
- 2 : maçonnerie en blocs légers
- 3 : finition extérieure

COEFFICIENT U DE MURS PLEINS



LE MUR MONOLITHIQUE RÉCENT

Il se compose le plus souvent, de l'intérieur vers l'extérieur :

- d'une finition intérieure constituée d'un enduit mince (quelques mm d'épaisseur) ou d'un enduit à base de chaux ou de plâtre, de 1 à 1,5 cm d'épaisseur ;
- d'une maçonnerie composée de blocs de grand format en terre cuite allégée, en béton de granulats d'argile expansée ou en béton cellulaire, de 19, 29 ou 39 cm d'épaisseur, maçonnés ou collés entre eux ;
- d'une protection extérieure sous forme d'un enduit minéral (environ 2 cm d'épaisseur) ou résineux ou d'un bardage en bois, en fibres-ciment, métallique, etc.

Performance thermique

Le tableau ci-après et le graphique ci-contre reprennent les coefficients de transmission thermique U de différents types de murs monolithiques composés d'un crépi de ciment, de blocs de grand format et d'un enduit de plafonnage. Le tableau reprend également les résistances thermiques des blocs R_{bloc} (sans les finitions extérieure et intérieure) et de la paroi R_{tot} .

Lorsque les blocs sont porteurs, seuls les blocs de béton cellulaire très léger mis en oeuvre en une épaisseur supérieure ou égale à 30 cm offre une performance thermique satisfaisant le règlement thermique wallon ($U_{\text{max}} \leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour les parois verticales extérieures).

Lorsque les blocs ne sont pas porteurs, seuls les blocs de béton cellulaire certifiés mis en oeuvre en une épaisseur supérieure ou égale à 15 cm répondent à la réglementation.

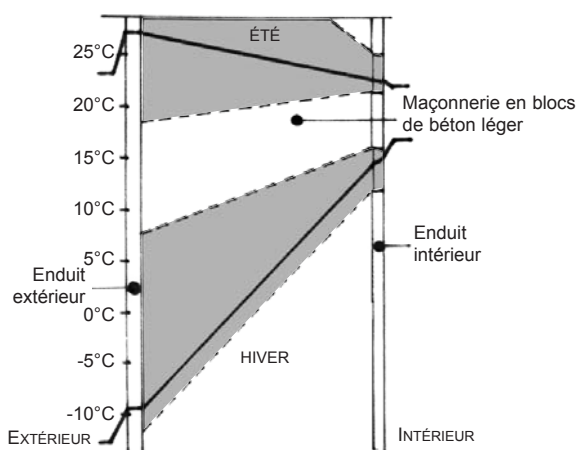
Tous les autres types de mur doivent faire l'objet d'une isolation complémentaire.

Si l'on remplace le crépi de ciment par un bardage, on constate peu de différence : les coefficients U des parois diminuent d'environ 2 centièmes, ce qui permet aux blocs de béton cellulaire non porteur d'une épaisseur de 20 cm de satisfaire à la réglementation.

NATURE DE LA MACONNERIE	DENSITE ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	RESISTANCE THERMIQUE R [m²K/W] ET COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U [W/m²K] (*)								
			Ep. 14 cm			Ep. 19 cm			Ep. 29 cm		
			R_{bloc}	R_{tot}	U	R_{bloc}	R_{tot}	U	R_{bloc}	R_{tot}	U
Blocs pleins de béton lourd	> 1800	1,30	0,11	0,30	3,35	0,15	0,34	2,97	0,22	0,41	2,42
Briques silico-calcaires	> 1800	0,49	0,29	0,48	2,10	0,39	0,58	1,73	0,59	0,78	1,28
Briques de terre cuite	1800	0,90	0,16	0,35	2,89	0,21	0,40	2,49	0,32	0,51	1,95
Blocs creux de béton lourd	> 1200	-	0,11	0,30	3,32	0,14	0,33	3,02	0,20	0,39	2,56
Blocs creux de béton d'argile expansée	900 à 1200	-	0,30	0,49	2,04	0,35	0,54	1,85	0,45	0,64	1,56
Blocs pleins d'argile expansée	900 à 1200	0,40	0,35	0,54	1,85	0,48	0,67	1,50	0,73	0,92	1,09
Briques pleines de terre cuite cellulaire	1000	0,37	0,38	0,57	1,76	0,51	0,70	1,42	0,78	0,98	1,03
Briques pleines de terre cuite cellulaire allégée	< 1000	0,24	0,58	0,77	1,29	0,79	0,98	1,02	1,21	1,40	0,71
NATURE DE LA MACONNERIE	DENSITE ρ [kg/m³]	λ [W/mK]	Ep. 15 cm			Ep. 20 cm			Ep. 30 cm		
			R_{bloc}	R_{tot}	U	R_{bloc}	R_{tot}	U	R_{bloc}	R_{tot}	U
			Blocs de béton cellulaire porteur	< 600	0,18	0,833	1,024	0,98	1,111	1,302	0,77
Blocs de béton cellulaire non porteur	< 500	0,14	1,071	1,262	0,79	1,429	1,619	0,62	2,143	2,334	0,43
Blocs de béton cellulaire non porteur certifiés	< 500	0,10	1,50	1,69	0,59	2,00	2,19	0,46	3,00	3,19	0,31

(*) Les coefficients R_{tot} et U sont calculés avec un enduit de plafonnage ép. 1 cm à l'intérieur et un crépi de ciment ép. 1 cm à l'extérieur

RÉSISTANCES THERMIQUES R ET COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U DE DIFFÉRENTS TYPES DE MURS MONOLITHIQUES



EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN D'UNE MAÇONNERIE EN BLOCS LÉGERS LORS D'UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET LORS D'UNE JOURNÉE D'HIVER [3]

REMONTÉES CAPILLAIRES [3]

Dans les maçonneries récentes, des membranes anticapillaires sont le plus souvent insérées dans les murs au niveau où ceux-ci sortent des terres, de sorte que les problèmes de remontées capillaires ne se manifestent plus qu'accidentellement.

Par contre, dans les murs anciens, cette membrane est le plus souvent absente, ce qui fait que préalablement à tous travaux de rénovation, il convient de remédier à cette situation.

Pour ce faire on peut insérer la membrane manquante en démontant la maçonnerie par petits tronçons. Cette intervention est extrêmement lourde et elle est le plus souvent abandonnée au profit des injections.

Pour plus d'informations à ce sujet, le lecteur peut consulter la NIT 162 du CSTC "Les procédés de traitement des maçonneries contre les remontées capillaires" [5].

Dans les anciennes maçonneries qui ont été le siège de remontées capillaires, il y a souvent lieu de se méfier de la présence de sels hygroscopiques en provenance du sol. Malgré l'efficacité du traitement contre les remontées capillaires, ces sels peuvent faire en sorte que le taux d'humidité de la maçonnerie reste suffisant pour favoriser la formation de taches d'humidité.

CONSEILS DE MISE EN OEUVRE DE L'ISOLANT THERMIQUE [21]

L'isolant thermique est placé directement contre le mur plein.

Si l'isolant est souple, il épouse parfaitement la forme du support même si celui-ci est un peu irrégulier. Si l'isolant est rigide, il est nécessaire de régler le support avant de poser l'isolant.

Un isolant perméable à l'air ne peut être choisi que si la paroi sur laquelle il est posé est elle-même étanche à l'air. Si la maçonnerie doit rester apparente à l'intérieur du bâtiment, la face extérieure du mur plein doit être enduite avant la pose de l'isolant afin de la rendre étanche à l'air.

Les panneaux isolants doivent être posés de manière jointive et appliqués contre le mur afin d'éviter les interruptions dans la couche isolante (ponts thermiques) et les courants de convection.

L'isolation thermique de l'enveloppe doit être continue. Elle doit être dans le prolongement et en contact avec le dormant du châssis muni d'un vitrage isolant.

La couche isolante du mur doit être raccordée aux couches isolantes des autres parois du volume protégé.

Il faut protéger et manipuler les panneaux isolants avec précautions pour éviter les écrasements, les déchirures, l'eau, la boue.

• Comportement thermique

L'utilisation de blocs légers engendre une diminution de l'inertie thermique par rapport à un mur plein traditionnel. Le risque de surchauffe en été augmente, et le bâtiment se réchauffe et se refroidit plus vite.

L'évolution de la température (été-hiver) au sein d'une maçonnerie en blocs de béton léger, revêtue intérieurement et extérieurement d'un enduit, est schématisée ci-contre.

On constate que l'enduit extérieur subit des écarts de température non négligeable. Le risque de fissuration est réel, au voisinage des baies et aux endroits où il est appliqué sur des matériaux de nature différente. Dans ce cas, il est préférable d'armer la maçonnerie afin de mieux répartir ses déformations.

• Risque de condensation superficielle

Ce risque est réel si la maçonnerie est constituée de blocs de béton lourd ou mi-lourd, ou encore silico-calcaires, et ce, principalement dans les angles ou derrière des meubles, du fait de la moins bonne circulation de l'air intérieur dans ces zones.

• Risque de condensation interne

Pour les murs en blocs légers protégés par un enduit extérieur, la résistance à la diffusion de vapeur de ce dernier est plus élevée que celle de la maçonnerie et le risque de condensation interne à l'interface entre la maçonnerie et l'enduit extérieur est théoriquement réel. Pratiquement, pour des classes de climat intérieur normales (classes II et III), l'inertie hydrique de ces matériaux est telle que la condensation interne ne se forme pas ou qu'elle n'est pas résiduelle annuellement.

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR (TYPE B₁)

L'isolation thermique est appliquée sur la face extérieure de la façade ; elle est ensuite protégée par une finition légère (crépi, bardage, etc.) ou lourde (mur creux).

La technologie du mur creux ne sera pas abordée ici, celle-ci faisant déjà l'objet d'une brochure : "L'isolation thermique du mur creux - Guide pratique pour les architectes" [a].

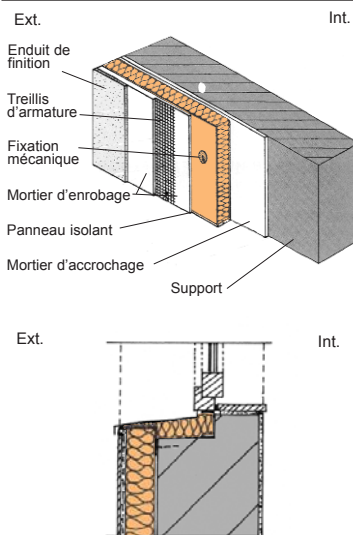
Le choix entre les différentes techniques d'isolation du mur par l'extérieur se fait en fonction des critères suivants :

- les performances à atteindre, tant du point de vue énergétique que celui de l'étanchéité à l'eau ;
- l'esthétique recherchée ;
- la complexité de la façade ;
- le prix.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau de la page suivante donne les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur [10] [20].

On peut également utiliser un enduit isolant (projeté) comme par exemple des billes de polystyrène avec mortier de ciment. ce système est cependant limité en épaisseur.



PANNEAUX D'ISOLATION RECOUVERTS D'UN ENDUIT (OU ENDUIT ISOLANT)

Ce système comprend :

- des panneaux de polystyrène, de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane collés et/ou fixés mécaniquement au support ;
- un enduit de finition armé d'un treillis, synthétique ou métallique. Dans certains cas, ce treillis est partiellement incorporé dans l'isolant.

Il est conseillé d'avoir recours à un système bénéficiant d'un agrément technique. Les meilleurs enduits sont ceux de couleur claire, d'élasticité et de ductilité suffisante pour éviter les fissures dues aux chocs thermiques.

La mise en oeuvre doit être particulièrement soignée :

- **Préparation du support :** pour un support ancien recouvert de peinture ou d'un enduit, il y a lieu de vérifier leur bonne adhérence à la maçonnerie et leur compatibilité avec le produit de collage de l'isolant. Toute partie qui ne serait pas stable doit être décapée. La surface doit être propre, dépoussiérée et sèche.
- **Pose des panneaux :** un profilé en aluminium anodisé ou en PVC destiné à supporter la 1^{ère} rangée de panneaux isolant est fixé mécaniquement dans la maçonnerie à 20 cm au moins au-dessus du sol. Les panneaux sont posés à joints serrés et alternés, le plus long côté à l'horizontale en partant du profilé de socle. La fixation se fait :
 - soit par collage intégral si le support est lisse et plan ;
 - soit par collage partiel si le support est irrégulier ;
 - soit par fixation mécanique s'il reste un doute sur la bonne adhérence entre le panneau et le mur.
- **Les angles** sont renforcés au moyen de profilés perforés en aluminium, acier inoxydable ou en synthétique.
- **Pose de l'enduit :** une couche de fond est appliquée sur l'isolant. Un tissu d'armature y est incorporé à sa mi-épaisseur. Au droit des angles de baies, une armature y est également disposée afin d'y limiter le risque de fissuration de l'enduit.

Les systèmes à enduits nécessitent un entretien tous les 10 à 15 ans pour des raisons esthétiques (encrassement de l'enduit).

PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UN BARDAGE RAPPORTÉ

Ce système comprend :

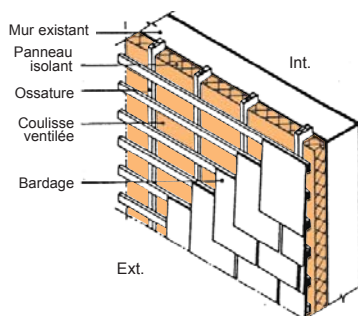
- une ossature bois ou métallique rapportée et fixée au support ancien (parfois en deux couches croisées) ;
- un isolant thermique inséré entre ou sous les éléments de l'ossature ;
- une lame d'air, ventilée afin d'évacuer la condensation se formant au dos du bardage ;
- un bardage constituant la "peau extérieure" (ardoises, lamelles métalliques ou plastiques, revêtements en bois, en zinc, en inox, etc.) fixé à l'ossature.

Les éléments de structure bois doivent être traités contre les attaques par les champignons et les insectes.

Attention : une ossature métallique n'est pas à recommander car elle induit des ponts thermiques.

Isolation autour de la baie :

- *Pour le retour de l'isolation au linteau*, l'isolant est posé entre des lattes fixées au linteau et recouvert d'une finition (feuille métallique, par exemple). Les retours aux piédroits de baie sont réalisés d'une manière similaire.



PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UNE STRUCTURE SUPPORTANT UN ENDUIT

Ce système est identique au précédent, si ce n'est que le bardage est remplacé par un enduit appliqué sur une armature fixée sur l'ossature. Il subsiste ainsi une lame d'air entre l'enduit et l'isolant créant une rupture capillaire au sein du mur.

PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UNE STRUCTURE SUPPORTANT UN PAREMENT EN PIERRE

Ce système est identique au précédent, si ce n'est que l'enduit est remplacé par un parement en pierres fixé à la structure par des ancrages métalliques discontinus. Il subsiste ainsi une lame d'air entre le parement et l'isolant créant une rupture capillaire au sein du mur.

PANNEAUX SANDWICHES PRÉFABRIQUÉS

Ce sont des panneaux composites, fixés mécaniquement au support, comportant une finition extérieure résistante aux intempéries (le plus souvent en métal, en matière synthétique ou constituée de plaquettes de briques) et un isolant thermique ; un pare-vapeur doit être placé sur la face intérieure du mur ou du panneau sandwich. Il faut éviter toute circulation d'air entre les panneaux et le mur.

Ce système est très rarement appliqué.

PAREMENT EN MAÇONNERIE PROTÉGÉANT DES PANNEAUX D'ISOLATION

Ce système revient à créer un mur creux.

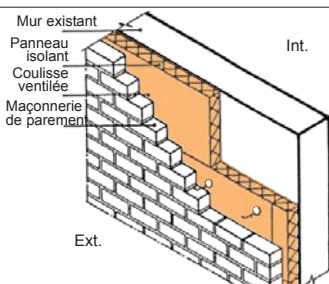
Un isolant est posé contre le mur plein. Il est fixé mécaniquement à la paroi à l'aide de crochets et rondelles. Un mur de parement est monté devant l'isolant en laissant un espace formant coulisse d'une épaisseur de 2 à 3 cm.

Le mur de parement est relié mécaniquement au mur porteur via les crochets.

Avant d'isoler, la surface de la maçonnerie doit être sèche, propre et dépoussiérée.

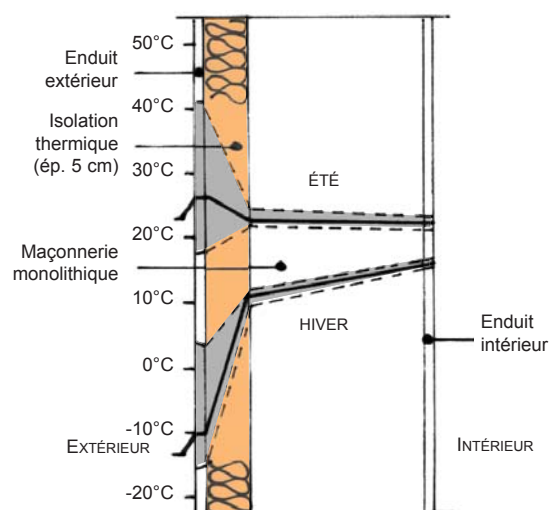
Une membrane d'étanchéité et un joint vertical ouvert doivent être prévus à toute interruption de la coulisse (piéd de mur, linteau) pour drainer vers l'extérieur les eaux infiltrées dans la coulisse.

Les joints de la maçonnerie doivent être bien fermés afin d'éviter les infiltrations d'eau.

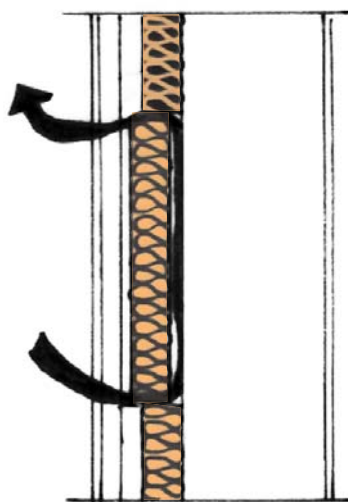


ÉLÉMENTS DE LA SURFACE DE DÉPERDITION	U_{MAX} [W/m ² K]
MURS ET PAROIS OPAQUES VERTICALES :	
• entre le volume protégé et l'air extérieur ou entre le volume protégé et un local non chauffé et non à l'abri du gel	0,6
• entre le volume protégé et un local non chauffé à l'abri du gel	0,9
• entre le volume protégé et le sol	0,9
PAROI MITOYENNE :	
• entre deux volumes protégés ou entre appartements	1

Environ 5 cm d'un isolant thermique ($\lambda \leq 0,04$ W/mK) rapportés à la face extérieure du mur plein permettent de satisfaire au critère $U_{max} \leq 0,6$ W/m²K du règlement thermique wallon.



ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN D'UN MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR, LORS D'UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET LORS D'UNE JOURNÉE D'HIVER [3]



COMPORTEMENT DU MUR ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR

• Performance thermique

Outre un niveau de performance global à atteindre (K_{55} ou B_{e450}), la réglementation wallonne en matière d'isolation thermique exige des valeurs maximales pour le coefficient de transmission thermique U des parois faisant partie de la surface de déperdition.

Ces valeurs sont reprises dans le tableau ci-contre ; elles doivent être respectées pour toute construction neuve.

Si l'on s'en tient à la réglementation, un coefficient thermique U de 0,6 W/m²K est requis pour les parois extérieures. **Cette valeur est une exigence de qualité minimale à respecter.**

Aujourd'hui une valeur U de 0,4 W/m²K pour les murs est courante car elle assure un bon niveau d'isolation thermique sans générer des modifications dans la technique de construction.

• Comportement thermique

L'isolation extérieure permet de bénéficier de la capacité thermique de la paroi et de limiter les risques de surchauffe en été.

Par contre, dans le cas d'un chauffage intermittent, le réchauffement du bâtiment prendra plus de temps.

Le placement de l'isolant du côté extérieur réduit très fortement les variations de température au sein de la maçonnerie. En effet, celles-ci restent très proches des températures intérieures, relativement constantes par rapport aux températures extérieures. Les risques de fissuration d'origine thermique de la maçonnerie sont donc supprimés.

Par contre, vu la position de l'isolant et la faible inertie de l'enduit extérieur, celui-ci peut être soumis à des écarts de température allant jusqu'à plus de 50°C. L'enduit doit donc être muni d'une armature pour réduire le risque de fissuration.

• Étanchéité à l'air

Il faut éviter que de l'air froid extérieur ne puisse s'infiltrer du côté intérieur du mur, réduisant ainsi l'efficacité de l'isolation. Pour que cette étanchéité soit effective, il faut que les panneaux isolants soient posés de manière bien jointive.

Si l'isolant est perméable à l'air (laine minérale, par exemple), il doit être posé sur un support lui-même étanche à l'air.

Pour éviter les courants de convection, les panneaux doivent être appliqués contre le mur-support.

Il faut éviter toute perforation de la maçonnerie intérieure (par l'encastrement d'appareils électriques, par exemple) qui permettrait une pénétration directe de l'air intérieur humide dans l'isolant.

La problématique des ponts thermiques est abordée plus en détail à la page 45.

- Risque de condensation superficielle

La présence d'une isolation thermique extérieure suffisamment épaisse et correctement exécutée permet de supprimer tout risque de condensation superficielle sur la face intérieure du mur. Elle permet, dans la plupart des cas, d'éviter tous les ponts thermiques.

Il faut toutefois veiller à la continuité de l'isolation au niveau :

- du soubassement de façade ;
- des retours de baies ;
- des éléments en encorbellement ;
- des jonctions entre un mur isolé et un mur extérieur.

- Risque de condensation interne

Il n'y a pas de risque de condensation interne pour autant que la migration de vapeur puisse se faire de l'intérieur vers l'extérieur :

- soit par une finition extérieure perméable à la vapeur tout en étant imperméable à la pluie battante ;
- soit par une lame d'air ventilée entre l'isolant et la peau extérieure ;
- soit, dans le cas d'un revêtement extérieur imperméable à la vapeur, en plaçant un pare-vapeur sur la face intérieure du mur ou du côté chaud de l'isolant.

La mise en oeuvre d'une isolation par l'intérieur (combinée avec un pare-vapeur intérieur) ne peut être réalisée que si le mur :

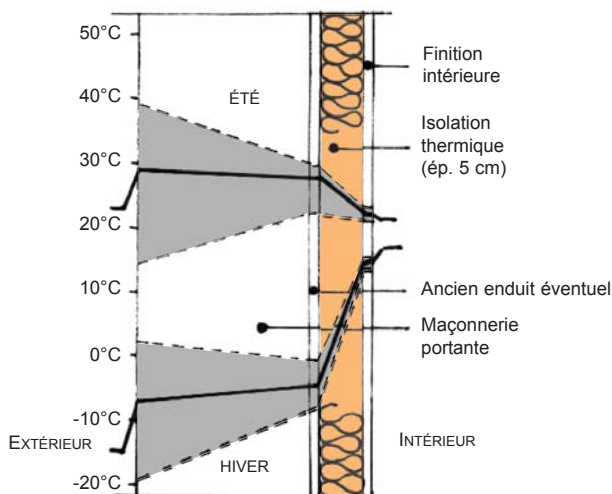
- est sec ;
- est protégé efficacement contre les pluies battantes ;
- dispose d'une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascendante.

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR (TYPE B₂)

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau ci-dessous donne les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'intérieur [10] [20].

	<p>PANNEAUX D'ISOLATION ENTRE LATTES</p> <p><u>Ce système comprend :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • une ossature (bois, métal) fixée mécaniquement dans le mur ou libre et idéalement écartée de celui-ci par l'interposition d'une couche isolante. il existe également des ossatures en PVC ; • des panneaux d'isolation insérés entre l'ossature ; • un pare-vapeur (un film polyéthylène par exemple) ; • des plaques de finition, le plus souvent des plaques de plâtre enrobé de carton. <p><u>Quelques conseils d'exécution :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'isolant est légèrement compressible afin de remplir aussi complètement que possible l'espace disponible entre les lattes et entre le mur et le pare-vapeur. • Pour le pare-vapeur, la technique la plus aisée est d'agrafer, sur les lattes, un film de matière plastique permettant d'obtenir un écran performant contre la diffusion de la vapeur (classe E2). Le recouvrement entre lés est agrafé et recouvert d'une bande adhésive pour empêcher l'air intérieur d'entrer dans la couche isolante. • L'entre-distance des lattes est d'environ 40 cm. • Les joints entre les plaques de finition et les têtes de vis sont fermés et recouverts au moyen d'un enduit de finition. • Si l'ossature est métallique, il faut veiller à ce que son importance soit suffisamment faible pour que les ponts thermiques qu'elle induit soient négligeables, ou qu'un traitement particulier à l'endroit permette de supprimer ces ponts thermiques.
	<p>SYSTÈME AVEC ENDUIT</p> <p><u>Ce système comprend :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • des panneaux d'isolation collés au mur, éventuellement fixés mécaniquement. Les panneaux doivent être suffisamment étanche à la vapeur d'eau (PUR, PS, PSE, verre cellulaire) ; • un enduit de plafonnage appliqué sur les panneaux, moyennant l'interposition éventuelle d'une armature. <p>Ce système peut parfois également être composé d'un isolant PUR projeté recouvert d'un enduit.</p>
	<p>PANNEAUX ISOLANTS SANDWICHES</p> <p><u>Ce système comprend :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • des panneaux d'isolation revêtus d'une plaque de finition ; dans certains panneaux, un pare-vapeur est inséré entre l'isolant et la finition. <p>Attention : ce système ne convient pas lorsque le mur extérieur est fort perméable à l'eau.</p> <p><u>Deux types de mise en oeuvre sont possibles :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Les panneaux sont collés sur la maçonnerie</i> ; la pose par collage ne doit pas être utilisée sur des supports ayant connu de l'humidité car des sels peuvent s'être déposés en surface. La surface du mur à isoler doit être décapée afin que la colle soit en contact direct avec un support stable et sec. Les panneaux composites sont placés verticalement, d'une seule pièce sur la hauteur du local. Ils sont posés à joints serrés et fermés à l'aide d'un enduit pour empêcher toute circulation de l'air intérieur derrière l'isolant. • <i>Les panneaux sont fixés mécaniquement sur un lattage (en bois ou en plastique)</i> ; un isolant légèrement compressible est posé entre les lattes fixées mécaniquement à la maçonnerie, dont le réglage est assuré à l'aide de cales. Les panneaux composites sont fixés mécaniquement sur les lattes à l'aide de vis. Lorsque les lattes sont en bois, elles doivent être traitées selon un traitement fongicide et insecticide ; elles sont séparées de la maçonnerie par une bande d'un matériau étanche à l'eau. Pour empêcher toute circulation de l'air intérieur derrière l'isolant, il faut : <ul style="list-style-type: none"> - remplir l'espace disponible entre les lattes et entre le mur et le panneau composite ; - réaliser une pose jointive des panneaux et bien fermer les joints avec un enduit de finition. <p>Ce système est à utiliser si la couche isolante a une épaisseur importante et si le support présente une surface non plane et des défauts de verticalité et/ou une stabilité de surface insuffisante.</p>
	<p>SYSTÈMES AVEC CONTRE-MUR</p> <p><u>Ce système comprend :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • une élévation d'un contre-mur intérieur indépendant de la structure existante ; • des panneaux d'isolation fixés à ce contre-mur, du côté de la coulisse entre les deux murs ; • une coulisse, éventuellement ventilée par l'extérieur, entre le mur plein existant et les panneaux d'isolation ; cette coulisse comporte en son pied un drainage vers l'extérieur. • une finition intérieure étanche à l'air. <p>Cette solution revient en fait à créer un double mur. Elle peut être intéressante dans le cas où il existe un problème d'humidité dans le mur, en particulier en présence de sels hygroscopiques (comme le nitrate lors d'une réhabilitation de ferme).</p>



EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN D'UN MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR, LORS D'UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET LORS D'UNE JOURNÉE D'HIVER [3]

L'isolation thermique par l'intérieur provoque un abaissement de la température au sein de la maçonnerie en période hivernale et ralentit son séchage, ce qui peut mener à des dégâts de gel dans les matériaux.

COMPORTEMENT D'UN MUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

• Performance thermique

Tout comme pour le mur isolé par l'extérieur, l'apport d'un isolant thermique à la face intérieure de la maçonnerie permet d'en améliorer sensiblement le niveau d'isolation thermique.

• Comportement thermique

Un bâtiment isolé par l'intérieur perd l'inertie thermique de ses parois extérieures ; cela a pour conséquence d'atténuer fortement le rôle de régulation thermique des parois. Ainsi, un local est rapidement chauffé mais il se refroidit tout aussi vite. Ces variations rapides de température nuisent au confort thermique mais ce système peut devenir avantageux lorsque le bâtiment est occupé durant de courtes périodes.

Lorsqu'on place un isolant du côté intérieur de la maçonnerie, le mur est plus froid en hiver et plus chaud en été que le même mur sans isolation thermique. Le mur isolé par l'intérieur subit donc des variations de température plus grandes et plus fréquentes.

Les fissures qui en résultent peuvent difficilement être évitées. Le risque de fissuration est fonction des paramètres suivants :

- la dimension de la façade ;
- le niveau d'exposition au soleil, à la pluie, au vent ;
- les caractéristiques mécaniques des matériaux ;
- la stabilité dimensionnelle de la maçonnerie ;
- la teinte du parement.

• Risque de condensation superficielle

Ce type d'isolation thermique permet de réduire ou de supprimer le risque de condensation superficielle dans les parties courantes du mur.

L'interruption de l'isolant à la jonction avec les parois adjacentes fait qu'à certains endroits, la formation de condensation superficielle est fortement à craindre du fait de l'accentuation des ponts thermiques.

• Risque de condensation interne

L'isolation des murs par l'intérieur exige de prendre certaines précautions lors de la mise en oeuvre afin d'éviter les problèmes de condensation interne, notamment :

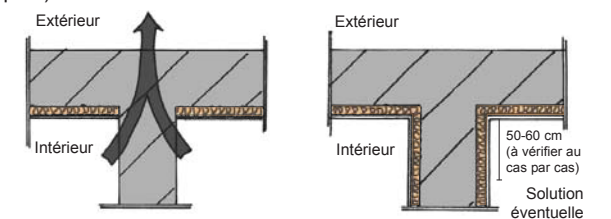
- fermer toutes les ouvertures qui permettraient à l'air intérieur de circuler derrière la couche isolante ;
- prévoir une finition intérieure étanche à l'air sur toute la surface ;
- poser, le cas échéant, un pare-vapeur avec raccords rendus étanches.

Il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant si la vapeur d'eau a la possibilité de traverser le complexe isolant-finition.

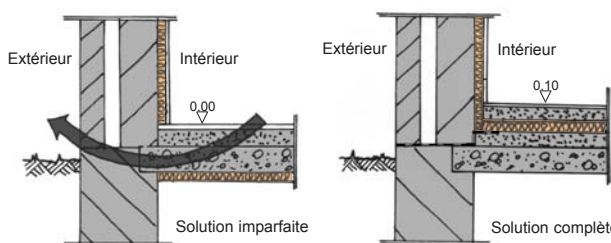
Il faut donc que les couches situées du côté chaud de l'isolation ou l'isolation elle-même réduisent suffisamment, voire suppriment le transport de vapeur par diffusion et par convection.

EXEMPLES DE PONTS THERMIQUES

Intersection entre le mur extérieur et le mur de refend (vue en plan)



Intersection entre le mur extérieur et la dalle de sol (vue en coupe)



Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol, mur-toiture et mur-mur de refend afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissure qui pourrait en résulter.

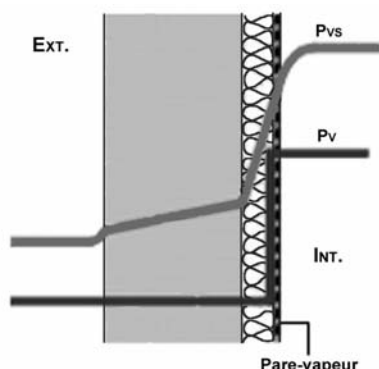
Pour supprimer les ponts thermiques et ainsi le risque de condensation autour de la baie, l'isolation thermique doit être prolongée jusqu'à la menuiserie avec un impact éventuel sur celle-ci et/ou sur les dimensions jour de la baie.

La problématique des ponts thermiques est abordée à la page 45.

LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

Le risque de condensation à l'interface isolant - maçonnerie est d'autant plus grand que :

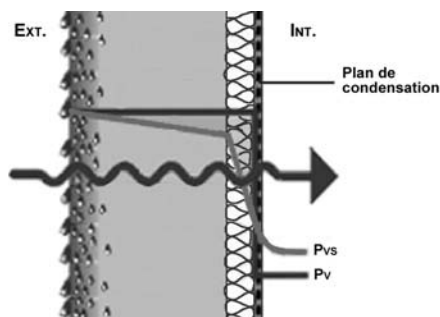
- le climat intérieur est chaud et humide ;
- la résistance à la diffusion de vapeur de la partie du mur, extérieure par rapport à l'isolant, est élevée (béton lourd, par ex.) ;
- la pose du pare-vapeur et/ou de l'isolant est moins soignée.



P_v : pression de vapeur

P_{vs} : pression de vapeur de saturation

DIFFUSION DE LA VAPEUR D'EAU EN HIVER [21]



P_v : pression de vapeur

P_{vs} : pression de vapeur de saturation

DIFFUSION DE LA VAPEUR D'EAU EN ÉTÉ [21]

Pour cela, il y a lieu de prévoir :

- soit le choix d'un isolant peu perméable à la vapeur d'eau (PS, PUR, PSe, verre cellulaire, etc.) ;
- soit l'interposition d'un pare-vapeur efficace (de classe E1 ou E2 en fonction du risque) entre l'isolant et la finition ;
- soit l'interposition d'une lame d'air ventilée par l'extérieur entre le mur et l'isolant. Cette solution présente toutefois le risque supplémentaire de porter atteinte à l'étanchéité à l'air puisque la ventilation est introduite au sein de la paroi.

L'écran pare-vapeur ne peut pas être interrompu ; il faut par conséquent :

- veiller à bien obturer les joints entre les panneaux ;
- réaliser une fermeture étanche à l'air intérieur, à la périphérie des panneaux (plancher, plafond, fenêtre), éventuellement par la pose d'un joint souple ;
- ne pas encastrent des conduites ou des canalisations électriques qui percent le pare-vapeur. L'installation électrique peut être réalisée en pose apparente ou bien dissimulée derrière une double finition.

En période froide, lorsque l'air chaud et humide passe derrière l'isolant thermique, à cause d'une discontinuité, et rencontre une surface froide, il se forme de la condensation interne liée au transport de vapeur par convection. Ce type de condensation interne est bien plus fréquente que celle due à la diffusion de vapeur. Les quantités de condensats sont également plus importantes.

Lorsque la maçonnerie d'une paroi isolée par l'intérieur est susceptible d'être humide dans la masse (infiltration d'eau de pluie, humidité ascensionnelle ou humidité de construction), il y a, en été, un risque de condensation interne contre le pare-vapeur.

Dans ce cas, la vapeur d'eau provoquée par le séchage de la maçonnerie peut diffuser partiellement vers l'intérieur du bâtiment et donner lieu à la formation de condensation à l'interface isolant - pare-vapeur.

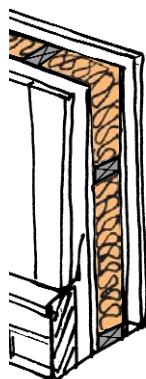
Cette condensation provient du fait que la température de la finition intérieure de la paroi atteint des températures sensiblement inférieures à celles de la maçonnerie (en été).

L'isolation par l'intérieur constitue un travail délicat en raison des risques suivants [10] :

- gel dans les maçonneries si celles-ci sont humides ;
- condensation interne favorisant le risque de gel si le pare-vapeur n'est pas continu ;
- moisissures, voire même une condensation superficielle, si certaines parties de parois restent froides (création de ponts thermiques) ;
- dégâts dans les maçonneries si celles-ci sont fortement exposées aux variations de température ;
- gel dans les canalisations d'eau exposées au froid si celles-ci ne sont pas déplacées.

LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES

Pour plus d'informations, le lecteur est invité à consulter la brochure "L'isolation thermique des façades à structure bois - Guide pratique pour les architectes" [f].



L'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE (TYPE C)

La fonction d'isolation thermique est assurée par l'isolant posé entre les montants de la structure. Cet isolant doit être semi-rigide ou insufflé. Il est placé de façon à bien remplir les vides et à y éviter toute convection.

On placera si nécessaire un pare-vapeur ou un freine-vapeur du côté chaud de l'isolant ; ce voile sert aussi d'étanchéité à l'air.

La zone de structure sera complétée par un contreventement réalisé, par exemple, en panneaux à base de bois. Si celui-ci est mis vers l'extérieur, il peut aussi servir d'étanchéité à l'air ; s'il est mis côté intérieur, il peut servir de freine-vapeur ou de support au pare-vapeur, ainsi que de barrière à l'air.

Si la structure est métallique, il faut prévoir une coupure thermique entre l'intérieur et l'extérieur au droit des structure au minimum.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau ci-dessous donne les principaux systèmes des parois à ossature isolées [f].

	<p>PAROI À COMPOSANTS DE FAÇADE FERMÉE - OSSATURE BOIS</p> <p>Ce système de composants sandwichs (ou à panneaux fermés) peut être l'objet d'une préfabrication en usine et un système de joints y est associé.</p> <p>Le parement doit être parfaitement étanche à l'eau et au vent et l'épaisseur minimale conseillée des montants de la structure est de 12 cm pour des questions de stabilité et d'isolation.</p>
	<p>PAROI À OSSATURE SANS PANNEAUX - OSSATURE BOIS</p> <p>La peau extérieure protège contre la pluie et le soleil. Un pare-pluie est nécessaire, il doit être respirant.</p>
	<p>PAROI À OSSATURE AVEC PANNEAUX - OSSATURE BOIS</p> <p>Ce type de paroi peut utiliser un ou deux panneaux dont les fonctions peuvent être :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la stabilisation aux poussées du vent pour les OSB et les multiplis ; • l'étanchéité au vent, à l'air extérieur ; • le frein de vapeur en face intérieure et étanchéité à l'air en face intérieure ; • la participation à l'isolation thermique. <p>La résistance à la migration de vapeur μd des panneaux devra être choisie selon leur position dans la paroi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • placé en face extérieure, μd doit être faible sinon un pare-vapeur est nécessaire côté intérieur ; • placé en face intérieure, μd doit être moyen à important, sinon un pare-vapeur peut être nécessaire en complément. <p>Paroi à ossature avec panneau côté extérieur : La paroi est équipée du côté extérieur d'un panneau en fibres tendres (1,6 cm d'épaisseur, μd : 0,08 m).</p> <p>Paroi à ossature avec panneau côté intérieur : Il y a intérêt à utiliser un pare-vapeur rigide de type panneau de fibres végétales dures (pour le contreventement) et dont le μd satisfait au climat intérieur (μd : 1,12 m).</p>

COMPORTEMENT D'UNE PAROI OSSATURÉE ISOLÉE

• Performance thermique

L'apport d'un isolant thermique entre les montants de la structure permet d'atteindre un niveau d'isolation thermique satisfaisant.

La discontinuité de matériau entre l'ossature et l'isolant demande cependant de tenir compte des surfaces relatives de la structure et d'isolant. Le complément par une isolation continue recouvrant l'ossature côté intérieur ou extérieur, est une amélioration du système.

- Comportement thermique

Hormis un matériau lourd en finition intérieure, les parois ossaturées n'apportent pas d'inertie thermique au bâtiment, ce qui peut être préjudiciable à un bon confort d'été. Il faut donc compenser ce manque d'inertie par l'utilisation de matériaux lourds en plancher ou en paroi intérieure, ou de masses disposées à l'intérieur du bâtiment (murets, par exemple).

- Étanchéité à l'air et à l'eau

Du côté extérieur des structures, une étanchéité à l'eau et au vent doit être assurée.

Côté intérieur, une très bonne étanchéité continue à l'air est indispensable. Suivant le type de climat intérieur, un pare-vapeur peut être nécessaire, exigeant une mise en oeuvre et une conception soignée. Il sert aussi d'étanchéité à l'air de la paroi.

- Condensation interne

En période de chauffe, l'air intérieur étant plus chaud que l'air extérieur, la pression de vapeur intérieure est, en général, plus élevée à l'intérieur.

La vapeur d'eau a donc tendance à traverser la paroi extérieure.

De la même façon, en cas de surpression intérieure, l'air intérieur poursuit aussi la même tendance.

Ces deux phénomènes peuvent induire des condensations en cas de rencontre avec des parties froides dans la paroi. Une barrière étanche à l'air et une barrière étanche à la vapeur sont donc nécessaires.

Il faut aussi éviter toute convection d'air autour des isolants, d'où l'intérêt d'utiliser des isolants semi-rigides ou insufflés, remplissant les caissons de l'ossature.

- Condensation superficielle

La présence d'une isolation thermique dans une structure ossaturée correctement exécutée permet de supprimer tout risque de condensation superficielle.

Les structures traversantes peuvent, toutefois, provoquer des ponts thermiques.

Lorsqu'elles sont en bois, les caractéristiques de faible conductivité thermique de ce matériau permettent, dans des conditions climatiques tempérées, et pour les performances actuellement demandées (normes et législations) de limiter les ponts thermiques.

Lorsqu'elles sont métalliques, par contre, la discontinuité du matériau entre l'ossature et l'isolant thermique doit être prise en compte.

Une isolation continue recouvrant l'ossature côté extérieur permet d'éviter tout pont thermique. Si celle-ci est placée du côté intérieur, l'interruption de l'isolant à la jonction avec les parois adjacentes peut provoquer, à certains endroits, la formation de condensation superficielle du fait de l'accentuation des ponts thermiques.

LES MURS-RIDEAUX (TYPE D) [21]

AVANTAGES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES

- légèreté (50 à 80 kg/m², soit 20 à 30 % du poids d'une construction traditionnelle ;
- encombrement réduit (de 10 à 20 cm), soit un gain de 10 à 30 cm par rapport à la construction traditionnelle ;
- préfabrication industrielle permettant une grande vitesse de mise en oeuvre ;
- performances d'étanchéité à l'eau, à l'air et au vent supérieures à celles d'une construction traditionnelle ;
- entretien réduit ;
- larges possibilités d'adaptation au niveau du concept architectural.

CAS PARTICULIER : LA DOUBLE PEAU

Le mur-rideau peut être dédoublé par une deuxième façade vitrée. La distance entre les deux parois est généralement comprise entre 20 et 100 cm.

On crée ainsi une lame d'air qui peut être utilisée de multiples façons selon le type de construction. La température de l'air dans la lame d'air peut être influencée par la modification des surfaces des entrées et sorties d'air.

Ces systèmes peuvent être conçus avec ou sans recouvrements horizontaux ou verticaux de la lame d'air.

Le mur-rideau est un mur de façade légère qui assure la fermeture mais ne participe pas à la stabilité du bâtiment. Il se caractérise comme suit :

- il est fixé sur la face externe de l'ossature porteuse du bâtiment ;
 - son poids propre et la pression du vent sont transmis à l'ossature par l'intermédiaire d'attaches ;
 - il est formé d'éléments raccordés entre eux par des joints.
- L'ossature est cachée derrière la paroi, elle n'intervient pas dans la composition de la façade.

Les éléments de remplissage sont des matériaux simples ou composites qui s'insèrent dans l'ossature de la façade légère pour remplir les vides et former la façade.

Ces éléments peuvent être fixes ou mobiles, isolants ou non, opaques, transparents ou translucides. Ils doivent, en tous cas, assurer leur propre stabilité.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Les différents types de murs-rideaux se distinguent par leur degré de préfabrication en atelier ainsi que par leur mode de report de charge sur le support.



LE MUR-RIDEAU MONTÉ SUR GRILLE

Une grille est fixée au squelette du bâtiment. Elle est formée soit de raidisseurs verticaux et traverses horizontales assemblées sur chantier, soit de cadres complets préfabriqués en usine et juxtaposés sur chantier. Ce treillis peut être dissimulé dans le mur une fois achevé, ou gardé apparent pour articuler la façade et donner à ce type de construction son allure caractéristique.

Le quadrillage est ensuite obturé par des panneaux pleins et opaques ou par des éléments transparents en verre.



LE MUR-RIDEAU MONTÉ EN PANNEAU

Il est réalisé à l'aide de panneaux de grandes dimensions, hauts de plusieurs étages ou d'un étage et fixés à l'ossature du bâtiment ou à une ossature secondaire. Ils sont entièrement préfabriqués en usine, juxtaposés sur chantier et fixés par des attaches métalliques réglables dans les trois directions.

Les seuls éléments de construction sont ici les panneaux, qui assurent la fermeture, la transmission de leur propre poids et de la pression du vent à l'ossature. Ils sont autoportants.

Leur surface extérieure est fermée et dépourvue de joints. Les fenêtres sont ménagées dans la surface des panneaux ; les châssis des fenêtres sont solidaires des panneaux qui sont assemblés directement entre eux dans pièce intermédiaire.



VERRE EXTÉRIEUR AGRAFÉ OU ATTACHÉ

LE MUR-RIDEAU EN "VERRE STRUCTURAL"

La paroi est entièrement constituée par des lames de verre.

La liaison entre les panneaux vitrés est assurée par un simple joint en mastic adapté. Les déplacements relatifs des panneaux les uns par rapport aux autres doivent être infimes, sous peine d'ouvrir les joints ou de créer des contraintes tendant à briser l'élément vitré. C'est pourquoi les pièces en suspension et les assemblages sont conçus pour absorber tous les mouvements et les efforts entre le mur vitré et la structure porteuse. On distingue diverses techniques de fixation au vitrage.

• Le Verre Extérieur Agrafé ou Attaché ou VEA

Il est perforé et fixé directement sur une structure porteuse par l'intermédiaire d'attaches mécaniques métalliques ponctuelles reprises, ensuite, par des rotules articulées ou rigides.

• Le Verre Extérieur Collé ou VEC

Cette technique permet, par l'effacement de la structure métallique derrière les produits verriers, d'obtenir un aspect de façade uni, mettant en valeur les vitrages.

Les composants verriers sont collés à l'aide de mastics qui agissent avant tout comme élément de transfert des contraintes de ces composants vers leur support.

• Le verre extérieur parclosé

Le remplissage n'est pas collé sur le cadre, mais maintenu par une parclose visible autour du verre ou du panneau vitré.

Le matériau idéal pour l'âme isolante d'un panneau de façade doit avoir les qualités suivantes :

- faible conducteur de chaleur ;
- incombustible ;
- résistant à la corrosion ;
- non absorbant de l'humidité ;
- léger ;
- résistant au fléchissement et au tassement.

Les matériaux suivants sont généralement utilisés :

- les matériaux alvéolaires ;
- les fibres minérales (laine de roche) ;
- les isolants naturels (minéraux expansés et agglomérés) ;
- les granulats légers (matériaux composites).

Si le système de chauffage élimine généralement la condensation au droit et au-dessus de l'allège, le problème est plus difficile lorsqu'il s'agit d'éviter la condensation de la partie inaccessible du mur, devant les dalles de plancher.

Il peut y avoir dépôt d'humidité en ces endroits lorsque l'air ambiant y accède et il est très difficile de l'en empêcher. L'humidité peut se condenser sur l'attache et, si elle n'est pas évacuée, elle risque de s'écouler par gravité sur la face intérieure du mur en laissant des traces.

Il semble que l'on parvienne à réduire ces désordres en recouvrant la face interne des raidisseurs d'un isolant : mousse de polystyrène, par exemple.

COMPORTEMENT DU MUR-RIDEAU

• Performance thermique

- *Choix des vitrages* : on rencontre les mêmes critères de choix que pour une façade traditionnelle. Il faut être autant attentif à limiter les pertes thermiques en hiver par des vitrages isolants, qu'à limiter les apports solaires excessifs en été par une protection solaire efficace.
- *Isolation des parties opaques* : la structure classique de la partie isolée thermiquement comporte un parement extérieur, une âme qui est l'isolant thermique, un parement intérieur résistant aux efforts mécaniques. Les matériaux isolants doivent supporter leur propre charge en position verticale sans compression ni tassement.

• Comportement thermique

Les murs-rideaux n'apportent pas d'inertie thermique au bâtiment, ce qui peut être préjudiciable à un bon confort d'été.

Il faut donc compenser ce manque d'inertie par l'utilisation de matériaux lourds en plancher ou en paroi intérieure, ou la disposition de masses à l'intérieur du bâtiment.

• Étanchéité à l'air et à l'eau

Il est indispensable de concevoir et de réaliser soigneusement les joints d'un mur-rideau de façon à garantir la performance de l'enveloppe.

L'étanchéité des murs-rideaux est explicitée à la page 27.

• Condensation superficielle

Une qualité de l'isolation thermique d'une enveloppe réside dans sa continuité. Aux points de rencontre des poutrelles, traverses métalliques et boulons, ou aux bordures des éléments du mur-rideau, il existe un risque majeur de ponts thermiques et donc, de condensation superficielle. Tous les ponts thermiques entre parements métalliques extérieur et intérieur devront disparaître par la suppression totale de contact entre eux.

La problématique des ponts thermiques est abordée plus en détail à la page 45.

• Condensation interne

En matière de gestion du passage de la vapeur d'eau au travers de l'élément constitutif du mur-rideau, on rencontre trois modes de résolution :

- *l'élément étanche*, qui comporte des parois extérieure et intérieure étanches, un cadre intégré, imperméable à la vapeur d'eau et solidarisé de façon continue par une âme étanche ;
- *l'élément perméant*, qui comporte une paroi extérieure perméable à la vapeur d'eau et une paroi intérieure moins perméable ou étanche à la vapeur ;
- *l'élément ventilé ou respirant*, qui comporte derrière sa paroi extérieure une lame d'air en communication avec l'ambiance extérieure. La paroi intérieure peut être perméable ou étanche. Les deux parois sont solidarisées à l'isolant par l'intermédiaire d'un cadre intégré à l'élément.

LA PROBLÉMATIQUE DES PONTS THERMIQUES

L'influence des ponts thermiques est d'autant plus étendue et importante que la paroi dans laquelle ils sont localisés est isolée.

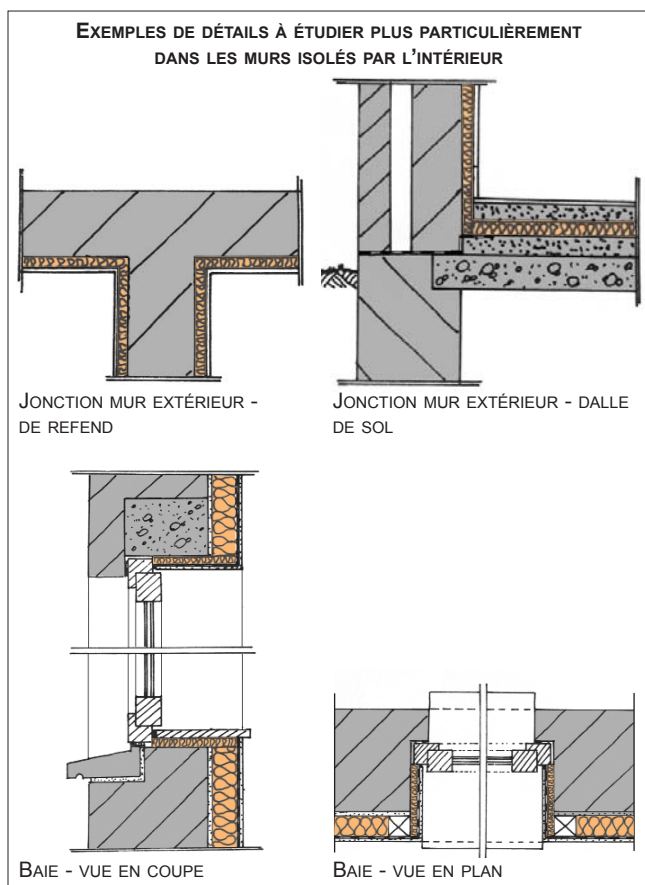
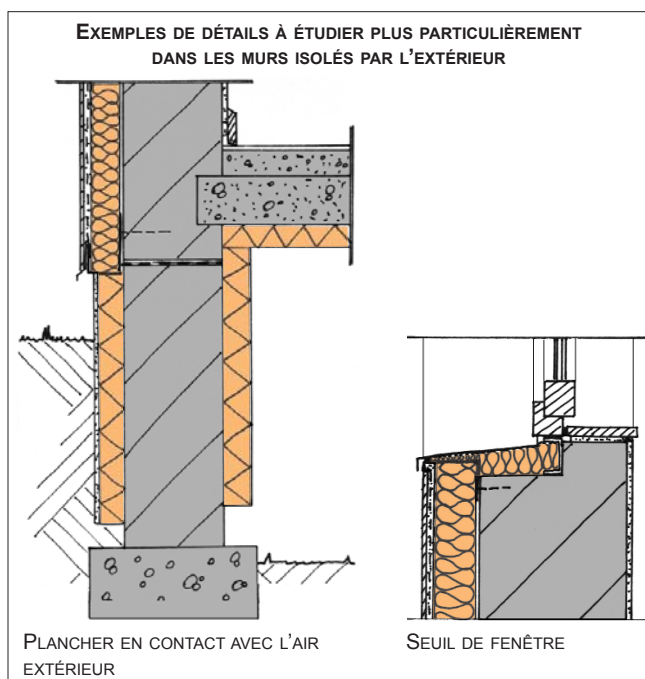
Un pont thermique, dans une paroi, résulte d'une hétérogénéité de l'isolation thermique située localement dans cette paroi, hétérogénéité qui est, le plus souvent, due à la présence d'une liaison structurelle, comme par exemple une colonne en métal ou en béton qui traverse la couche isolante, ou encore comme un linteau directement en contact avec le parement extérieur.

Les ponts thermiques sont la cause d'un accroissement local du flux thermique traversant la paroi.

L'effet des ponts thermiques se répercute sur les déperditions et, a fortiori, sur les températures internes de paroi qu'ils réduisent localement, températures internes devenant ainsi largement inférieures à la température moyenne générale de la paroi.

Puisque la vapeur d'eau contenue dans l'air d'un local a tendance à se condenser préférentiellement sur les zones où la température superficielle est la plus faible, plus exactement inférieure au point de rosée de la vapeur d'eau, les ponts thermiques génèrent, sur une paroi, des zones où la vapeur d'eau va donc se condenser, de préférence.

Lorsque la surface où la condensation se produit, comporte un milieu nourrissant pour les moisissures (comme l'est la colle de papier peint, par exemple), elle leur permet de s'y développer et de proliférer, constituant ainsi un milieu hygiéniquement peu recommandable pour la santé des occupants.



CAS DU MUR ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR

Avec une isolation par l'extérieur, la continuité de l'isolation thermique est, en général assurée ; seuls restent encore les ponts thermiques au droit des balcons lorsqu'ils ne sont pas spécifiquement traités. De plus, il arrive qu'aucune précaution n'ait été prise au niveau des baies ou que l'on n'ait pas assuré la continuité au niveau d'une construction en encorbellement.

Les figures ci-contre suggèrent une solution technique réduisant autant que possible les ponts thermiques les plus fréquemment rencontrés dans les murs isolés par l'extérieur.

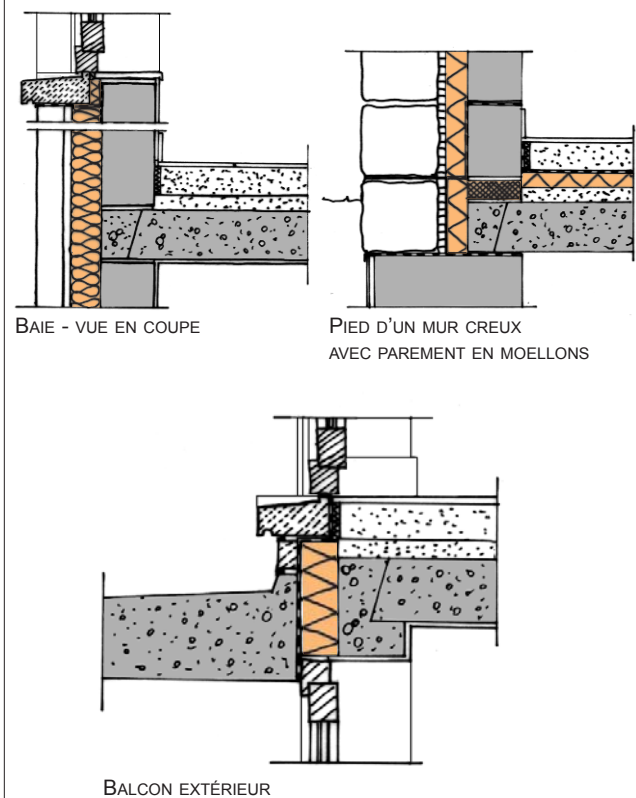
CAS DU MUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

L'isolation thermique de certains ouvrages de raccord est difficile à réaliser et nécessite un soin important. Ces endroits devront être vérifiés soigneusement un par un.

Les figures ci-contre suggèrent une solution technique réduisant autant que possible les ponts thermiques les plus fréquemment rencontrés dans les murs isolés par l'intérieur.

A côté des ponts thermiques "de conception", il existe aussi les ponts thermiques "d'exécution". La perforation de l'isolant pour placer un boîtier électrique, par exemple, peut en créer un.

EXEMPLES DE DÉTAILS À ÉTUDIER PLUS PARTICULIÈREMENT DANS LES MURS CREUX ISOLÉS



CAS D'UN MUR CREUX ISOLÉ

Les figures ci-dessous suggèrent une solution technique aux ponts thermiques les plus fréquemment rencontrés dans les murs creux isolés.

Pour plus de renseignements, le lecteur est invité à consulter le guide pratique "L'isolation thermique des murs creux - Guide pratique pour les architectes" [a].

CAS D'UNE PAROI OSSATURÉE ISOLÉE

Les structures traversantes peuvent provoquer des ponts thermiques.

Lorsqu'elles sont en bois, les caractéristiques de faible conductivité thermique de ce matériau permettent de limiter les ponts thermiques.

Lorsqu'elles sont métalliques, par contre, la discontinuité du matériau entre l'ossature et l'isolant thermique doit être prise en compte.

Une isolation continue recouvrant l'ossature côté extérieur ou intérieur permet d'éviter tout pont thermique.

Il faut être particulièrement attentif aux points de jonction entre les parois extérieures et avec les divers planchers.

Les détails ci-contre reprennent quelques exemples de points où la continuité de la zone d'isolation thermique est bien à mettre en place.

CAS DES MURS-RIDEAUX

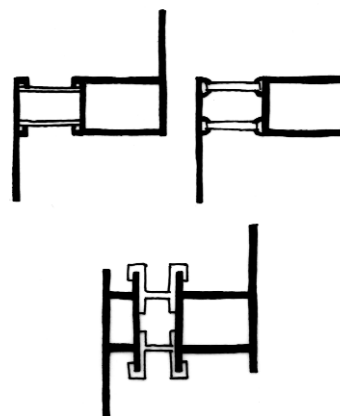
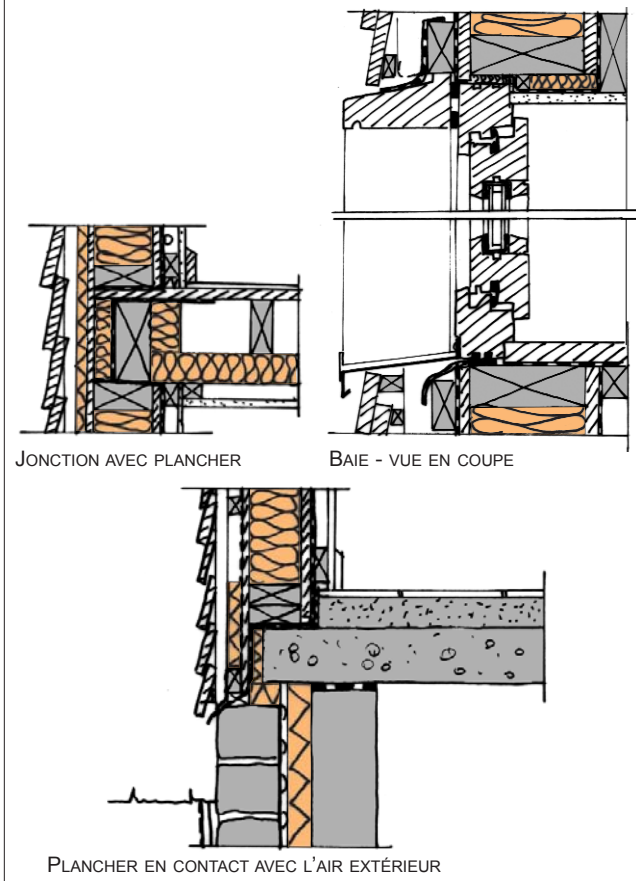
Aux points de rencontre des poutrelles, traverses métalliques et boulons, ou aux bordures des éléments du mur-rideau, il existe un risque majeur de ponts thermiques.

Ces ponts thermiques doivent disparaître par suppression totale de contact entre ces éléments fortement conducteurs de chaleur, aussi bien sur la bordure de l'élément du mur-rideau qu'à la jonction des divers profilés intérieurs.

Cette rupture de contact se fait par dédoublement des pièces métalliques et interposition entre elles d'un matériau isolant comme le liège, le néoprène, des matériaux de garniture en polyvinyle, des matériaux plastiques isolant en PVC et, plus récemment, en polyuréthane injecté sur place.

Les schémas ci-dessous illustrent le principe de ce dédoublement.

EXEMPLES DE DÉTAILS À ÉTUDIER PLUS PARTICULIÈREMENT DANS LES PAROIS OSSATURÉES ISOLÉES



ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENTS (4) ET DE FINITION (5)

Lorsque la zone d'équipements existe, elle est généralement intégrée à une autre zone (zone 2 ou 3 ou 5). Cet espace est réservé au passage des divers équipements : électricité, câblages divers, canalisations, etc.

La zone de finition peut :

- rester apparente ;
- être enduite de plafonnage ;
- être peinte : l'épaisseur pelliculaire de la couche de peinture rend négligeable sa résistance thermique. Quant à sa perméabilité à la vapeur d'eau, elle varie selon la nature de la peinture appliquée ;
- être tapissée : l'épaisseur minimale du papier peint rend sa résistance thermique négligeable. Sa résistivité à la vapeur d'eau reste faible, mais la peinture préalable à la pose l'augmente fortement.

Le tableau ci-dessous récapitule les propriétés apportées par la peau intérieure [a].

Peau intérieure	Résistance thermique	Résistance à la vapeur d'eau	Imperméabilité à l'air
Apparente	Nulle	Nulle	Nulle
Enduite	Négligeable	Négligeable ($\mu d = 0,1 \text{ m}$)	Efficace
Peinte	Négligeable	<p>Sebn la nature de la peinture appliquée :</p> <p>Ne jouent pas un rôle pare-vapeur déterminant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - peinture minérale : $\mu d = 0,02 \text{ m}$ - peinture au latex : $\mu d = 0,6 \text{ m}$ - peinture acrylique : $\mu d = 0,7 \text{ m}$ <p>Pourrait apporter la solution au problème de condensation rencontré dans certaines compositions de mur creux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - peinture à l'huile : μd appréciable ($= 2,4 \text{ m}$) 	Moyenne
Tapissée (surenduit peint au latex)	Négligeable	<p>Sebn la nature du papier peint appliqué sur une couche de base au latex :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ordinaire : $\mu d = 0,603 \text{ m}$ - textile : $\mu d = 0,645 \text{ m}$ - vinyl : $\mu d = 1,03 \text{ m}$ 	Moyenne

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

LE PARTI ARCHITECTURAL

LE CHOIX DE LA TYPOLOGIE DE FAÇADE

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT PROJET

EXEMPLE DE PRÉ-ÉTUDE DE DÉTAILS

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET

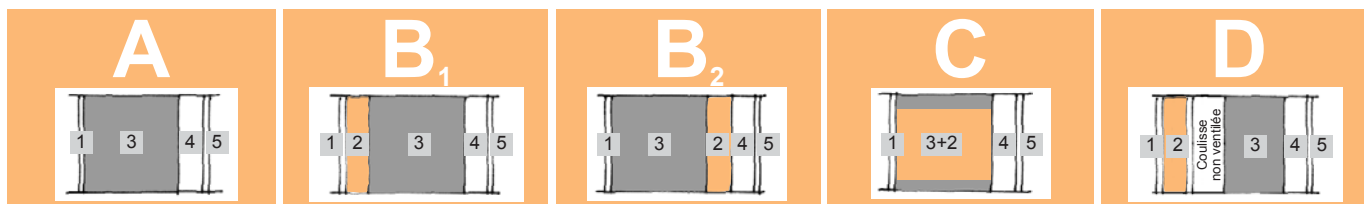
Le tableau ci-dessous donne une chronologie des choix que l'auteur de projet doit faire lors de la conception d'une façade verticale.

Cette chronologie concerne toutes les typologies de façade, A, B₁, B₂, C et D.

CRITÈRES DE CHOIX	CHRONOLOGIE DE CHOIX
<p><u>Le choix de la peau extérieure dépend :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• des prescriptions urbanistiques ;• de la perméabilité à la vapeur d'eau ;• du degré d'absorption de l'eau de précipitation ;• de la composition architecturale ;• des sollicitations climatiques ;• de l'étanchéité à l'eau et au vent. <p>p.24</p>	<p>CHOIX DE LA PEAU EXTÉRIEURE</p> <p>1</p>
<p><u>Le choix de la structure dépend :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• des charges à reprendre ;• de la composition architecturale (notamment les parements extérieurs et intérieurs) ;• de la compatibilité avec la composition de façade (fenestration) ;• du comportement hygrothermique ;• de la résistance thermique de la paroi ;• de l'étanchéité à l'air. <p>p.30</p>	<p>CHOIX DE LA STRUCTURE</p> <p>3</p>
<p><u>Le choix de l'isolant thermique dépend :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• du climat intérieur et extérieur ;• de la performance thermique ;• de la compatibilité avec la composition de façade ;• du comportement en présence d'humidité. <p>p.28</p>	<p>CHOIX DE L'ISOLATION THERMIQUE</p> <p>2</p>
<p><u>Le choix de la zone d'équipements et de la finition intérieure dépend :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• de l'aspect souhaité ;• de l'étanchéité à la vapeur d'eau et à l'air ;• de la performance acoustique ;• de l'entretien ;• de la résistance et de la réaction au feu. <p>p.46</p>	<p>CHOIX DE LA ZONE D'ÉQUIPEMENTS ET DE LA FINITION INTÉRIEURE</p> <p>4 5</p>

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

OBLIGATIONS / INCOMPATIBILITÉS



- Si la zone 1 est imperméable à la vapeur d'eau et qu'il n'y a pas de coulisse ventilée ou drainée, il faut un pare-vapeur côté intérieur.
- La zone 1 doit être étanche s'il n'y a pas de coulisse ventilée ou drainée.
- Si la zone 1 est perméable à l'air, il faut un enduit intérieur qui assure l'étanchéité à l'air.
- La peinture ne réalise pas une étanchéité.
- Les hydrofuges de surface n'assurent pas une étanchéité mais ils retardent la saturation.
- Les enduits sont étanches à l'eau et doivent être perméable à la vapeur d'eau. Ils nécessitent un entretien tous les 10-15 ans.
- Dans le cas d'un bardage, il faut évacuer l'eau au pied de la paroi.
- Une maçonnerie de parement n'offre pas une étanchéité à l'eau totale.

• Il faut des joints d'étanchéité performants.

- Seuls les blocs de béton cellulaire très légers avec une ép. ≥ 29 cm et dans un état sec, offrent une performance thermique satisfaisante.
- Les murs en moellons ne sont pas étanches aux pluies battantes.
- Les murs monolithiques récents doivent être revêtus d'une peau extérieure étanche.

- Le mur porteur doit être sec.
- Il faut une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascensionnelle.
- Attention : l'isolation thermique posée à l'intérieur soumet la structure aux mouvements thermiques.

- La structure est complétée par un contreventement.

- Les panneaux d'isolants doivent être posés de manière jointive.
- L'isolant doit être protégé de l'eau de pluie.
- Le polystyrène expansé EPS résiste mal au feu.
- La laine minérale LW et la laine de verre GW sont perméables à la vapeur d'eau et à l'air.
- Le verre cellulaire CG est étanche à la vapeur d'eau et à l'eau. Il est imperméable à l'air. Il nécessite un support régulier et rigide.

- Si l'isolant est perméable à l'air, le support doit être étanche à l'air.

- Il faut soit un isolant peu perméable à la vapeur d'eau (XPS, PUR, EPS, CG), soit un pare-vapeur côté intérieur, du côté chaud de l'isolant.

- Il faut un pare-vapeur continu du côté intérieur.
- L'isolant est semi-rigide ou insufflé.
- Il faut éviter toute convection d'air.
- Si structure métallique, il faut une coupure thermique (par exemple, isolation continue recouvrant l'ossature).

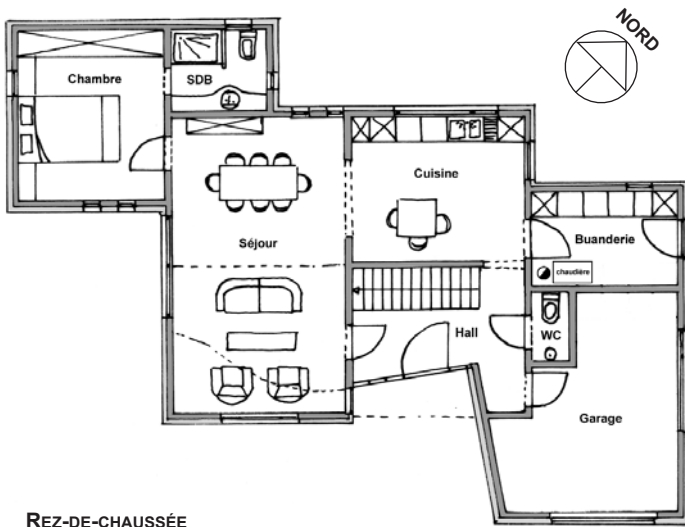
- Si paroi vitrée, il faut des vitrages performants thermiquement.
- L'isolant doit être :
 - incombustible ;
 - résistant à la corrosion ;
 - non absorbant d'humidité ;
 - léger ;
 - résistant au fléchissement et au tassement.

- Si la zone 1 est perméable à l'air, il faut un enduit intérieur pour assurer l'étanchéité à l'air.
- L'espace technique ne peut communiquer avec ceux des plafonds et des étages.
- Il ne faut pas encastrer des conduites ou finitions qui percent le pare-vapeur éventuel.

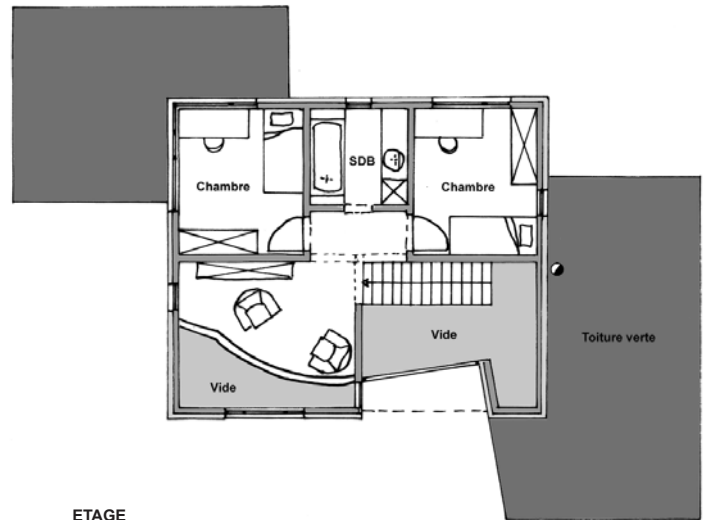
- La finition intérieure doit être étanche à l'air. Dans le cas contraire, il faut un pare-vapeur continu.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

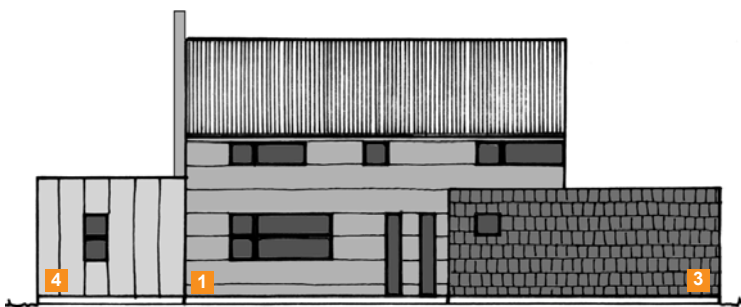
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU L'ESQUISSE



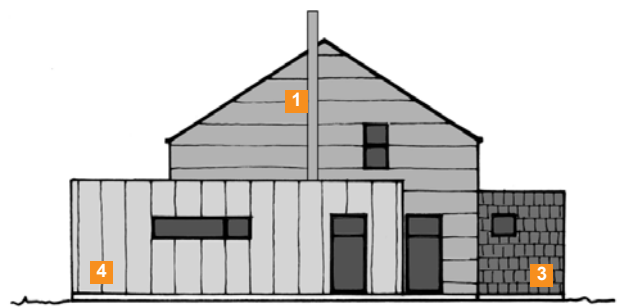
REZ-DE-CHAUSSÉE



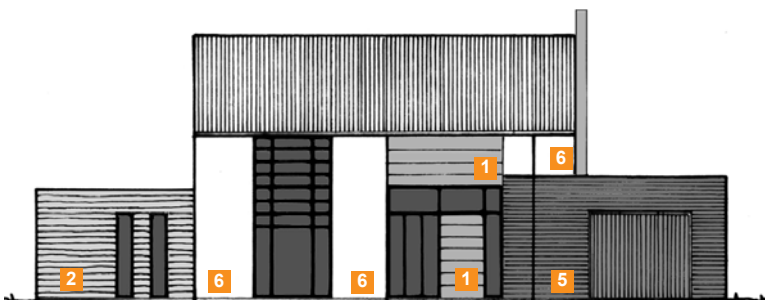
ETAGE



FAÇADE NORD-OUEST



FAÇADE NORD-EST



FAÇADE SUD-EST



FAÇADE SUD-OUEST

Ir. architecte : Véronique Salmon

Etude technique : Arcelor CSAC (Conception de Solution Acier pour la Construction)

L'exemple ci-contre traite d'une maison à ossature acier avec différents types de revêtement de façade.

Les autres typologies de façade ne seront pas abordées ici :

- le mur monolithique non isolé (typologie A) nécessite une grande épaisseur pour répondre aux exigences thermiques réglementaires et est, par conséquent, de moins en moins courant dans les nouvelles constructions ;
- les parois isolées par l'intérieur ou par l'extérieur (typologie B₁ et B₂) ont déjà été examinées dans le guide pratique "La rénovation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes" [e] ;
- les murs creux (typologie B₃) sont étudiés en détail dans le guide pratique "L'isolation thermique des murs creux - Guide pratique pour les architectes" [a] ;
- les parois ossaturées en bois (typologie C) font déjà l'objet d'un guide pratique "L'isolation thermique des façades à structure bois - Guide pratique pour les architectes" [f] ;
- les murs-rideaux (typologie D) sont peu courants dans les habitations unifamiliales.

LE PARTI ARCHITECTURAL

Soit à titre d'exemple, le programme architectural d'une maison unifamiliale, comprenant :

- au rez-de-chaussée : un hall, un séjour, une cuisine, une buanderie, un garage (inclus dans le volume protégé), une chambre et une salle de bains ;
- à l'étage : deux chambres, une salle de bains et un espace de détente en mezzanine sur le séjour.

Il s'agit d'une maison prototype à ossature acier qui comporte une grande variété de revêtements de façade.

L'assemblage de l'ossature a été réalisé par vis autoperceuses ou par boulons. Le montage a été réalisé en atelier et sur site.

Ce type de structure convient pour les bâtiments de faible hauteur, comportant au maximum deux étages.

La structure du bâtiment est donc réalisée par des profilés à froid en acier galvanisé ; l'habillage intérieur est constitué de plaques de plâtre. Les parements extérieurs sont les suivants (voir façades page précédente) :

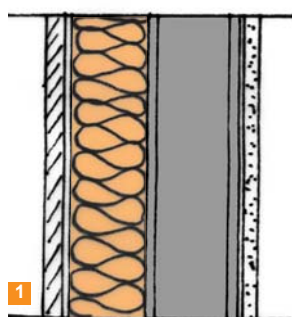
- un bardage rapporté en panneaux à base de résine renforcée par des fibres de bois **1** ;
- un bardage rapporté en planches fibrociment **2** ;
- un bardage rapporté en tuiles de terre cuite placées sur des panneaux sandwichs bois - PSE - bois **3** ;
- des panneaux sandwichs (mousse de polyuréthane entre 2 tôles) revêtus d'un enduit élastomère **4** ;
- un parement maçonné **5** ;
- des façades enduites constituées de panneaux de polystyrène collés sur des panneaux composés d'une armature en fibre de verre, d'un noyau en ciment et d'une autre armature en fibre de verre **6**.

Dans tous ces cas de parement, l'isolation thermique de l'enveloppe se fait par l'extérieur, ce qui supprime les ponts thermiques induits par l'ossature en acier.

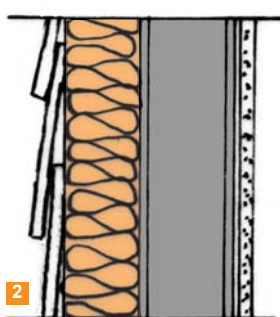
Les vitrages sont peu émissifs, les fondations ont été isolées verticalement et on retrouve de l'isolation thermique sous la dalle du rez-de-chaussée (voir détails pages suivantes).

Le niveau d'isolation thermique globale de l'habitation est de K44.

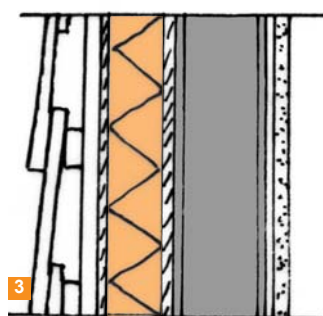
La ventilation est réalisée par un système simple flux hygro-réglable (système C selon la norme NBN D50-001). Afin d'éviter des problèmes de surchauffe en été, des stores et des réflecteurs solaires ont été intégrés aux fenêtres, tandis qu'un auvent protège les baies exposées au sud.



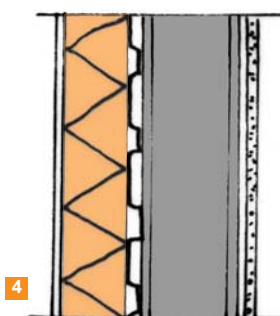
1
BARDAGE RAPPORTÉ EN PANNEAUX À BASE DE RÉSINE RENFORCÉE PAR DES FIBRES DE BOIS



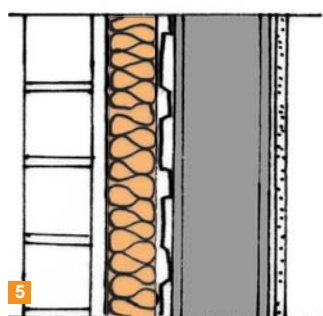
2
BARDAGE RAPPORTÉ EN PLANCHES DE FIBRE-CIMENT



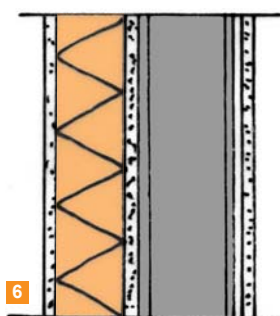
3
BARDAGE RAPPORTÉ EN TUILES DE TERRE CUITE PLACÉES SUR DES PANNEAUX SANDWICHES BOIS-PSE-BOIS



4
PANNEAUX SANDWICHES (MOUSSE DE POLYURÉTHANE ENTRE 2 TÔLES) REVÊTUS D'UN ENDUIT ÉLASTOMÈRE



5
PAREMENT MAÇONNÉ



6
FAÇADES ENDUITES CONSTITUÉES DE PANNEAUX DE POLYSTYRÈNE EXPANSÉ COLLÉS SUR DES PANNEAUX COMPOSÉS D'UN NOYAU EN CIMENT ENTRE DEUX ARMATURES EN FIBRE DE VERRE

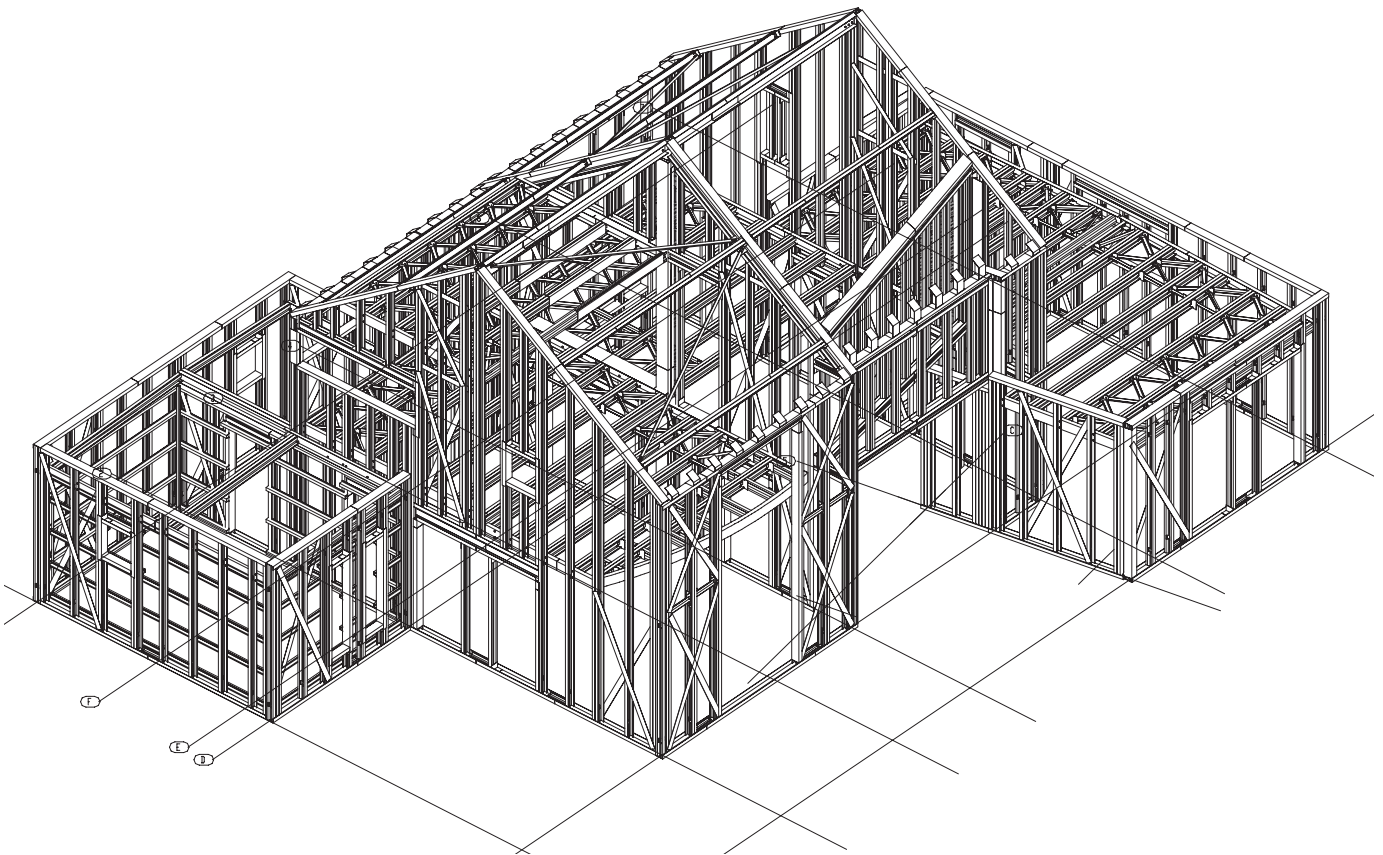
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

Ce type de construction présente comme avantages :

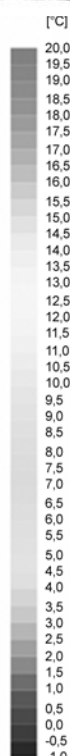
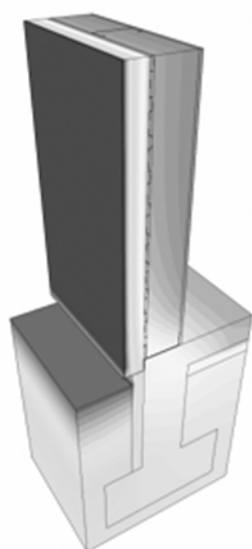
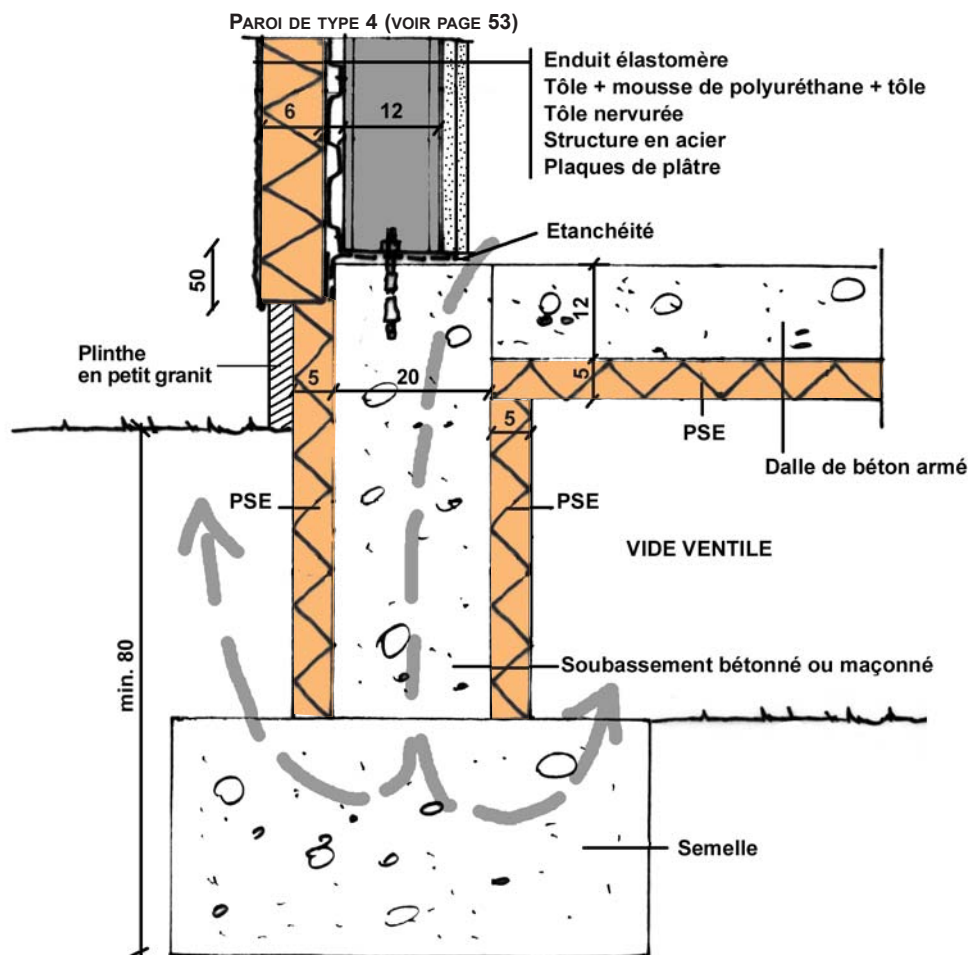
- une flexibilité de conception ;
- une modularité ;
- une construction en filière sèche ;
- une rapidité de construction ;
- un faible poids, ce qui réduit le coût des fondations et permet de convenir à des terrains à portance limitée ;
- une intégration aisée des réseaux techniques.

Par rapport à la problématique du développement durable, l'ossature acier limite les déchets sur chantier et ne nécessite pas de consommation d'eau. De plus, cette structure est entièrement démontable et recyclable.

La résistance au feu de l'enveloppe est assurée par l'association de plaques de plâtre en tant que finition intérieure.



DÉTAIL DU PIED DE MUR

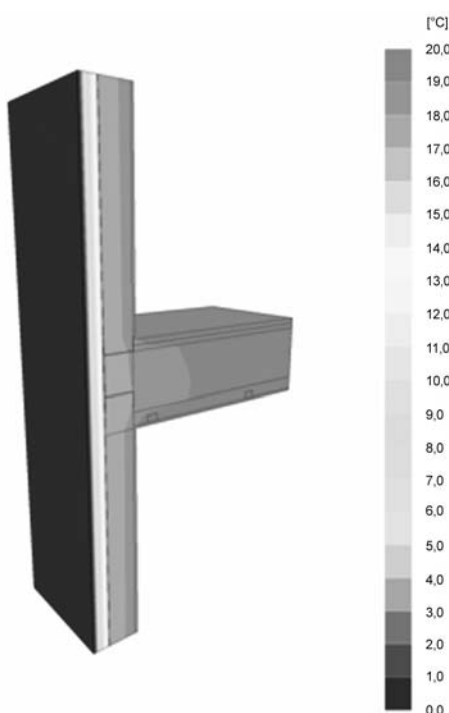
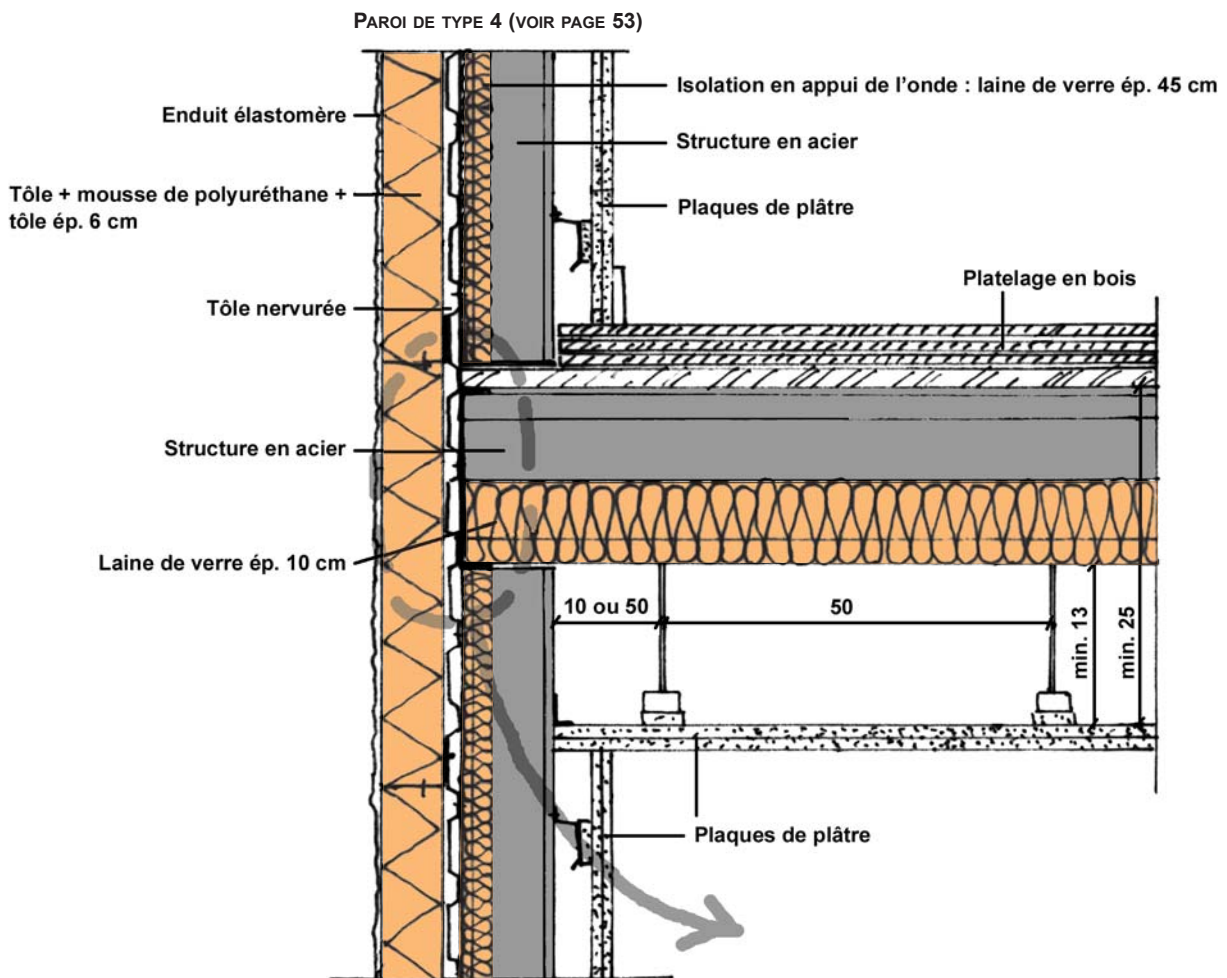


L'isolant placé extérieurement le long des murs de fondation et sur la face intérieure dans le vide ventilé réduit le pont thermique (à 0,49 w/mK) par les murs de fondation en allongeant considérablement le chemin du flux thermique entre les ambiances intérieure et extérieure.

Une étude particulière des ponts thermiques a été réalisée par l'architecte et l'équipe d'Arcelor CSAC, qui ont utilisé le logiciel Kobru (*).

(*) PHYSIBEL, KOBRU

DÉTAIL DE LA JONCTION FAÇADE-PLANCHER

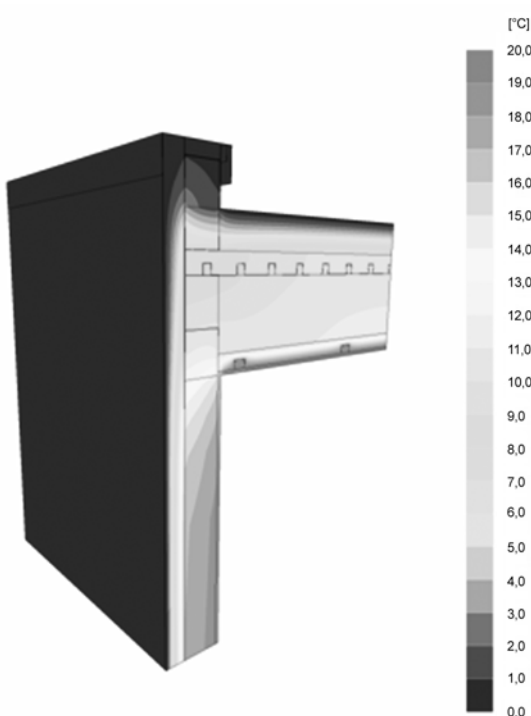
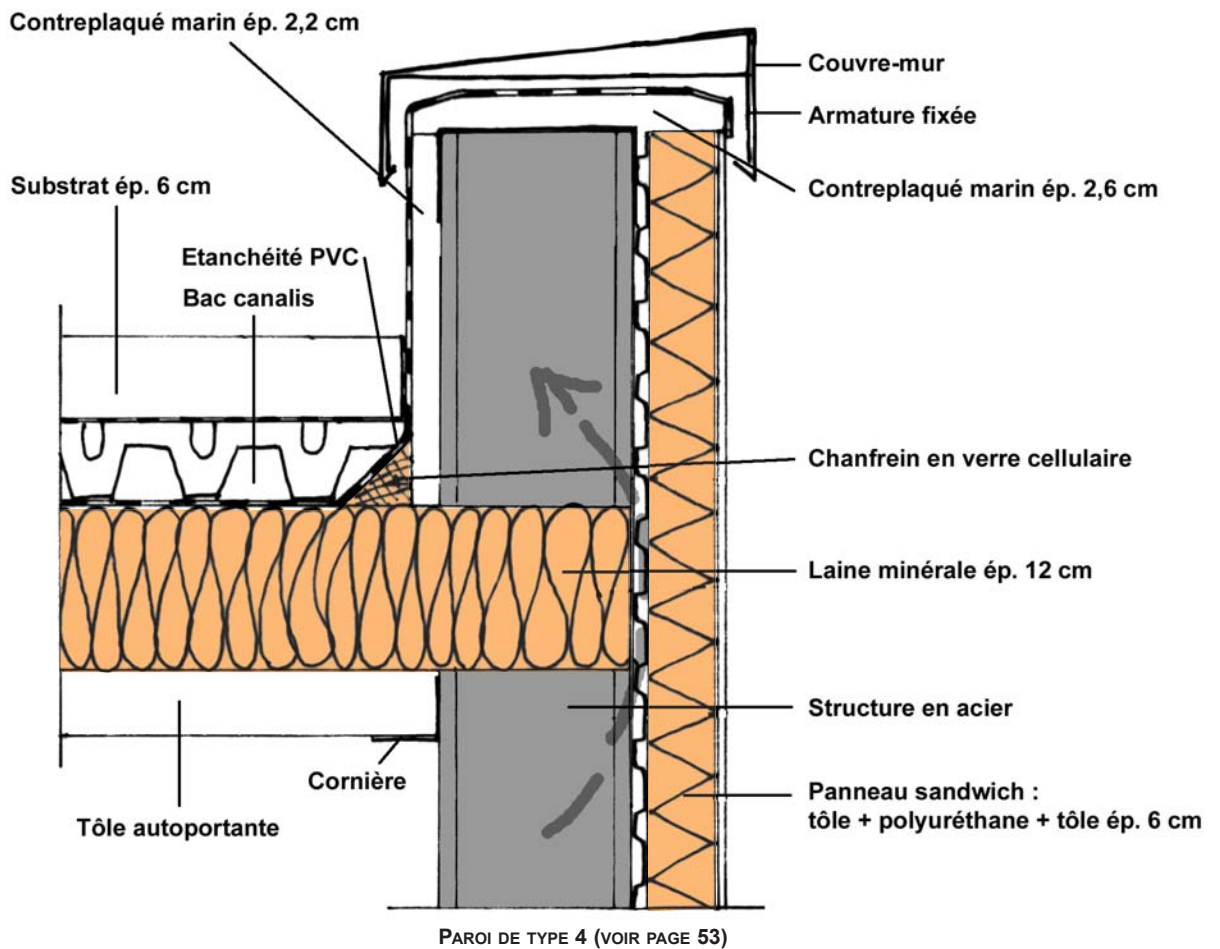


Etude particulière du "pont thermique", limité aux contacts entre les structures horizontale (de plancher) et verticale (du mur).

L'isolant au sein des panneaux de façade annule risque de pont thermique, puisqu'il est réduit à une valeur quasi négligeable de 0,15 W/mK.

(*) PHYSIBEL, KOBRU

DÉTAIL DE L'ACROTÈRE



Le pont thermique résultant de l'étude de détail est de 0,34 W/mK, valeur restant faible.

(*) PHYSIBEL, KOBRU

- [1] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, PLAN CONSTRUCTION ET ARCHITECTURE, "Panorama des techniques du bâtiment 1947 - 1997", Regard sur la science du bâtiment, CSTB, 1997.
- [2] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Isolation thermique des murs creux", Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 1998.
- [3] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, "Isolation thermique des murs pleins", Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 1998.
- [4] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, Magazine "Isolation acoustique des fenêtres (2)", 3^{ème} trimestre 1998.
- [5] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION NIT 210, "L'humidité dans les constructions. Particularités de l'humidité ascensionnelle", Décembre 1998.
- [6] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION NIT 215, "La toiture plate : composition - matériaux - réalisation - entretien", Mars 2000.
- [7] CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), CSTC, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, "Isolation thermique des murs creux - Guide pratique du maçon et du menuisier", Fonds de Formation professionnelle de la Construction, 1999.
- [8] CIFIUL, "La construction... Un aspect essentiel du développement durable", 2003.
- [9] DE HERDE A., "Le manuel du responsable énergie - L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le tertiaire", Ministère de la Région Wallonne (DGTRE) - UCL, 1992.
- [10] FONDS DE FORMATION PROFESSIONNELLE DE LA CONSTRUCTION, CIFIUL, "Méthodes de construction du gros-oeuvre - toitures plates et inclinées", 2000.
- [11] HANDEGORD G.-O., "La performance des murs extérieurs", Regard sur la science du bâtiment : "Murs extérieurs : causes et désordres", Canada, 1982.
- [12] INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, NBN S21-203 "Protection contre l'incendie dans les bâtiments - Réaction au feu des matériaux - Bâtiments élevés et bâtiments moyens", 1980.
- [13] INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, NBN B62-002 "Calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments", 1987.
- [14] INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, NBN EN 13501-1 "Classement au feu des produits et éléments de construction - Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu", 2002.
- [15] MONITEUR BELGE, "Annexes à l'AR du 19 décembre 1997 modifiant l'AR du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion auxquelles les bâtiments doivent satisfaire", Supplément au Moniteur Belge du 30 décembre 1997.
- [16] OLIVA J.-P., "L'isolation écologique. Conception. Matériaux. Mise en oeuvre", Terre Vivante, France, 2001.
- [17] PAULIN M., "Vocabulaire illustré de la construction", Guide technique, Le Moniteur, septembre 2003.
- [18] QUIROUETTE R. L., "Les murs-rideaux en verre-métal", Regard sur la science du bâtiment : "Murs extérieurs : causes et désordres", Canada, 1982.
- [19] ROUSSEAU M. Z., QUIROUETTE R. L., "Les murs en panneaux préfabriqués", Regard sur la science du bâtiment : "Murs extérieurs : causes et désordres", Canada, 1982.
- [20] SIMON F., "Technique de rénovation de l'habitat wallon", travail collectif - Direction : F. SIMON, UCL - Unité Architecture, Ministère de la Région Wallonne - DGATLP.
- [21] UCL, ARCHITECTURE ET CLIMAT, "Energie+ version 4 : réduire la consommation des bâtiments tertiaires. Un outil d'aide à la décision pour le Responsable Energie", UCL, 2004.
- [22] UNION BELGE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION, "Systèmes d'isolation thermique", Feuillet d'information 97/2, 1997.
- [23] UNION BELGE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION, "Murs creux isolés de façades en maçonnerie", Feuillet d'information 2002/1, 2002.

DANS LA MÊME COLLECTION :

- [a] SIMON F., HAUGLUSTAINE J.-M., "Isolation thermique des murs creux - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 1996.
- [b] SIMON F., HAUGLUSTAINE J.-M., "Isolation thermique de la toiture inclinée - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 1999.
- [c] HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., SIMON F., LIESSE S., "La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2001.
- [d] SIMON F., LIESSE S., HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., "La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2001.
- [e] HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., SIMON F., LIESSE S., "La rénovation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2002.
- [f] SIMON F., LIESSE S., HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., "L'isolation thermique des façades à structure bois - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2003.
- [g] HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., SIMON F., LIESSE S., "L'isolation thermique de la toiture plate - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2004.
- [h] HAUGLUSTAINE J.-M., BALTUS C., SIMON F., LIESSE S., "La conception globale de l'enveloppe et l'énergie - Guide pratique pour les architectes", UCL - ULg, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2005.

PRÉFACE	3		
ENJEUX			
LE CADRE DE LA BROCHURE	5		
Le confort et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie URE	5		
<i>Le bilan thermique de l'homme dans son environnement</i>			
<i>La température de confort</i>			
LES PRINCIPALES SOLlicitATIONS DE L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE	6		
Le contrôle du climat	7		
<i>L'eau</i>			
<i>Le climat intérieur et l'humidité relative</i>			
<i>L'air</i>			
<i>L'isolation thermique</i>			
<i>L'inertie thermique</i>			
<i>Le rayonnement solaire et la température de surface interne des parois</i>			
Le contrôle de l'environnement	10		
<i>Le bruit</i>			
<i>La lumière et les vues</i>			
<i>Les accès</i>			
<i>La sécurité à l'effraction</i>			
<i>La sécurité au feu</i>			
La fonction structurale	11		
La fonction visuelle	11		
LA PARTICIPATION DES FAÇADES DANS LE BILAN THERMIQUE D'UN LOGEMENT	12		
LES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES			
HISTORIQUE	14		
LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE	16		
Zone 1 : zone de la peau extérieure	16		
Zones 2 et 3 : zone de l'isolation thermique (2) et zone de la structure (3)	16		
Zones 4 et 5 : zone d'équipements (4) et zone de finition (5)	17		
LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE	18		
LES QUATRE GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE	20		
Tableaux récapitulatifs du comportement hygrothermique des façades	21		
<i>Parois avec une peau extérieure solidaire sans coulisse</i>			
<i>Parois avec une peau extérieure indépendante avec coulisse ventilée ou drainée</i>			
LES TECHNOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES			
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE	24		
L'étanchéité à l'eau et à l'air	24		
Les peaux extérieures intégrées ou confondues avec la zone 3	24		
<i>Le mur plein traditionnel</i>			
<i>Le mur monolithique récent, maçonné ou préfabriqué</i>			
<i>Le mur plein isolé par l'intérieur</i>			
Les peaux "solidaires" ou "adhérentes" sans coulisse	25		
<i>La mise en peinture</i>			
<i>L'hydrofugation</i>			
<i>Les enduits extérieurs</i>			
<i>Les panneaux étanches</i>			
		Les peaux extérieures "indépendantes" ou "non adhérentes", créant de facto une coulisse	26
		<i>Les peaux extérieures lourdes - le mur creux ou le panneau creux</i>	
		<i>Les peaux extérieures "légères"</i>	
		ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3)	28
		Les types d'isolants thermiques et de pare-vapeur	28
		<i>Les isolants thermiques</i>	
		<i>Les pare-vapeur</i>	
		Les types de structure	31
		<i>Les parois pleines portantes (type A et B)</i>	
		<i>Les parois à ossature (type C)</i>	
		Les parois à structure massive sans isolation thermique (type A)	32
		<i>Le mur plein traditionnel</i>	
		<i>Le mur monolithique récent</i>	
		L'isolation thermique par l'extérieur (type B ₁)	34
		<i>Les différents systèmes</i>	
		<i>Comportement d'un mur isolé par l'extérieur</i>	
		L'isolation thermique par l'intérieur (type B ₂)	38
		<i>Les différents systèmes</i>	
		<i>Comportement d'un mur isolé par l'intérieur</i>	
		L'isolation thermique intégrée à la structure (type C)	41
		<i>Les différents systèmes</i>	
		<i>Comportement d'une paroi ossaturée isolée</i>	
		Les murs-rideaux (type D)	43
		<i>Les différents systèmes</i>	
		<i>Comportement d'un mur-rideau</i>	
		La problématique des ponts thermique	45
		<i>Cas du mur isolé par l'extérieur</i>	
		<i>Cas du mur isolé par l'intérieur</i>	
		<i>Cas du mur creux isolé</i>	
		<i>Cas d'une paroi ossaturée isolée</i>	
		<i>Cas des murs-rideaux</i>	
		ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENTS (4) ET DE FINITION (5)	47
		LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES	
		LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	50
		ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE	52
		Le parti architectural	53
		ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	55
		Exemple de pré-étude de détails	55
		<i>Détail du pied de mur</i>	
		<i>Détail de la jonction façade - plancher</i>	
		<i>Détail de l'acrotère</i>	
		BIBLIOGRAPHIE	58
		TABLE DES MATIÈRES	59
		ANNEXES	
		ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX	
		ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES	

ANNEXE 1

CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

LES PARE-VAPEUR

DONNÉES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

LES MATÉRIAUX ISOLANTS

LES PARE-VAPEUR

La nécessité d'un écran pare-vapeur et le type à utiliser dépendent de plusieurs facteurs, dont le climat extérieur et intérieur, les caractéristiques des matériaux composant la façade, leur comportement en présence d'humidité, etc.

On distingue quatre classes de climat intérieur en fonction de la pression de vapeur à l'intérieur des locaux (voir tableau page 8).

La performance d'étanchéité à la vapeur d'un écran pare-vapeur est représentée par sa valeur μd (épaisseur équivalente de diffusion) [m] où :

- μ est un coefficient sans dimension qui indique la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau qu'oppose un matériau d'une épaisseur donnée, comparée à celle d'une couche d'air immobile de même épaisseur. Les valeurs μ sont étroitement liées à la nature des matériaux ;
- d est l'épaisseur du matériau exprimée en mètre.

La valeur μd qualifie la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau.

On distingue quatre classes de pare-vapeur reprises dans le tableau de la page suivante qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion μd .

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

CLASSE	MATERIAU	REMARQUES
E1 $2 \text{ m} \leq \mu d < 5 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> • papier kraft revêtu d'une feuille d'aluminium ; • carton plâtre revêtu d'une feuille d'aluminium ; • papier bituminé. 	
E2 $5 \text{ m} \leq \mu d < 25 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> • feuilles de matière synthétique (PE ou PVC d'ép. > 0,1 mm) ; • membranes bitumineuses avec joints fermés mécaniquement (chevauchement et agrafage, par ex.). 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E3 $25 \text{ m} \leq \mu d < 200 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> • bitumes armés avec voile de verre et joints collés ou soudés. 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E4 $200 \text{ m} \leq \mu d$	<ul style="list-style-type: none"> • bitumes armés avec métal et joints collés ou soudés (ALU 3) ; • pare-vapeur multicouches en bitume polymère (d'ép. $\geq 8 \text{ mm}$). 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction. La classe de pare-vapeur E4 nécessite une mise en œuvre sur un support continu. Les perforations ne sont pas admises.

MATÉRIAUX ENTRANT DANS LA COMPOSITION DES PARE-VAPEUR ET LEUR ÉPAISSEUR ÉQUIVALENTE DE DIFFUSION

MATERIAUX PARE-VAPEUR		$\mu \times d$ [m]
Papier peint	ordinaire ép. $\pm 0,15 \text{ mm}$	0,03
	textile ép. $\pm 1 \text{ mm}$	0,045
	vinyl ép. $\pm 1 \text{ mm}$	0,43
Papier bitume	sur une face	0,7
Papier kraft	bitumé	5 (E2)
	aluminium	5 (E2)
Plaques de plâtre	enrobé avec une feuille aluminium ép. 9 microns	5 (E2)
	enrobé avec une feuille aluminium ép. 15 microns	15 (E2)
	enrobé avec une feuille aluminium ép. 30 microns	35 (E2)
Membranes	en PVC	40 (E3)
	en polyisobuthylène	520 (E4)
Peintures	minérales	0,02
	au latex	0,6
	acrylique	0,7
	à l'huile	2,40 (E1)
	vernis d'adhérence	1,35
Feuilles	de polyéthylène armé micro-perforé	1,7
	de polyéthylène ép. $\pm 0,2 \text{ mm}$	7,5 (E2)
	de polyéthylène ép. $\pm 0,4 \text{ mm}$	35 (E3)
	de polypropylène revêtue d'une feuille de polyéthylène	40 (E3)
	en aluminium plastifiées sur 1 face	20 (E2)
	en aluminium plastifiées sur 2 faces	100 (E3)
	en aluminium armées	4,3 (E1)
Bitume	armé voile de verre ép. $\pm 0,3 \text{ mm}$	30 (E3)
	armé aluminium	430 (E4)
	armé polyester APP (résines polypropyléniques)	120 (E3)
	armé polyester SBS	
	(élastomère-caoutchouc)	750 (E4)

LES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX PARE-VAPEUR

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

DONNÉES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

MATERIAUX DE CONSTRUCTION	ρ [daN/m ³]	λ_{int} [W/mK]	λ_{ext} [W/mK]	R_{tulle} [m ² K/W]	μ [hum · sec]	$\mu \cdot d$ [m]
Brique de parement en terre cuite	1.800	0,90	1,10		9 · 14	
Brique pleine de terre cuite cellulaire	± 1.000	0,37	0,47		8	
Brique pleine de terre cuite cellulaire allégée	< 1.000	0,24	0,30		8	
Brique silico-calcaire	> 1.800	0,49	0,84		15 · 25	
Moëllon de calcaire	> 2.200	1,40	1,69		26 · 32	
Moëllon de grès	± 2.500	3,00	5,00		15	
Pierre naturelle (Petit Granit / Calcaire / Marbres)	± 2.700	2,91	3,49		∞	
Bloc plein de béton cellulaire (léger) (*)	≤ 500	0,14	(**)		6 · 10	
Bloc plein de béton cellulaire (porteur) (*)	≤ 600	0,18	0,29		6 · 10	
Bloc plein de béton d'argile expansée	900 · 1.200	0,40	0,62		5 · 6,5	
Bloc plein de béton lourd	> 1.800	1,30	1,70		13	
Bloc creux de béton d'argile expansée (Ep. 14 cm)	< 1.200			0,30		0,90
Bloc creux de béton d'argile expansée (Ep. 19 cm)	< 1.200			0,35		1,00
Bloc creux de béton d'argile expansée (Ep. 29 cm)	< 1.200			0,45		1,30
Bloc creux de béton lourd (Ep. 14 cm)	> 1.200			0,11		2,00
Bloc creux de béton lourd (Ep. 19 cm)	> 1.200			0,14		2,70
Bloc creux de béton lourd (Ep. 29 cm)	> 1.200			0,20		3,90
Bloc creux de béton lourd (Ep. 39 cm)	> 1.200			0,26		5,10
Crépi de ciment	1.900	0,93	1,50		15 · 41	
Verre	2.500	1,00	1,00		∞	
Brique de verre (Ep. 8 / 10 cm)	2.500			0,15		∞
Bois feuillus (Chêne, Merbau, Afzélia)	700 · 800	0,17	0,19		37 · 370	
Bois feuillus (Meranti, Teck)	550 · 650	0,13	0,15		23 · 185	
Bois résineux (Sapin, Epicéa)	500 · 600	0,12	0,13		18 · 120	
Panneau de fibres de bois agglomérées au ciment	380 · 560	0,080				3,7 · 10
Ardoise naturelle	< 2.700	2,10	2,10		> 600	
Ardoise ou plaque ondulée de fibro-ciment	1.400 · 1.900	0,35	0,50		37 · 150	
Tuile de béton	2.200			0,01		0,65
Tuile de terre cuite	1.600			0,01		0,27
Zinc-Cuivre-Titane	7.000	113	113		∞	
Bitume polymère armé non tissé polyester	1.000	0,20	0,20		∞	
Feutre bitumé	1.100	0,23	0,23			100 · 1.000
Panneaux de bois multipli - Multiplex	600	0,14	0,15		40 · 100	
Plaque cellulosique - fibro-ciment	1.450			0,02		0,22
Hourdis creux de béton lourd (Ep. 12 à 15 cm)	1.500			0,14		2,70
Hourdis creux de béton lourd (Ep. 20 cm)	1.500			0,17		3,30
Hourdis creux de béton d'argile expansée (Ep. 12 à 15 cm)	1.100			0,20		0,60
Hourdis creux de terre cuite (Ep. 12 cm)	1.100			0,19		2,20
Béton - Béton armé	2.400	1,70	2,20		13	
Chape	1.500 · 1.800	0,84	1,18		10	
Enduit de plafonnage	1.300	0,52			6 · 10	
Plaque de plâtre enrobé (Ep. 9,5 /12,5 mm)	1.300			0,05		0,05 · 0,11
Bloc de plâtre (Ep. 50/60/70/80/100 mm)	950 · 1.250	0,50			6 · 10	
Linoléum	1.200	0,19	0,19		1.800	
Tapis plain	100			0,12		2,50
Carreau de PVC	1.200	0,19	0,19		1.470	
Carreau de terre cuite	1.700	0,81	1,00		9 · 14	
Carreau de céramique	2.000	1,20	1,30		150 · 300	

MATERIAUX ISOLANTS	ρ [daN/m ³]	$\lambda_{pratique}$ [W/mK]	λ_d [W/mK]		$\lambda_{normalisé}$ [W/mK]	μ [hum · sec]
			d_e	a		
Mousse de polyuréthane	20 · 40	0,028	0,024	0,029	0,035	10 · 100
Polystyrène extrudé	25 · 35	0,035	0,027	0,034	0,040	150 · 300
Polystyrène expansé	15 · 30	0,040	0,033	0,040	0,045	15 · 60
Laine minérale	20 · 90	0,040	0,032	0,041	0,045	1,2 · 1,3
Mousse d'urée formaldéhyde - Mousse phénolique	8 · 20	0,040				1,5 · 3
Liège	< 100	0,045				4,5 · 29
Verre cellulaire (en plaques)	120 · 180	0,045	0,040	0,048	0,055	∞
Perlite expansée pure	50 · 80	0,046				5 · 7
Vermiculite expansée pure	< 100	0,058				5 · 7

où $\lambda_{pratique}$ = valeurs utilisées dans ce guide

λ_d = valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG

$\lambda_{normalisé}$ = valeurs reprises à l'addendum 1 de la norme NBN B62-002

En ce qui concerne les matériaux isolants (dont $\lambda \leq 0,065$ W/mK), les valeurs λ utilisées dans cet ouvrage, dans le seul but d'illustrer la méthodologie proposée, sont celles qui étaient en vigueur au 1/01/96.

Au 1/01/98, elles restent comprises dans les intervalles des valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG ; elles correspondent à la limite supérieure de ces valeurs certifiées.

MATERIAUX PARE-VAPEUR	$\mu \cdot d$ [m]	MATERIAUX PARE-VAPEUR (suite)	$\mu \cdot d$ [m]
Peinture minérale	0,02	Papier kraft bitumé ou papier kraft aluminium	5,0
Papier peint ordinaire (Ep. ± 0,15 mm)	0,03	Feuille polyéthylène (Ep. ± 0,2 mm)	7,5
Papier peint textile (Ep. ± 1 mm)	0,045	Feuille aluminium plastifié sur 1 face	18
Papier peint vinyl (Ep. ± 0,2 mm)	0,43	Membrane PVC	40
Peinture au latex	0,6		
Peinture acrylique	0,7	Bitume armé polyester APP (Résines polypropyléniques)	120
Papier bitumé sur une face	0,7		
Vernis d'adhérence	1,35	Feuille aluminium plastifié sur 2 faces	160
Feuille polyéthylène armée micro-perforée	1,7	Bitume armé voile de verre	216
Peinture à l'huile	2,4	Bitume armé aluminium	432
Feuille aluminium armé	4,3	Bitume armé polyester SBS (Elastomère-Caoutchouc)	750
		Membrane polyisobuthylène	520

(*) Bloc plein de béton cellulaire : valeur λ_{ui} et λ_{ue} reprises à l'addendum à la norme NBN B62-002 pour les matériaux certifiés.

(**) Le même addendum ne recommande pas l'exposition directe du bloc de béton cellulaire de masse volumique ≤ 500 kg/m³, aux conditions climatologiques extérieures.

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

LES MATÉRIAUX ISOLANTS

	ρ [daN/m ³]	$\lambda_{\text{pratique}}$ [W/mK]	λ_d [W/mK]		$\lambda_{\text{normalisé}}$ [W/mK]
			de	à	
D'origine synthétique					
• les polystyrènes					
• extrudés (PSE)	25 • 55	0,035	0,027	0,034	0,04
• expansés (PS)	20 (15 • 30)	0,04	0,033	0,04	0,045
• les polyuréthanes (PUR ou polyisocyanurate)	30 (20 • 40)	0,028	0,024	0,029	0,035
• en panneaux	40	0,025	-	-	-
• en mousse	30	0,03	-	-	-
• les mousses urée-formol (formaldéhyde), phénoliques, et de polychlorure de vinyle	8 • 20	0,04	-	-	-
• les polyesters	25	0,035	-	-	-
D'origine minérale					
• les laines minérales (LM)	20 • 40 (90)	0,04	0,032	0,041	0,045
• laine de verre	25	0,035	0,035	0,04	-
• laine de roche	40	0,04	0,037	0,04	-
• le verre cellulaire (en plaque) (MV)	(100) 120•180	0,045	0,04	0,048	0,055
• la perlite expansée pure	50 • 175	0,046	0,05	0,055	-
• la vermiculite expansée pure	75 • 130	0,058	-	-	0,082
D'origine végétale					
• le bois feutré en panneaux					
• "mous" (ép.: 20 à 100 mm)	env. 160	env. 0.042	-	-	-
• "mi-durs" bouvetés ou non (ép.: 18 à 24 mm)	env. 270	env. 0.070	-	-	-
• la laine de cellulose					
• en vrac (à projeter ou à insuffler)	35 • 50	0,045	-	-	-
• en panneaux isolants texturés	70 • 100	0,04	-	-	-
• le liège expansé					
• en vrac / en granules pour bétons allégés	18	0,045	0,04	0,045	-
• aggloméré en panneaux	80 • 120	-	-	-	-
• le chanvre ou "laine" de chanvre (plusieurs présentations et utilisations)	25 • 210	-	-	-	-
• le lin (plusieurs présentations et utilisations)					
• en vrac, rouleaux, panneaux semi-rigides,...	18 • 35	0,045	-	-	-
• en panneaux agglomérés	400 • 500	-	-	-	-
• la "laine" de coco (rouleaux / panneaux semi-rigides)	20 • 50	-	-	-	-
• la "laine" de coton (rouleaux / vrac/panneaux)	20 • 30	-	-	-	-
• les roseaux (panneaux)	env. 100	0,056	-	-	-
D'origine animale					
• la laine de mouton	10 • 30	-	-	-	-
Les autres "non commercialisés" (pour info : pas de valeur)					
• à base de fibres végétales et/ ou de produits animaux (terre crue, paille, foin, fougères, lin, oils, chanvre, crins, lait, urines, sang ou excéments d'animaux, etc).	-	-	-	-	-
• les copeaux et sous-produits des industries du bois,	-	-	-	-	-
• les pailles diverses et résidus de récoltes,	-	-	-	-	-
• les "laines" potentielles (provenant de paille de lavande non distillée, les cannes de Provence, les produits de débroussaillage et de taille).	-	-	-	-	-

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

λ_{doc} [W/mK]		μ [hum • s]	μ_{doc} [hum • s]	Origine	Réaction au feu
de	à				
-	-	150 • 300	-	-	combustible
<u>0,028</u>	<u>0,035</u>	60	-	-	combustible
-	-	30	-	-	-
-	-	-	-	-	combustible
-	-	-	-	-	combustible
-	-	1,5 • 3	-	-	combustible
-	-	-	-	-	combustible
-	-	1,2 • 1,3	-	-	-
-	-	-	1,0 à 1,2	-	non combustible
-	-	-	1,0 à 1,5	-	non combustible
0,035	-	infini	-	-	non combustible
0,045	0,05	5 • 7	-	-	non combustible
0,06	0,08	5 • 7	-	-	non combustible
-	-	-	3 à 4	<u>Défilage de chutes de</u>	difficilement
-	-	-	3 à 4	<u>bois résineux</u>	combustible
<u>0,035</u>	<u>0,04</u>	-	1 à 2	<u>Journaux, chutes de</u>	auto-extinguible
-	-	-	1	<u>papier blanc et</u>	(agents ignifuges)
-	-	-	-	<u>d'imprimerie</u>	-
-	-	4,5 • 29	20 à 22	-	difficilement
<u>0,032</u>	<u>0,045</u>	-	5 à 30	-	combustible
<u>0,039</u>	<u>0,08</u>	-	1 à 2	<u>Chênevotte du chanvre</u>	difficilement
-	-	-	-	<u>défilée en paillettes</u>	inflammable
<u>0,037</u>	<u>0,045</u>	-	1 à 2	-	difficilement
0,065	0,09	-	-	-	inflammable
<u>0,047</u>	<u>0,05</u>	-	1 à 2	<u>Bourre entourant le</u>	ignifugée au
-	-	-	-	<u>péricare des noix de coco</u>	sel de bore
<u>0,04</u>	-	-	1 à 2	<u>Fibres cadrées et</u>	pas de déga-
-	-	-	1 à 1,5	<u>ignifugées du sel de bore</u>	gement toxique
-	-	-	-	-	-
<u>0,035</u>	<u>0,045</u>	-	1 à 2	<u>Laine tondue + traitement</u>	pas de déga-
-	-	-	-	<u>insecticide et ignifuge</u>	gement toxique
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

LÉGENDE

- ρ [daN/m³] = densité
- $\lambda_{pratique}$ [W/mK] = valeurs utilisées dans ce guide
- λ_d [W/mK] = valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG
- λ_{doc} [W/mK] = valeurs non certifiées par un agrément technique mais reprises dans l'ouvrage [a]
- $\lambda_{normalisé}$ [W/mK] = valeurs reprises dans l'addendum 1 de la norme NBN B62-002
- μ [-] = facteur de diffusion de la vapeur d'eau

NB : les valeurs soulignées sont celles reprises de l'ouvrage [16] de la bibliographie.

COMPORTEMENT AU FEU

En ce qui concerne les matériaux isolants, les valeurs λ utilisées dans cet ouvrage, dans le seul but d'illustrer la méthodologie proposée, sont celles qui étaient en vigueur au 1^{er} janvier 1996.

Au 1^{er} janvier 2003, elles restent comprises dans les intervalles des valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG ; elles correspondent à la limite supérieure de ces

ANNEXE 2

LA SÉCURITÉ AU FEU

DES FAÇADES VERTICALES

GÉNÉRALITÉS ET NORMES DE BASE

LES NORMES DE BASE

LES MURS-RIDEAUX

LES EUROCLASSES DE RÉACTION AU FEU

La classification de la réaction au feu des produits de construction a fait l'objet d'une décision de la Communauté européenne et est décrite en détail dans la norme NBN EN 13501-1 "Classement au feu des produits et éléments de construction - Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu" [14].

Cette norme établit le classement en deux tableaux distincts : le premier s'applique à l'ensemble des produits de construction, à l'exception des revêtements de sol, qui sont traités dans le second tableau.

Sept classes de réaction au feu ont été définies : A1, A2, B, C, D, E et F, auxquelles viennent s'adjoindre un indice "FL" (floorings) pour les revêtements de sol (par exemple, C_{FL}).

Outre les sept classes de réaction au feu, quelques classes additionnelles ont été prévues pour préciser les aspects suivants :

- le dégagement de fumée (classe s) :
 - pour les matériaux de construction autres que les revêtements de sol : s1, s2 et s3 ;
 - pour les revêtements de sol : s1 et s2 ;
- les gouttelettes et/ou débris enflammés (classe d) pour les matériaux autres que revêtements de sol : d0, d1 et d2.

Si l'on tient compte des sept classes de base et des six classes additionnelles, on arrive à environ 51 combinaisons envisageables selon la norme NBN EN 13501-1.

GÉNÉRALITÉS ET NORMES DE BASE

La réaction au feu d'un matériau de construction est l'ensemble de ses propriétés considérées en relation avec la naissance et le développement d'un incendie.

Le maître de l'ouvrage doit prendre un maximum de précaution contre les risques d'incendie. Dans certains cas, ces précautions sont obligatoires.

LES NORMES DE BASE

Les normes de base en matière de prévention contre l'incendie, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire depuis le 01 janvier 1998 sont l'Arrêté royal du 07 juillet 1994, modifié par l'Arrêté royal du 19 décembre 1997 [15].

Elles ne concernent cependant pas les maisons unifamiliales, les bâtiments de moins de trois niveaux ayant une superficie totale inférieure ou égale à 100 m², ni les bâtiments industriels.

ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES

Bâtiment élevé	$h > 25 \text{ m}$
Bâtiment moyen	$10 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$
Bâtiment bas	$h < 10 \text{ m}$

Les bâtiments sont répartis en trois catégories en fonction de la hauteur h entre le niveau fini du plancher de l'étage le plus élevé et le niveau le plus bas de la voirie d'accès au bâtiment.

Une toiture comprenant exclusivement des locaux techniques n'intervient pas dans le calcul de la hauteur.

L'encadré ci-dessous reprend un résumé des normes de base concernant les façades pour les bâtiments moyens.

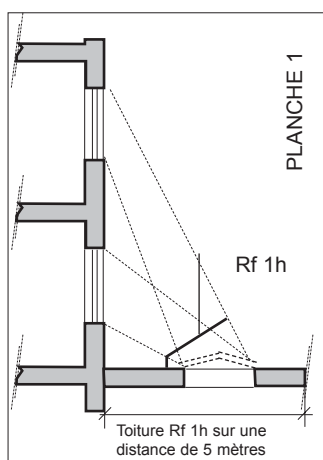
NORMES DE BASE (III) : BÂTIMENTS MOYENS

Selon l'Arrêté royal du 19 décembre 1997 modifiant l'arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire (Moniteur belge du 30 décembre 1997) [15].

Si les façades vitrées du bâtiment dominant des constructions faisant ou non partie de ce bâtiment, les toitures de ces constructions satisfont aux conditions suivantes :

- Rf 1 h sur une distance horizontale minimale de 5 m à partir de ces façades ;
- et, sur cette distance de 5 m, ni lanterneaux, ni aérateurs, ni exutoires de fumée ni ouvertures ne peuvent être installés, sauf si :
 - ces ouvertures sont séparées des ouvertures dans les façades par un élément de construction Rf1 h ;

- ou
- la superficie totale de ces ouvertures n'est pas plus grande que 100 cm^2 .



Si ces toitures ne présentent pas ces caractéristiques, la façade du bâtiment qui les domine ne peut être vitrée.

Façades

Au droit des séparations entre compartiments : la façade comporte à chaque niveau un élément de construction satisfaisant durant 1 h au critère d'étanchéité aux flammes de la NBN 713-020. Cette condition n'est pas applicable au niveau intermédiaire des duplex.

Cet élément est réalisé d'une manière illustrée par les figures de la planche 2 reprises à la page suivante.

Il comprend :

- une saillie horizontale et continue de largeur "a", égale ou supérieure à 0,60 m, raccordée au plancher ;
- un ensemble constitué :
 - par une saillie horizontale et continue de largeur "a", raccordée au plancher ;
 - au niveau supérieur, par une allège continue de hauteur "b" ;
 - au niveau inférieur, par un linteau continu de hauteur "c".

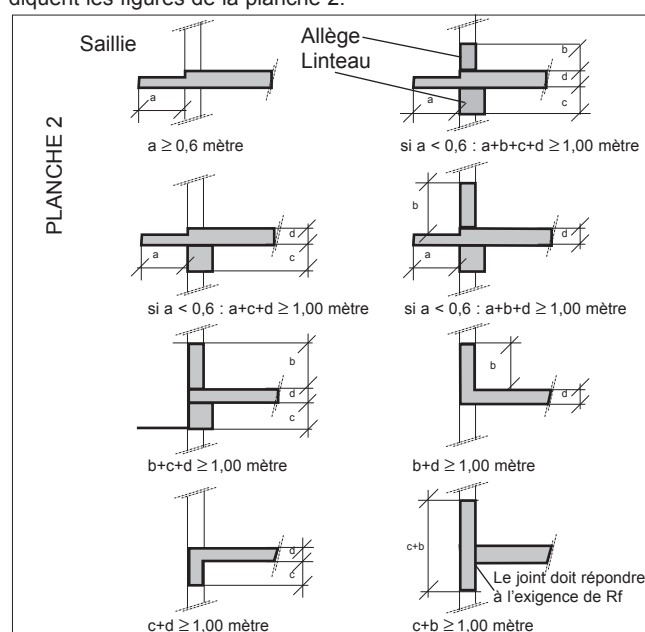
La somme des dimensions a, b, c et d (épaisseur du plancher) est égale ou supérieure à 1 m, chacune des valeurs a, b ou c pouvant éventuellement être nulle.

Les montants constituant l'ossature des façades légères sont fixés, à chaque niveau, à l'ossature du bâtiment.

L'allège et le linteau sont fixés au plancher de telle manière que l'ensemble satisfasse durant 1 h au critère d'étanchéité aux flammes de la NBN 713-020 ; la même exigence est applicable aux trumeaux.

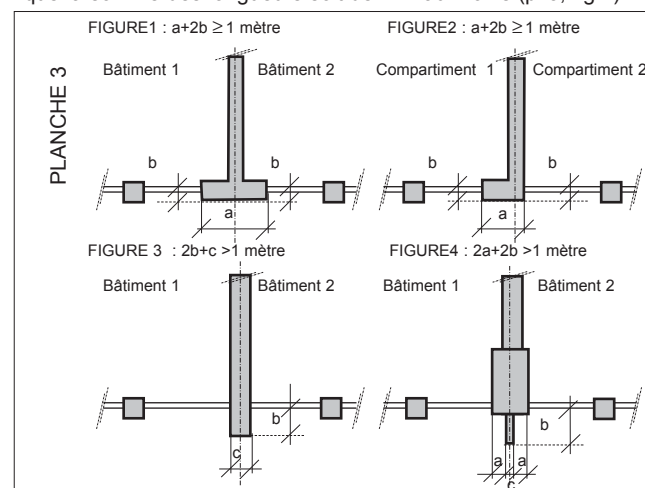
La liaison de l'élément de façade au plancher satisfait aux exigences prévues pour le plancher ou pour les parois séparant les compartiments.

En outre, afin de prévenir la propagation de l'incendie par les façades entre les compartiments situés dans le même plan ou entre bâtiments distincts mais contigus, un élément de façade étanche aux flammes durant 1 h est réalisé entre les baies vitrées et comme l'indiquent les figures de la planche 2.



On a donc :

- soit un élément continu se trouvant dans le prolongement de la façade ; la largeur de cet élément $[2b+a]$ (pl. 3, fig.1 et 2) est de 1 m au moins ; les parties de cet élément situées à gauche et à droite de l'axe du mur mitoyen ont une largeur de 0,50 m au moins, s'il s'agit de deux bâtiments distincts ;
- soit une saillie verticale continue, dans l'axe du mur séparant les deux bâtiments ou compartiments, la longueur de cet élément $[2b+c]$ (pl.3, fig.3) est de 1 m au moins ;
- soit une combinaison des éléments précédents, de telle manière que la somme des longueurs soit de 1 m au moins (pl.3, fig.4).



LES MURS-RIDEAUX [21]

Les cinq règles suivantes, correspondant à la notion de paroi "pare-flamme", sont à prendre en compte au niveau de la façade :

- Les attaches en acier, ou de résistance équivalente, liaisonnant la façade au gros-oeuvre doivent être en quantité suffisante.
- Le parement intérieur des allèges doit être en acier ou en matériau de résistance équivalente. La continuité de cette protection doit être assurée sur les parties arrière des meneaux de section importante. Dans certains cas, la grille de base en aluminium doit être renforcée par une ossature de stabilité, également en acier.
- La jonction orthogonale façade-nez de plancher doit être réalisée par des matériaux interdisant toute propagation verticale, d'un niveau à l'autre, sur les faces arrière des façades et présenter une rigidité suffisante aux dilatations et aux déformations sous de fortes températures afin d'éviter le passage des flammes, fumées et gaz.
- Tout effet de cheminée doit être rendu impossible au niveau des meneaux verticaux, par cloisonnement horizontal répétitif.
- Le choix des matériaux de synthèse utilisés doit être en conformité avec le règlement en vigueur, notamment sur la toxicité de leur dégagement de chlore et d'azote.

Les façades situées dans le volume de protection doivent être "pare-flammes" pendant deux heures au moins.

Une attention toute particulière doit être apportée aux abouts de dalles et à la protection au feu en nez de plancher (voir schémas ci-contre).



