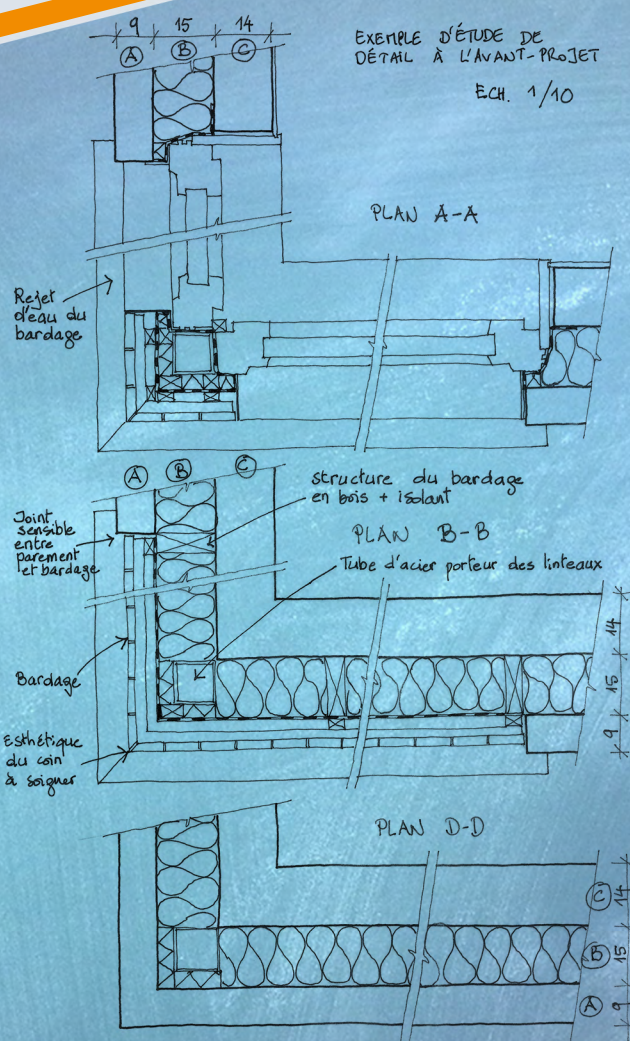


L'ISOLATION THERMIQUE DES MURS

Jean-Marie Hauglustaine
et Francys Simon



uide pratique pour les architectes



Wallonie

2e édition, 2018

Ce guide pratique a été élaboré sous la direction de :

- Jean-Marie HAUGLUSTAINE, Dr. ir. architecte, chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège, Directeur de l'Unité de recherche EnergySuD (Energie et Développement durable) ;
- Francy SIMON, Ir. architecte, Professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain.

Il constitue la mise à jour des Guides pratiques pour architectes :

- l'isolation thermique du mur creux (édité en 1996) ;
 - l'isolation thermique des façades à ossature bois (édité en 2003) ;
 - l'isolation thermique des façades verticales (édité en 2006) ;
- désormais rassemblés en un seul ouvrage.

Ont collaboré à l'élaboration de cet ouvrage : Françoise BUYSE, architecte de recherche, Marie-Faustine KEZIMANA, Christelle HUBERTY, ir. architecte de recherche, Stéphane MONFILS, ir. architecte-doctorant, tous quatre de l'équipe de recherche EnergySuD.

PRÉFACE **4**

ENJEUX **5**

INTRODUCTION	5
LE CONFORT ET L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E.)	6
LES DONNÉES CLIMATIQUES, LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ET LE COMPORTEMENT AU FEU	8

LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE **10**

LES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX PAROIS EXTÉRIEURES OPAQUES D'UN BÂTIMENT	10
---	----

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS **17**

HISTORIQUE	17
LES TECHNOLOGIES SPÉCIFIQUES DES STRUCTURES EN BOIS	19
LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE	22
LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE	24
LES 4 GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE	26
TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES	28

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS **31**

ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE	32
ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3)	37
ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENT (4) ET DE FINITION (5)	54

LA MÉTHODOLOGIE COMMUNE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES **55**

LE CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	55
--------------------------------	----

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A) **58**

LA TYPOLOGIE DES MURS PLEINS	58
LE MUR PLEIN MAÇONNÉ	59
LE MUR PLEIN EN PANNEAUX DE BOIS	63
LES PERFORMANCES DU MUR PLEIN	64
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR PLEIN	65
CONCLUSION	65

**LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE
(TYPE B) 66**

TPOLOGIE DES MURS MULTICOUCHE	67
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'EXTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B1)	68
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION APPOSÉE À L'INTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B2)	68
LES PEFORMANCES DU MUR MULTICOUCHE	72
LES FONCTIONS DU MUR MULTICOUCHE	74
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR MULTICOUCHE	76
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE	93
CONCLUSION	114

**LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE
(TYPE C) 115**

INTRODUCTION	116
TPOLOGIES DES MURS À OSSATURE	117
LA MAÎTRISE DU CLIMAT	117
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR EN OSSATURE MÉTALLIQUE	121
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR EN OSSATURE BOIS	134
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE	140
LES PERFORMANCES DU MUR À OSSATURE	147
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR À OSSATURE	149
CONCLUSION	162

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR RIDEAU (TYPE D) 163

HISTORIQUE	163
TPOLOGIES DE MURS-RIDEAUX	163
LES PERFORMANCES DU MUR-RIDEAU	164
CONCLUSION	168

BIBLIOGRAPHIE 169

ANNEXES 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES 171

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES	171
ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES	178
ANNEXE 3 : TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS	183
ANNEXE 4 : QUELQUES DÉFINITIONS	190

TABLE DES MATIÈRES 192

L'intervention des concepteurs est essentielle car il leur revient d'intégrer les performances à atteindre, dès les stades initiaux du processus de conception. Ces performances ne doivent cependant pas freiner leur créativité; au contraire, il s'agit de construire des bâtiments alliant beauté, confort, durabilité et économie.

Consciente de l'importance de l'information à apporter aux professionnels d'une part et au public d'autre part, la Région wallonne a mis en place, depuis quelques années, un dispositif multiforme d'information et de formation, relayant les recherches menées par le Centre Scientifique et Technique de la Construction et les Universités.

Une série de 9 guides pratiques destinés aux architectes explore la méthodologie de conception de l'enveloppe. Ses auteurs, Francys Simon, Professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain, et Jean-Marie Hauglustaine, chargé de cours à l'Université de Liège, poursuivent ici cette approche pour l'isolation thermique des murs, proposant une démarche cohérente, de l'esquisse au projet.

Dans ce guide mis à jour, l'architecte trouvera une démarche conceptuelle intégrée lui permettant d'orienter et d'adapter ses choix.

D'autres guides sont diffusés par le Fonds de Formation Professionnelle de la Construction, tandis que les particuliers peuvent trouver des brochures et des conseils qui vont dans le même sens, auprès des Guichets de l'Énergie.

Ces réalisations s'intègrent dans la politique que mène la Région wallonne depuis plusieurs décennies afin de favoriser l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (URE) dans les bâtiments. La Belgique s'est en effet engagée, à Rio, à Kyoto et à Paris, à diminuer la consommation d'énergie et donc les émissions de CO₂, afin de réduire l'effet de serre.

Annick FOURMEAUX,
Directrice générale.

ENJEUX

INTRODUCTION	5
LE CONFORT ET L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E.).....	6
LE BILAN THERMIQUE DE L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT	6
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST AUGMENTER LE CONFORT	6
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST ÉCONOMISER L'ÉNERGIE	7
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST RÉDUIRE LES DÉPENSES DU MAÎTRE D'OUVRAGE	7
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT.....	7
LES DONNÉES CLIMATIQUES, LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ET LE COMPORTEMENT AU FEU	8
LES DONNÉES CLIMATIQUES	8
<i>L'environnement extérieur.....</i>	8
<i>Les températures.....</i>	8
<i>Le climat intérieur.....</i>	8
LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX.....	9

INTRODUCTION

Depuis 1975, la tendance à isoler s'est largement accrue, initialement en raison de l'évolution des prix pétroliers, à laquelle se sont ensuite ajoutées des considérations écologiques et de confort.

Le présent guide traite principalement de l'isolation thermique des parois opaques verticales de l'enveloppe d'un bâtiment. Les façades verticales, les murs creux et les façades à structure bois sont regroupés dans ce guide. Les murs représentent environ 60% de la superficie extérieure totale (murs + toiture). Investir pour l'isolation thermique des façades représente donc un poste non négligeable.

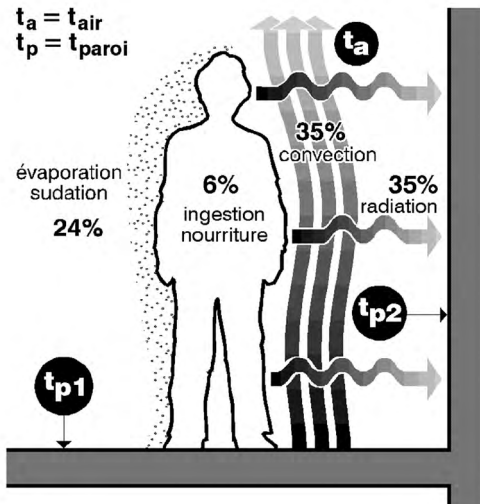
En ce qui concerne les parois vitrées et leurs accessoires (protections, etc.), nous invitons le lecteur à consulter le guide pratique « *Les fenêtres et l'énergie – Guide pratique pour les architectes* » [HAUG-17-4].

QUELQUES DÉFINITIONS [PAUL-11]

- **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.

Le confort et l'utilisation rationnelle de l'énergie (U.R.E.)

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 et la température de surface intérieure des parois du local sont autant de facteurs qui interviennent dans le bilan global de confort.

Pour éviter 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, en réduisant la conduction de la chaleur du local à travers elles;
- une convection autour du corps, par des mouvements d'air trop rapides au sein du local.

ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST AUGMENTER LE CONFORT

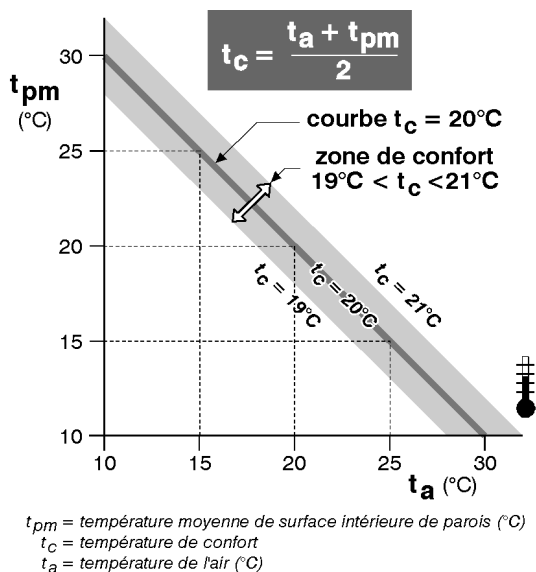
Puisque les échanges par convection et rayonnement interviennent pour 70 % dans le bilan thermique, la température moyenne de surface intérieure des parois du local t_{pm} et la température de l'air ambiant du local t_a sont les facteurs essentiels du confort thermique. C'est la raison pour laquelle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

Isoler thermiquement une paroi, c'est la rendre moins conductrice de la chaleur et donc augmenter sa résistance thermique. Dans un local chauffé, la température de surface d'une paroi isolée sera toujours plus élevée que celle d'une paroi non isolée.

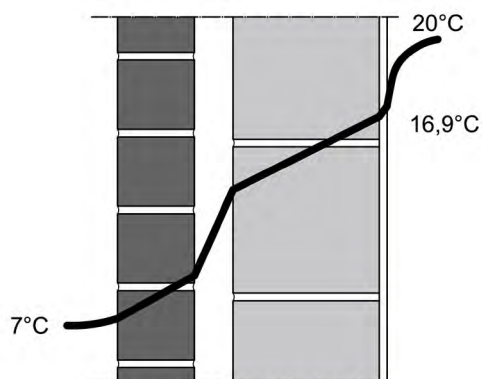
Pour une température extérieure de 7°C (température extérieure moyenne en Belgique pendant la saison de chauffe) et si l'on se limite à chauffer l'air à 20°C, la température de surface intérieure d'un mur creux est de l'ordre de :

- 16,9°C si le mur creux n'est pas isolé;
- 19,7°C s'il est isolé (par ex. avec 18 cm de polystyrène extrudé), soit presque 3°C de plus.



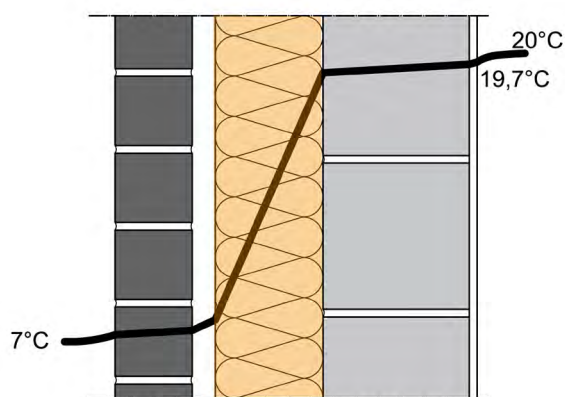
Cela signifie que, à proximité d'un mur non isolé, les conditions de confort ne sont plus remplies.

Pour atteindre les objectifs de confort, il y a donc intérêt à augmenter la température moyenne de surface intérieure des parois extérieures t_{pm} , par le renfort de leur résistance thermique, c'est-à-dire en les isolant.



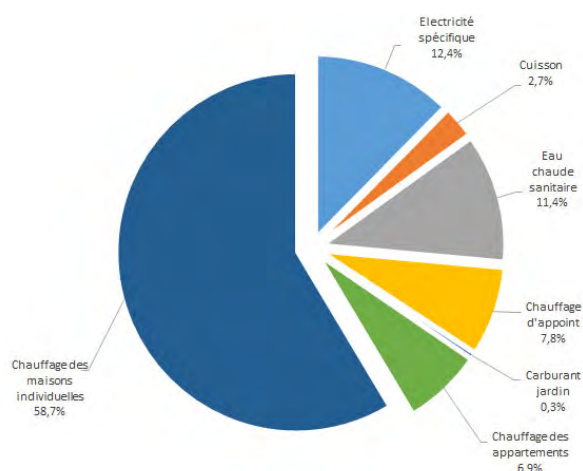
$$R = 0,59 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = 1,71 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



$$R = 4,96 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU SECTEUR RÉSIDENTIEL PAR USAGE PRINCIPAL EN 2014 [SPWE-17]

Dans le cadre de ces considérations, la Région wallonne est consciente de l'importance de l'intervention des concepteurs, sur la consommation d'énergie des bâtiments et sur la qualité de vie dans les espaces bâtis.

Il leur revient d'intégrer, dès les stades initiaux du processus de conception architecturale, les concepts assurant des performances énergétiques compatibles avec les exigences actuelles.

Pour les aider dans le domaine de la conception des murs extérieurs, une méthodologie est proposée ci-après, qui rappelle les performances à atteindre et qui propose une démarche cohérente, depuis l'esquisse jusqu'au chantier.

ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST ÉCONOMISER L'ÉNERGIE

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

Comme on l'a vu ci-dessus, en accroissant la résistance thermique d'une paroi, sa température de surface intérieure augmente et donc il ne sera plus nécessaire d'autant chauffer l'air intérieur, d'où un second gain d'énergie.

ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST RÉDUIRE LES DÉPENSES DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Isoler, c'est intervenir sur la consommation de chauffage, qui représente une part importante de la consommation d'énergie des bâtiments.

Par exemple, selon le bilan énergétique du secteur résidentiel wallon en 2013 [ICED-15], le poste chauffage correspond à 72,2 % de la consommation totale d'énergie des bâtiments résidentiels wallons, elle-même totalisant 33,9 TWh, soit 24 % de la consommation énergétique totale de la Wallonie.

Rien que pour les bâtiments résidentiels, le poste chauffage représente ainsi $0,722 \times 0,24 = 17,3 \%$ de la consommation énergétique wallonne.

ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT

L'utilisation massive des combustibles fossiles libère des quantités colossales de CO₂. Celui-ci accentue l'effet de serre et réchauffe aussi le climat de la planète.

En fonction de ces deux aspects, économique et écologique, la conception des bâtiments ne peut qu'évoluer vers des bâtiments de mieux en mieux isolés. L'isolation thermique a acquis ses lettres de noblesse et tout le monde est, à présent, convaincu de la nécessité d'isoler les habitations.

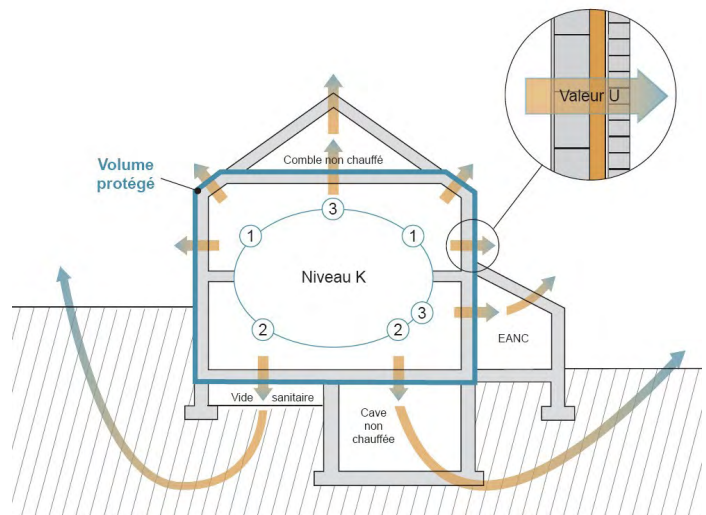
LES DONNÉES CLIMATIQUES, LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ET LE COMPORTEMENT AU FEU

LES DONNÉES CLIMATIQUES

Lors de la conception d'un mur, il convient de tenir compte du climat intérieur (voir encadré ci-contre), du climat extérieur et, plus précisément, de l'environnement extérieur, du vent et des températures.

L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR

Au plus la paroi est exposée au climat extérieur (pluie et vent), au moins la résistance thermique de la paroi sera bonne. Les déperditions thermiques sont également plus importantes vers le haut que vers le bas.



Classe de climat intérieur	Type de bâtiment	Exemples	p_i (Pa) [1 Pa = 1 N/m ²]
CC I	Bâtiments où la production d'humidité est faible à nulle en permanence	<ul style="list-style-type: none"> Entrepôts de marchandises sèches Eglises Salle d'exposition Garage Ateliers 	$1.100 \leq p_i < 1.165$
CC II	Bâtiments bien ventilés à production d'humidité limitée par m ³	<ul style="list-style-type: none"> Habitations ventilées selon la norme Ecoles Magasins Bureaux non climatisés Salles de sports et halls polyvalents 	$1.165 \leq p_i < 1.370$
CC III	Bâtiments moyennement ventilés, à production d'humidité plus importante au m ³	<ul style="list-style-type: none"> Habitations non ventilées selon la norme Hôpitaux, homes Salles des fêtes, théâtres Bâtiments faiblement climatisés (HR ≤ 60 %) 	$1.370 \leq p_i < 1.500$
CC IV	Bâtiments à production d'humidité élevée	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments fortement climatisés (HR > 60 %) Locaux d'hydrothérapie Piscines couvertes Locaux industriels humides tels que blanchisseries, imprimeries, brasseries, usines à papier, etc. 	$1.500 \leq p_i < 3.000$

LES CLASSES DE CLIMAT INTÉRIEUR [CSTC-14-1]

LES TEMPÉRATURES

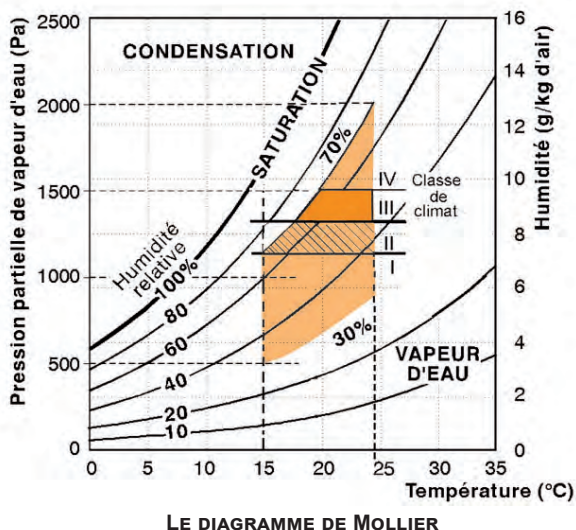
Isoler thermiquement une paroi, c'est la rendre moins conductrice de la chaleur et donc augmenter sa résistance thermique.

LE CLIMAT INTÉRIEUR

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, en se basant sur la pression annuelle moyenne p_i de la vapeur du climat intérieur (exprimée en pascals Pa), 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 bain, de douche, cuisine), 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



LE DIAGRAMME DE MOLLIER

DÉFINITION DE L'EFFET DE SERRE

L'effet de serre est un phénomène naturel indispensable à la vie sur terre.

Sans lui, la température de surface de la terre serait de -18°C au lieu de $+15^{\circ}\text{C}$.

Il est dû à la présence de certains gaz dans l'atmosphère.

LE MÉCANISME PHYSIQUE DE L'EFFET DE SERRE [HAUG-01]

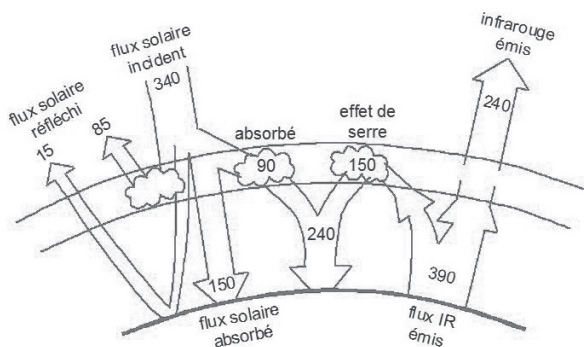
La Terre intercepte, en moyenne, une puissance lumineuse d'origine solaire (flux solaire incident) de l'ordre de 340 W/m^2 ; elle en réfléchit environ 30 %, soit 100 W/m^2 , absorbe le reste et, sous la forme de rayonnement infrarouge, réémet finalement, vers l'espace, un flux d'énergie qui représente 70 % du flux solaire incident, soit 240 W/m^2 .

Si l'atmosphère était parfaitement transparente au rayonnement infrarouge, ce flux d'énergie émis vers l'espace serait égal au flux infrarouge émis par la Terre.

Or la température moyenne de celle-ci est de l'ordre de 15°C et l'émission d'un corps noir en équilibre à cette température est de 390 W/m^2 .

La surface de la Terre émet donc, dans l'infrarouge, un rayonnement tellurique de l'ordre de 390 W/m^2 . De ces 390 W/m^2 , 150 environ sont absorbés par les nuages, les aérosols, la vapeur d'eau et les gaz en trace, le reste (soit 240 W/m^2) traverse l'atmosphère et est réémis vers l'espace.

C'est ce piégeage de 150 W/m^2 , par les nuages et les gaz à effet de serre, qui constitue précisément l'effet de serre.



C'est aussi la différence entre la température moyenne de la Terre (15°C) et celle d'un corps noir en équilibre qui émettrait un flux de 240 W/m^2 , à savoir -18°C . On peut ainsi dire que l'effet de serre naturel produit un réchauffement des basses couches de l'atmosphère, de l'ordre de 33°C .

Sans cet effet de serre naturel, l'homme ne pourrait que difficilement vivre sur Terre. L'effet de serre naturel n'est pas un privilège de la seule planète Terre : les surfaces de Mars, de Vénus ou de Titan, satellite de Saturne, qui possèdent des atmosphères de compositions variées, voient, elles aussi, leur surface réchauffée par l'effet de serre.

LES GAZ À EFFET DE SERRE [HAUG-01]

Les gaz à effet de serre sont principalement :

- le dioxyde de carbone (CO_2), résultant pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles ;
- le méthane (CH_4), provenant des fermentations anaérobies, des rizières, des zones humides, des fuites de gaz naturel, des pertes minières, de la décomposition des déchets solides (ménagers par exemple) ;
- le protoxyde d'azote (N_2O), qui provient de l'activité microbienne dans le sol et l'eau, de l'utilisation intensive des engrais azotés, de la combustion des énergies fossiles et de la biomasse ;
- la vapeur d'eau (H_2O), d'origine naturelle ;
- l'ozone (O_3), résultant de la pollution locale (les fameux "pics" de l'été) due aux activités industrielles et au transport ;
- les chlorofluorocarbones (CFC), émis par les industries (mousses synthétiques), la réfrigération, la climatisation (gaz réfrigérants), les solvants et les aérosols (gaz propulseurs).

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 ponctuelle et la ventilation doit permettre le retour rapide à une humidité de l'air moyenne. Une légère ventilation permanente reste préférable à une ventilation intense mais de courte durée.

LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les aspects environnementaux revêtent une importance croissante : ressources, fabrication, démolition, récupération, traitement des déchets et possibilités de rénovation... Les règlements régionaux en la matière explicitent les obligations à respecter.

Dans des circonstances particulières, telles que la proximité d'entreprises chimiques ou du secteur d'alimentation par exemple, l'environnement extérieur comporte des substances qui peuvent aggraver la peau du bâtiment : il convient de se concerter avec le fabricant du matériau d'étanchéité afin de s'assurer de la compatibilité de celui-ci avec l'environnement.

LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE

LES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX PAROIS EXTÉRIEURES OPAQUES D'UN BÂTIMENT	10
FONCTIONS PRINCIPALES	10
LE CONTRÔLE DU CLIMAT	11
<i>Climat local et architecture</i>	<i>11</i>
<i>Notion de peau perméable à la vapeur d'eau</i>	<i>11</i>
<i>La chaleur</i>	<i>12</i>
LE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT	14
<i>Le bruit</i>	<i>14</i>
<i>Sécurité à l'effraction</i>	<i>14</i>
<i>Sécurité au feu</i>	<i>15</i>
LA FONCTION STRUCTURALE	16
LA FONCTION VISUELLE	16

LES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX PAROIS EXTÉRIEURES OPAQUES D'UN BÂTIMENT

FONCTIONS PRINCIPALES

Parmi les désordres subis par les murs extérieurs, on peut distinguer [HAND-82] :

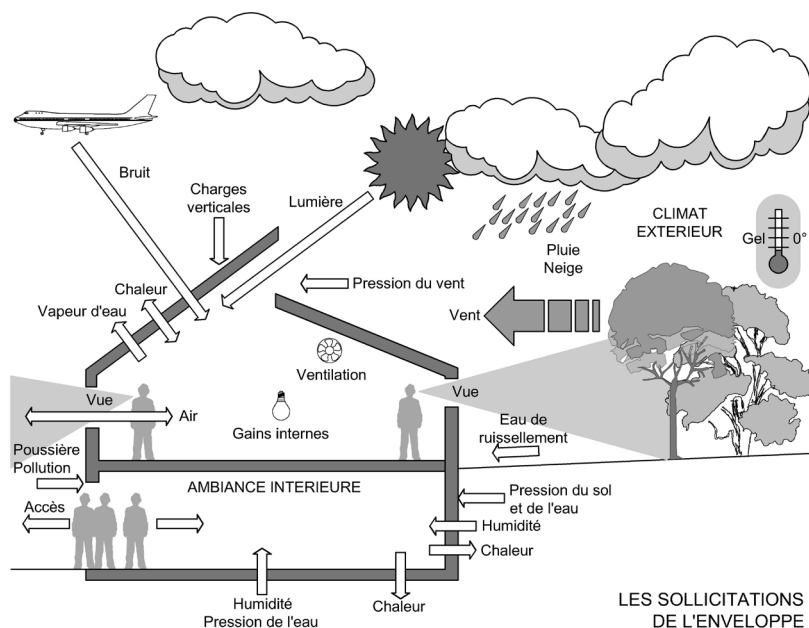
- la pénétration des eaux de pluie ;
- la condensation sur la face interne des murs extérieurs causée par une isolation thermique insuffisante par rapport à la teneur en humidité que l'on veut maintenir dans la pièce ;
- la condensation dans l'épaisseur du mur causée par l'exfiltration de l'air chaud 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 épaufrures : ce sont des fissurations qui résultent d'un mouvement différentiel d'origine hygrothermique ou structurel.

La fonction principale de l'enveloppe est d'enclore un espace, qu'elle protège de l'environnement extérieur. Elle contribue au contrôle du climat.

Une seconde fonction est structurale : soit l'enveloppe est elle-même la structure portante, soit ses éléments doivent résister localement pour transmettre les charges extérieures à une structure principale.

La troisième fonction est visuelle, car c'est l'enveloppe qui 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.

LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE



Extrait de [SIMO-99]

LE CONTRÔLE DU CLIMAT

CLIMAT LOCAL ET ARCHITECTURE

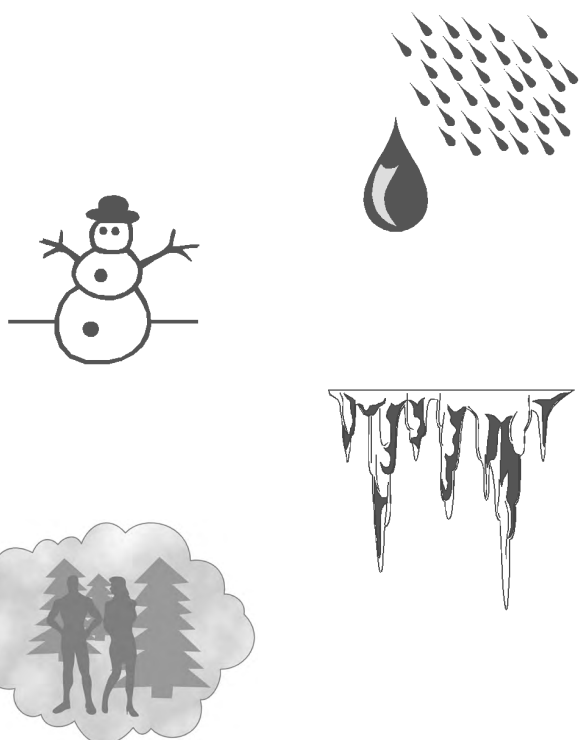
Le climat local peut influencer l'implantation du bâtiment et son architecture. Réciproquement, son enveloppe doit enclore un espace qu'elle protège des variations du climat extérieur.

NOTION DE PEAU PERMÉABLE À LA VAPEUR D'EAU

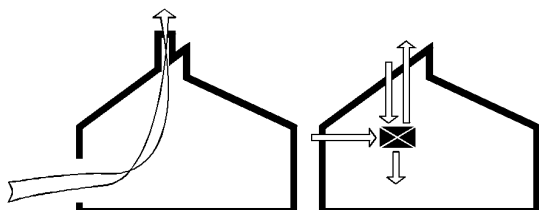
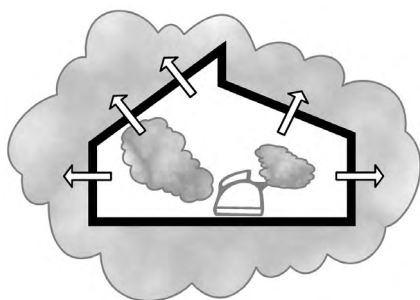
L'enveloppe agit telle une barrière pour certains éléments et telle un filtre pour d'autres.

- L'EAU
L'eau sous sa forme de liquide libre doit être arrêtée totalement par l'enveloppe.
- LA NEIGE
La neige représente une charge dont il faut tenir compte dans le calcul de la structure portante. La neige poudreuse peut s'infiltrer derrière le bardage et, à sa fonte, doit pouvoir être évacuée.
- LA GLACE
L'eau pénétrée dans l'enveloppe, en gelant, peut causer de nombreux dégâts aux parois extérieures.
- 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.

L'intérieur du bâtiment est donc comme un réservoir de chaleur et de vapeur d'eau, qui tendent à s'échapper vers l'extérieur au travers des parois extérieures. Si la température est basse et le degré d'humidité élevé, le risque de condensation superficielle et/ou interne à la paroi est grand. La composition de l'enveloppe doit éviter les ponts thermiques de sorte qu'en aucun



LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE



endroit, on n'y rencontre des conditions de basse température qui, alliées à une forte teneur en vapeur d'eau, pourraient occasionner des dégradations. A noter que le bois étant un matériau très sensible à l'eau, la composition des parois à structure bois doit absolument être pensée pour permettre le transfert de l'excédant d'humidité intérieure vers l'extérieur, sans que cette vapeur d'eau ne s'accumule dans le bois.

En effet, l'eau de condensation peut favoriser le développement de champignons, entraîner la dégradation de certains matériaux et, combinée au gel, l'éclatement des matériaux imprégnés.

• L'AIR

Vis-à-vis de l'air, l'enveloppe présente une barrière qui permet de réguler l'atmosphère intérieure.

Le renouvellement permanent de l'air de l'ambiance intérieure est indispensable, mais doit être initialement mesuré et ensuite contrôlé.

LA CHALEUR

Le climat local extérieur est caractérisé par :

- la température de l'air;
- les conditions de rayonnement solaire;
- les mouvements de l'air;
- l'humidité relative de l'air.

• ISOLATION THERMIQUE

L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger de la radiation solaire 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 extérieures.

La position de la zone de coupure thermique dans la paroi extérieure n'a guère d'influence sur la résistance thermique de la paroi. Elle peut, par contre, influencer d'autres performances, tant techniques qu'architecturales.

• INERTIE THERMIQUE DES PAROIS

L'inertie thermique se combine souvent à l'isolation thermique des parois comme facteur de confort.

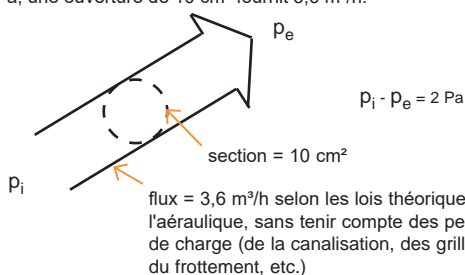
Le confort thermique des maisons anciennes aux murs très épais en matériaux peu isolants, provenait d'un compromis heureux entre une isolation thermique relativement médiocre et une grande inertie thermique, allée à une occupation constante. Le temps nécessaire à la redistribution des calories accumulées par les parois résulte du volant d'inertie thermique. Un fort volant d'inertie thermique conduit :

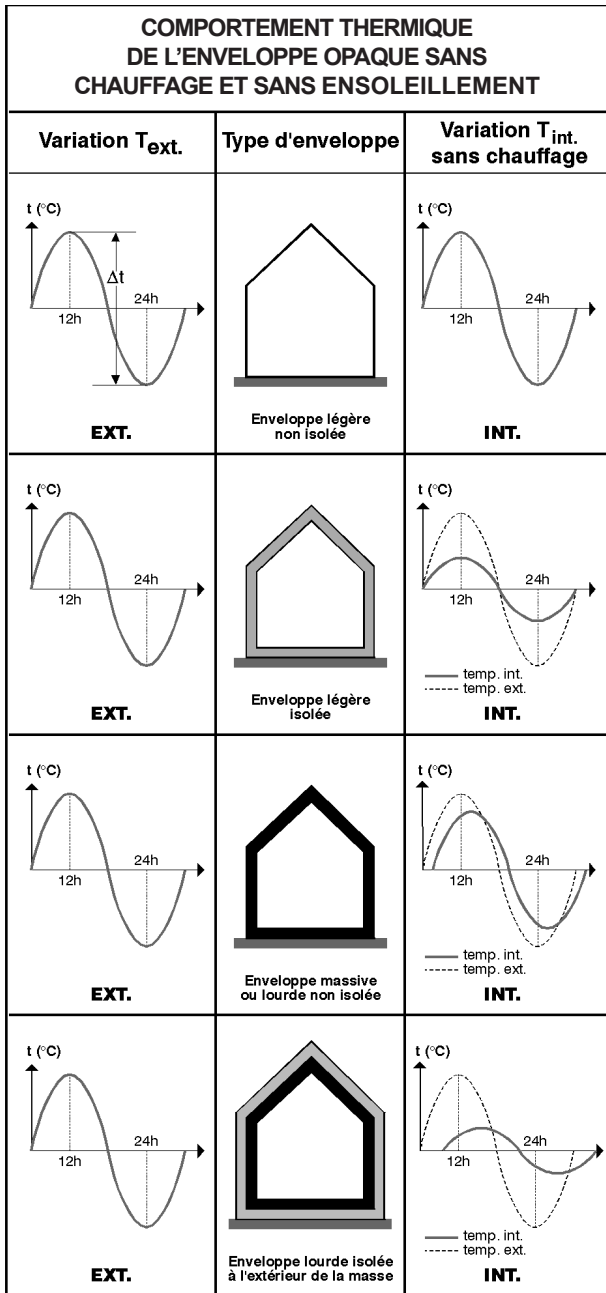
- en hiver, à un fonctionnement plus régulier de l'installation de chauffage, permettant une puissance installée moindre et des variations de la température intérieure plus lentes et plus réduites, donc plus acceptables;
- en saison d'été, à une température intérieure clémente en soirée et fraîche pendant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

	DÉBIT NOMINAL REQUIS (m³/h)		
	par m² de plancher	et min	max
AMENÉE			
living	3,6	75	150
chambre à coucher, bureau, salle de jeu	3,6	25	36/pers.
EVACUATION			
cuisine fermée, buanderie, local où séchage du linge, sdb	3,6	50	75
cuisine ouverte	3,6	75	
W.C.		25	
couloirs, halls, dégagements	3,6		
TRANSFERT			
minimum = 50 m³/h, soit, pour $\Delta p = 2$ Pa, une ouverture de 140 cm² au total entre cuisine et living et/ou couloir et/ou hall et/ou cage d'escalier.			
minimum = 25 m³/h, soit, pour $\Delta p = 2$ Pa, une ouverture de 70 cm² entre :			
- living et couloir et/ou hall et/ou cuisine ;			
- chambre à coucher, étude, jeux et couloir et/ou hall et/ou salle de bain ;			
- salle de bain, buanderie et couloir et/ou hall et/ou chambre à coucher ;			
- W.C. et couloir ou hall.			

DÉBIT NOMINAL DE VENTILATION, REQUIS PAR LA NORME NBN D50-001

C'est un agrément technique qui donne le débit (m³/h) possible par mètre courant d'aéra, d'une « Ouverture d'Amenée (ou d'Evacuation) Réglable ». Sinon, en première approximation, on peut considérer que, pour une différence de pression de 2 Pa, une ouverture de 10 cm² fournit 3,6 m³/h.





• RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire réchauffe les parties opaques de l'enveloppe qui, par conduction, diffusent cette chaleur à l'intérieur du bâtiment. Le rayonnement solaire au travers des vitrages (lanterneaux, verrières) constitue, par effet de serre, un apport de chaleur important. Le contrôle des apports solaires est indispensable, car le rayonnement solaire peut produire des surchauffes, qu'une régulation usuelle maîtrise mal.

En conclusion, il est recommandé de stocker la chaleur dans les parois intérieures. Ce principe peut avoir une incidence sur les choix des matériaux des parties intérieures de l'enveloppe extérieure.

• PENETRATION DE L'AIR EXTERIEUR

La pénétration de l'air extérieur au travers des parois influence également la température de l'air ambiant, la température des parois, ainsi que le taux de renouvellement d'air. Il est recommandé de créer une enveloppe étanche à l'air.

• TEMPERATURE DE SURFACE INTERNE DES PAROIS

Les grandes surfaces froides occasionnent la radiation du corps vers elles; il faut donc les éviter, par exemple en équipant les grandes ouvertures, de vitrage isolant. La température de surface interne des parois est également importante et sera conditionnée par le choix du type de paroi et du type de matériau.

• MOUVEMENT DE L'AIR AMBIANT

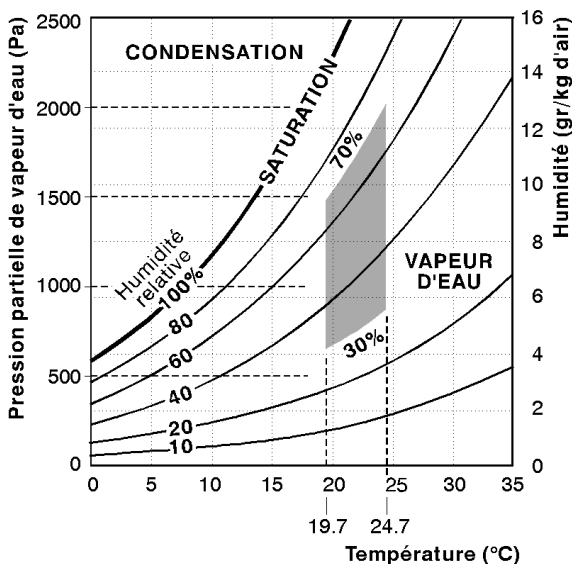
Il y a lieu d'être attentif aux courants d'air qui résulteraient de la ventilation, des convections engendrées par le système de chauffage et de la disposition spatiale des locaux.

• HUMIDITÉ RELATIVE

Le taux courant d'humidité relative de l'air ambiant est compris entre 30 et 70 % pour des températures d'air entre 20 et 25° C (zone grisée sur le diagramme de Mollier ci-contre).

Dans le cas d'un local humide et chaud (salle de bain, de douche, cuisine) situé sous la toiture, la température élevée de l'air le rend capable de contenir potentiellement plus de vapeur d'eau qu'en d'autres espaces du bâtiment. En cas de paroi froide ou de pont thermique, des condensations importantes sont à craindre.

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 un retour à la normale. Une ventilation permanente - préférable à une ventilation intense mais de courte durée - peut être favorisée, par exemple, une ventilation mécanique contrôlée.



LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE

LE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT

LE BRUIT

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

Suivant le type d'activités intérieures, des niveaux sonores maxima résultant de l'interférence de différents bruits ont été établis comme limite supérieure acceptable pour le confort acoustique des occupants.

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

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

Pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, deux systèmes peuvent être utilisés :

- une masse importante de l'enveloppe;
- une enveloppe constituée de parties de masses différentes solidarisées par des attaches amortissant les vibrations; elle peut être complétée d'une matière, absorbant les sons, interposée entre ses deux parties.

En cas de structure légère, on recourt en général au second système.

Pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits d'impact extérieurs (pluie, grêle), la 2^e solution s'impose.

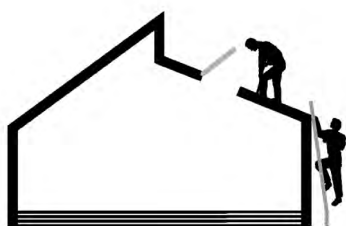
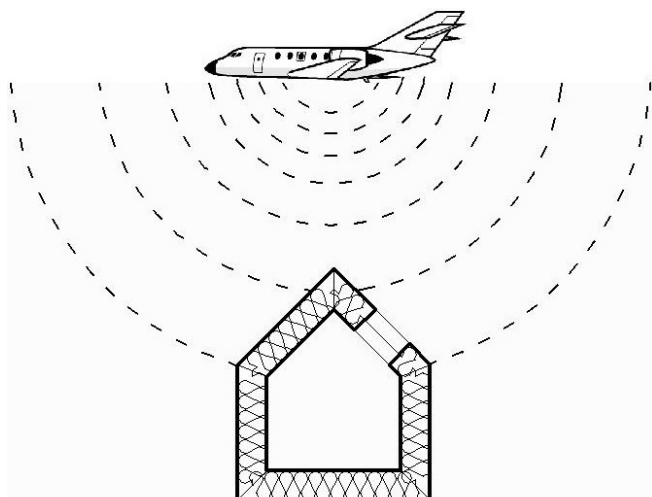
Pour limiter la réverbération intérieure, on peut encore compléter le système choisi par le recours à des pièges à son intégrés à l'enveloppe. Le lecteur trouvera une approche plus détaillée de l'isolation acoustique d'un bâtiment dans l'ouvrage publié par le CSTC intitulé « Rôle des détails constructifs dans l'isolation acoustique des bâtiments » [CSTC-15-1].

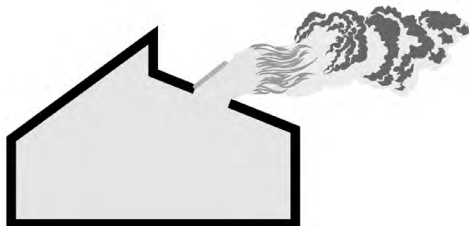
SÉCURITÉ À L'EFFRACTION

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui ont amené l'homme à construire.

L'enveloppe externe lui fournit cette protection. Toutefois, les ouvertures restent des points sensibles :

- les éléments de l'enveloppe doivent être suffisamment solides, résister à un démentèlement rapide ou silencieux;
- les ouvertures, fenêtres, portes, sont souvent autant de points fragiles, propices à l'effraction;
- l'implantation des points sensibles doit permettre un contrôle efficace et prévoir un éclairage naturel ou artificiel adéquat.





SÉCURITÉ AU FEU

Le bâtiment est éventuellement divisé en compartiments, regroupant un ensemble de locaux et délimité par des parois dont la fonction est d'empêcher, pour une durée déterminée, la propagation d'un incendie au(x) compartiment(s) contigu(s). Ainsi, l'enveloppe de chaque compartiment doit être conçue de façon à empêcher, durant une période définie, un incendie s'étant déclaré dans le compartiment, de se propager aux autres compartiments ou aux bâtiments voisins.

Ceci implique une bonne résistance au feu des parois (murs, planchers, plafonds) adjacentes aux autres compartiments et une bonne réaction au feu des matériaux de revêtement, pour limiter la vitesse de développement d'un incendie.

Lors de l'étude du comportement au feu des murs, il convient de faire une distinction entre la résistance au feu des murs et la réaction au feu des matériaux.

Il faut en outre tenir compte du fait que les murs peuvent être exposés au feu par un de leurs côtés intérieur ou extérieur, ou par les deux côtés à la fois.

La résistance au feu d'un élément de construction R_f exprime la durée pendant laquelle trois critères restent satisfaits :

- la stabilité au feu ;
- l'étanchéité aux flammes et aux gaz ;
- l'échauffement réduit de la face non exposée de la paroi.

Cette résistance au feu s'exprime en 1/2 h ou en h.

A l'exception des maisons unifamiliales auxquelles la réglementation incendie ne s'applique pas, les valeurs de la résistance au feu à prévoir pour les murs dépendent de la hauteur du bâtiment.

Par contre, la réaction au feu d'un matériau de construction se définit comme l'ensemble des propriétés de ce matériau, considérées en relation avec la propagation du feu du dégagement de fumée et/ou de gaz toxiques [GF -12].

La réaction au feu est classée, dans l'ordre des performances décroissantes, de A1 à F. L'ancienne réglementation belge définissait 5 classes de réaction au feu, mettant l'accent sur l'inflammabilité et la vitesse de propagation : classes A0 (matériaux incombustibles), A1, A2, A3 ou A4.

La nouvelle classification européenne distingue désormais 7 classes principales suivant la NBN EN 13501-1 [IBN -10] :

- les classes A1 et A2 pour les produits incombustibles ou à combustion très limitée,
- les classes B, C, D et E pour les produits combustibles,
- la classe F pour les produits non classés ou produits qui ont échoué à l'essai le moins sévère.

LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

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.

Si le feu provient de l'intérieur, c'est avant tout la résistance au feu de la structure de la paroi qui est déterminante.

En cas de feu provenant de l'extérieur, une couche de protection lourde et ininflammable constitue la meilleure solution pour empêcher la propagation de l'incendie.

LA FONCTION STRUCTURALE

La fonction structurale est la capacité de l'enveloppe à résister aux charges, à savoir :

- le poids propre ou poids mort de tous les éléments eux-mêmes (planchers, toitures, murs...);
- les charges extérieures ou surcharges (vent, accès pour entretien, neige, eau...);
- les charges intérieures ou surcharges d'utilisation.

LA FONCTION VISUELLE

Les façades 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 le mieux en fonction des conditions d'exposition;
- composer la peau extérieure pour que le vieillissement se réalise selon une évolution désirée.

Plusieurs matériaux possèdent en eux des caractéristiques de texture, de couleur, d'absorption de l'eau, etc. leur assurant une bonne tenue dans le temps.

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...).

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

HISTORIQUE.....	17
LES TECHNOLOGIES SPÉCIFIQUES DES STRUCTURES EN BOIS.....	19
LE BOIS MASSIF.....	19
LES POTEAUX-POUTRES.....	20
LES CONSTRUCTIONS À PAROIS OSSATURÉES.....	20
LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE.....	22
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	22
ZONES 2 ET 3 : ZONE DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET ZONE DE LA STRUCTURE (3).....	22
ZONES 4 ET 5 : ZONE D'ÉQUIPEMENT (4) ET ZONE DE FINITION (5).....	23
LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE.....	24
LES 4 GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE.....	26
TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES.....	28
PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE SOLIDAIRE SANS COULISSE.....	28
PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE INDÉPENDANTE AVEC COULISSE VENTILÉE OU DRAINANTE.....	29

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.

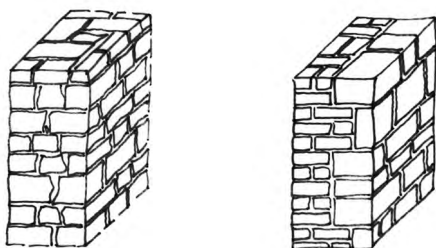
Au cours de l'histoire, la paroi extérieure verticale opaque est le plus généralement de type "pleine".

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 TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

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.



• 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 ;
- 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 perméable à la diffusion de la vapeur d'eau.

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.

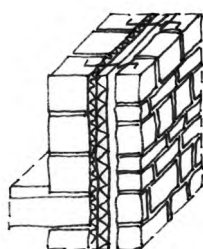
On trouve des enduits perméables à la vapeur d'eau et d'autres relativement étanches à celle-ci.

- 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 un risque de condensation derrière le recouvrement car, avec le gel, des décollements sont possibles, et ces décollements intensifient les dégradations dues à la pénétration d'eau.

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

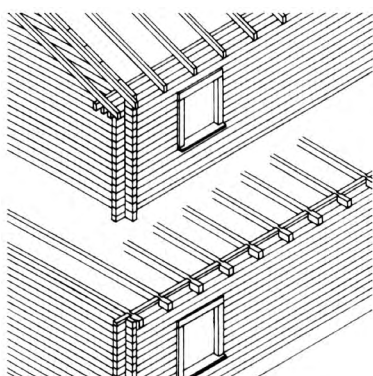
Cette technologie consiste à maçonner deux parties indépendantes, séparées par un espace d'air et/ou rempli d'un matériau isolant. Ces deux parties sont solidarisées par des ancrages assurant la stabilité de la partie extérieure coupée de la structure du bâtiment.



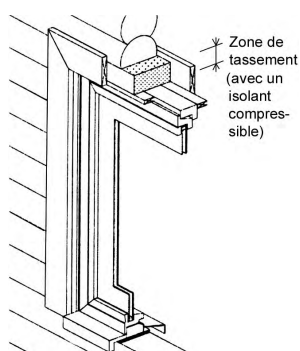
- Application d'une seconde peau ou bardage :

Le bardage de bois, d'ardoises, de plaques de pierres ou bardeaux de terre cuite, de panneaux ou de feuilles synthétiques ou métalliques suivent le principe de la composition discontinue et établissent une couverture accrochée au mur, qui l'abrite de l'eau, tout en lui permettant de "respirer" grâce à la coulisse ventilée située derrière cette seconde peau.

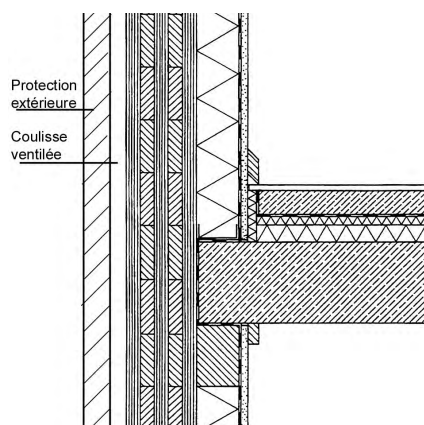
LES TECHNOLOGIES SPÉCIFIQUES DES STRUCTURES EN BOIS



PAROIS À BOIS EMPILÉS



EMPILEMENT HORIZONTAL
DÉTAIL DE MISE EN ŒUVRE AU DROIT D'UNE BAIE DE FENÊTRE



PAROI EXTÉRIEURE MASSIVE EN PLANCHES CONTRECOLLÉES -
EXEMPLE DE DÉTAIL

LE BOIS MASSIF

L'assemblage des madriers, par empilement horizontal ou par panneautage vertical, délimite et sépare les espaces, selon les longueurs des madriers, tout en assurant la stabilité et le confort tant thermique qu'acoustique du bâtiment.

Une paroi très épaisse en bois massif, en contact avec l'intérieur, contribue mieux au confort thermique d'été qu'une paroi légère à ossature.

Une isolation thermique complémentaire s'avère indispensable, soit côté extérieur avec protection par un enduit, un bardage ou une maçonnerie, soit côté intérieur derrière un lambris ou un panneau.

Dans ce dernier cas, les équipements pourront être intégrés à ce doublage.

La pose et les qualités d'un pare-vapeur éventuel devront être soigneusement vérifiées afin d'éviter toute dégradation prématurée.

La technique par empilement horizontal pose toujours un problème important de tassement des madriers, ce qui induit des détails de mise en œuvre particuliers pour les ouvertures, le doublage, le parement, les cloisons, les ossatures à poteau combinées entre elles.

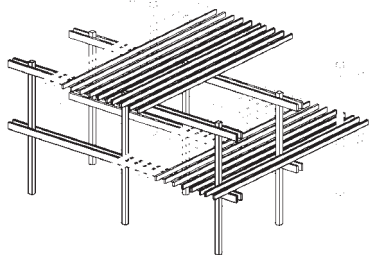
L'évolution des techniques de découpe et de profilage des bois a permis un développement assez large des méthodes de bois empilés en améliorant la qualité de l'étanchéité au vent et à la pluie.

De même, les progrès du collage permettent la réalisation de madriers contrecollés plus stables et de madriers composites avec une âme en matériau isolant.

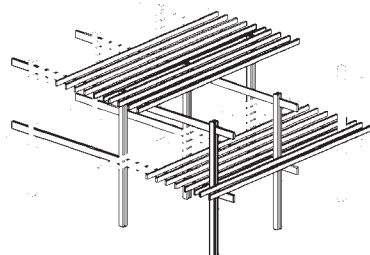
Une autre évolution importante consiste en la préfabrication de panneaux épais en planches contrecollées dans différentes orientations, pouvant être utilisés en planchers comme parois verticales.

Ces panneaux sont assemblés mécaniquement aux fondations et aux planchers, en bois massif ou non.

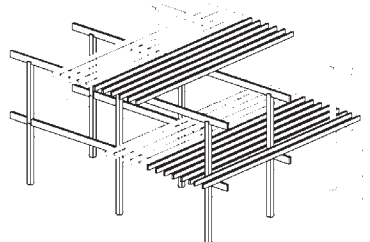
Généralement porteurs, ils sont complétés ou non par une isolation thermique, par un revêtement extérieur et éventuellement intérieur.



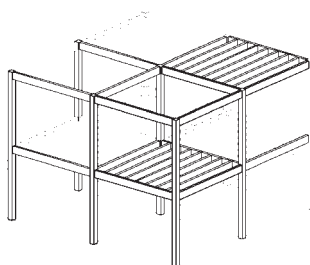
LES SYSTÈMES MOISÉS À POUTRES DOUBLES



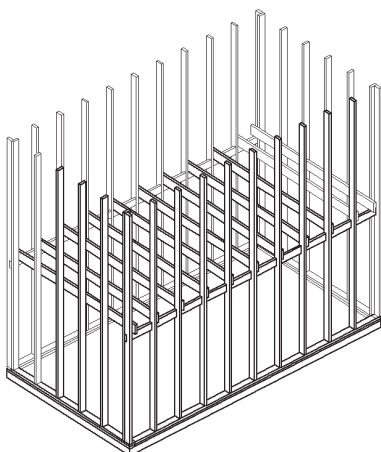
LES SYSTÈMES MOISÉS À POTEAUX DOUBLES



LES POUTRES REPOSANT SUR POTEAUX



LES TRAVERSE SACCROCHÉES AUX POTEAUX



TECHNIQUE "BALLOON FRAME" OU "OSSATURE CROISÉE"

LES POTEAUX-POUTRES

La structure primaire des planchers et de la toiture, constituée de poutres dans ce système, est supportée par des poteaux.

Ce système modulaire tridimensionnel se développe, selon les cas, aussi bien horizontalement que verticalement. Le squelette peut être laissé apparent et générer ainsi une structure visible à l'intérieur.

L'enveloppe extérieure est réalisée par une structure secondaire auto-stable. Les caractéristiques du point de vue isolation sont identiques aux autres technologies constructives.

Toutefois, si le remplissage est réalisé entre les poutres et poteaux, une attention particulière devra être apportée aux jonctions surtout du point de vue des étanchéités.

Plusieurs modes de construction sont possibles. Parmi eux, on trouve entre autres :

- les systèmes moisés à poutres ou à poteaux doubles ;
- les poutres reposant sur les poteaux ;
- les traverses accrochées aux poteaux.

Chacun de ces modes induira une étude des raccords spécifiques, en particulier au niveau des espaces entre pièces moisées.

LES CONSTRUCTIONS À PAROIS OSSATURÉES

Parmi les constructions à paroi ossaturée, il se distingue différentes techniques appelées "balloon frame" (ou "ossature croisée") et "platform frame" (ou "à panneaux").

LA TECHNIQUE « BALLOON FRAME » OU « À OSSATURE CROISÉE »

Première méthode d'ossature développée, cette technique est dérivée de la technique moyenâgeuse des bois longs. Elle est caractérisée par une répétition de cadres complets en bois de faible section peu écartés et des potelets continus sur toute la hauteur du mur (sur tous les niveaux).

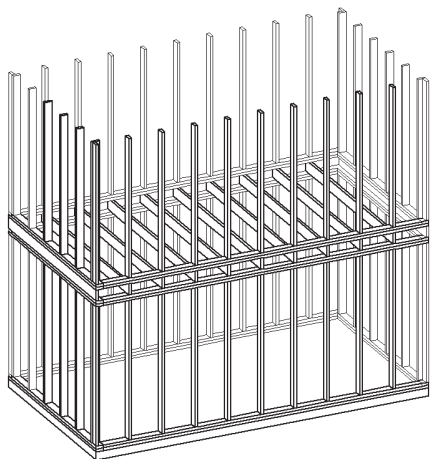
LA TECHNIQUE « PLATFORM FRAME » OU « À PANNEAUX »

Il s'agit d'une technique dont l'ossature des parois verticales portant les planchers est constituée de cadres dont les potelets sont compris entre une lisse basse et une sablière. La pose des gîtages des planchers sur les parois verticales permet la réalisation de bâtiments plus élevés.

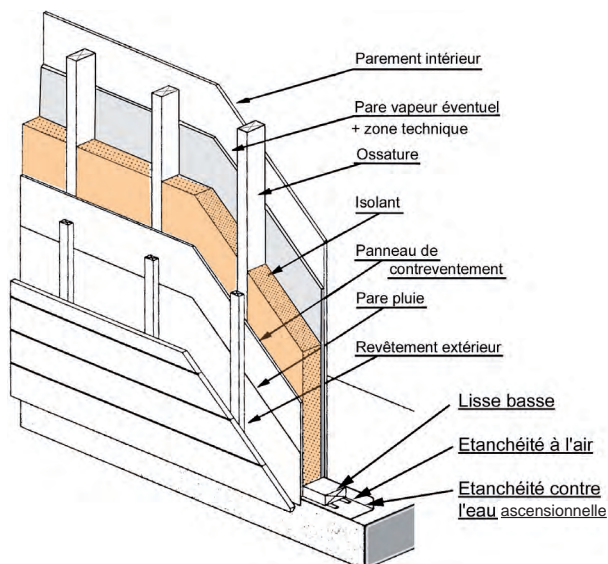
Du côté extérieur de ces structures, une étanchéité à l'eau et au vent doit être assurée. L'isolation est habituellement intégrée dans l'épaisseur de l'ossature ; un complément pouvant être ajouté sur l'une des deux faces.

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

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS



TECHNIQUE "PLATFORM FRAME" OU "À PANNEAUX"



COUPE AXONOMÉTRIQUE D'UNE PAROI OSSATURÉE ISOLÉE

REMARQUE

Les ossatures peuvent aussi servir à préfabriquer des volumes constituant des "tranches" tridimensionnelles d'étage de bâtiment.

Du point de vue structural, un contreventement est indispensable et est souvent assuré par un panneau, souvent en bois, pouvant participer à l'une des autres fonctions, dont celle de pare-vent.

TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE

Quatre grands types de mise en œuvre des ossatures sont possibles :

- par assemblage d'éléments linéaires (sur site) ;
- par petits panneaux préfabriqués manipulés manuellement ;
- par grands panneaux ;
- par modules tridimensionnels.

En préfabrication, on distingue deux types de panneaux :

- les panneaux dits "ouverts", constitués de l'ossature, d'un voile de contreventement et parfois du parement ;
- les panneaux dits "fermés", intègrent en plus l'isolant et les parements, voire l'équipement. Dans ce cas, une attention particulière doit être apportée aux raccords entre les panneaux.

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 :

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

- inexistante ;
- placée à l'extérieur de l'enveloppe ;
- 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'ÉQUIPEMENT (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 ;
- être réalisée dans un matériau spécifique présentant un aspect esthétique ou une fonction particulière (par ex. lambris, panneaux décoratifs, carrelages, pierres, etc.).

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

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 Etanche à l'eau ruisselante dans des pièces spécifiques (douche, salle 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 Etanche au vent Etanchéité à l'air Etanchéité 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, moins elle transmet 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 (lisse, rugueuse ou ajourée)
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

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

FONCTIONS DE LA FAÇADE	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="width: 20%; text-align: center; font-size: 8px;"> ZONE 1 PEAU EXTÉRIEURE </div> <div style="width: 20%; text-align: center; font-size: 8px;"> ZONE 2 ISOLATION THERMIQUE </div> <div style="width: 20%; text-align: center; font-size: 8px;"> ZONE 3 STRUCTURE </div> <div style="width: 20%; text-align: center; font-size: 8px;"> ZONES 4 ET 5 EQUIPEMENTS ET FINITION </div> </div>	RÔLES DEMANDÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES
BILAN ÉNERGÉTIQUE		Favoriser le choix de matériaux dont la fabrication, le transport, la mise en oeuvre et la fin de vie consomment, au total, le moins d'énergie grise Favoriser le choix de matériaux présentant une efficacité thermique la meilleure possible
PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE		Favoriser le choix de matériaux dont la fabrication, le transport, la mise en oeuvre et la fin de vie génèrent peu d'émissions toxiques et peu de déchets ; ceux-ci doivent être recyclables et non dangereux
FONCTION STRUCTURALE		
TRANSMISSION DES CHARGES STATIQUES ET STABILITÉ STRUCTURELLE		Doit parfois assurer la reprise des charges liées à son poids propre Reprend les poussées du vent et les transmet à la structure Résiste aux chocs Supporte certains équipements Assume le rôle de stabilité et de résistance mécanique aux sollicitations dues aux charges statiques Résistance aux charges dynamiques Résistance aux chocs Supporte et intègre certains équipements internes ou externes à la paroi
FONCTION VISUELLE		
PERCEPTION, ASPECT		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. Parfois visible ponctuellement pour rythmer ou marquer la paroi 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.
VISION		Les peaux extérieure et intérieure peuvent servir de claustra, moucharabîé ou pare-vue et atténuer ou cadrer la vision de l'extérieur vers l'intérieur et inversement. Les vues de l'intérieur vers l'extérieur et inversement sont assurées par les parties vitrées des façades.

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 constituent des noeuds constructifs et demandent la plus grande vigilance pour qu'ils n'occasionnent pas de ponts thermiques tant dans leur conception que dans leur mise en oeuvre.

LES 4 GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE

Les caractéristiques hygrothermiques des composants d'une paroi sont repris dans l'annexe 1 de ce guide.

Les développements actuels liés aux exigences des réglementations thermiques et de performance énergétique incitent à réduire les consommations d'énergie et de matière et ce, que ce soit dans le cas de la construction neuve ou de la rénovation.

Dans ce contexte, et dans un but de concrétisation de l'efficacité énergétique des bâtiments, l'utilisation de nouveaux matériaux et systèmes d'isolation sont apparus au cours du temps. Cependant, un mauvais dimensionnement des parois (choix des matériaux, du système constructif, juxtaposition de couches inappropriées dans une paroi) peut conduire à des pertes de performance consécutives à une présence anormale d'humidité dans la paroi. Les propriétés physico-chimiques, mécaniques et thermiques des matériaux peuvent ainsi être altérées.

L'humidité a aussi une incidence sur la qualité des ambiances et le confort thermique des occupants. Il importe donc de vérifier que, sous l'effet de variations hydriques extérieures, les matériaux ne soient pas sujets à des pathologies ou des dysfonctionnements pendant leur durée de vie en lien avec les transferts d'humidité dans la paroi.

C'est la raison pour laquelle, dans le cadre de ce guide, 4 typologies de façades verticales ont été déterminées afin de mettre l'accent sur les précautions nécessaires à prendre lors de la composition d'une paroi.

Des méthodes plus ou moins dynamiques permettent de vérifier cette migration d'eau dans les parois mais certains principes de base restent fondamentaux lors de la mise en œuvre des successions de couches d'une paroi verticale.

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).

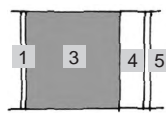
Chacun de ces types de façade peut, en variante, être recouvert d'un bardage ventilé.

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

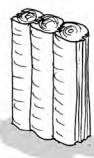
- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| 1 Zone de la peau extérieure | 4 Zone d'équipements |
| 2 Zone de l'isolation thermique | 5 Zone de finition |
| 3 Zone de la structure | |

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

A



RONDINS OU
MADRIERS
EMPILÉS



RONDINS OU
MADRIERS
DEBOUT

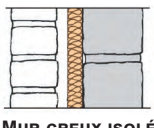
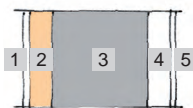


MAÇONNERIE
EN MOELLONS

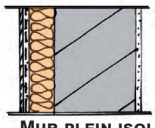
- Zone 1 : éventuelle
- Zone 2 : inexistante (la résistance thermique de la zone 3 doit alors suffire)
- Zone 3 : si les dispositions sont appropriées, elle peut remplir tous les rôles.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

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

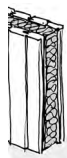
B₁



MUR CREUX ISOLÉ



MUR PLEIN ISOLÉ
PAR L'EXTÉRIEUR



MADRIERS PROFILÉS
DEBOUT ISOLÉS
AU CENTRE



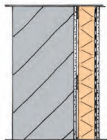
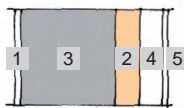
MADRIERS PROFILÉS
EMPILÉS ISOLÉS PAR
L'EXTÉRIEUR



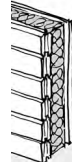
PANNEAUX CONTRECOLLÉS ISOLÉS
PAR L'EXTÉRIEUR

- 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

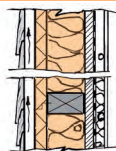
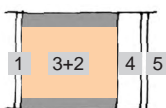


MADRIERS PROFILÉS
EMPILÉS ISOLÉS PAR
L'INTÉRIEUR

- 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

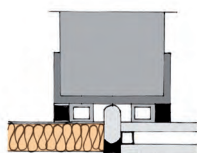
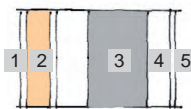


PAROI À OSSATURE BOIS ISOLÉE

- Zone 1 : indispensable, éventuellement = finition de zone 2 supplémentaire
- Zone 2 : nécessaire et intégrée dans la zone 3
- Zone 3 : nécessaire et alternée avec la zone 3
- Zone 4 : éventuelle, aussi zone 2 supplémentaire possible
- Zone 5 : indispensable

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

D



- 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

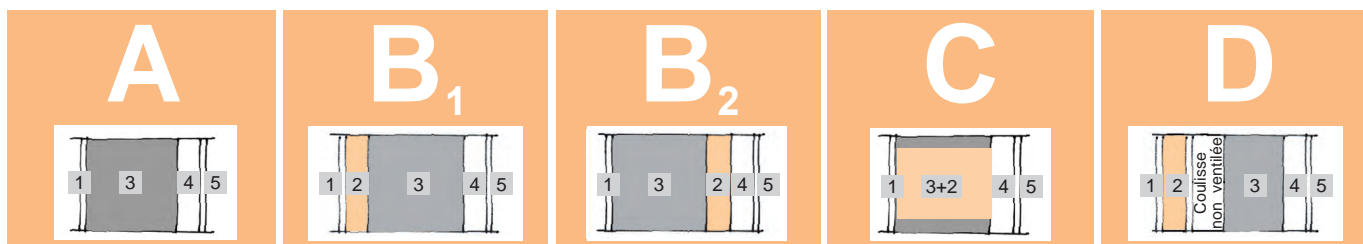
LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES

- 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

PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE SOLIDAIRE SANS COULISSE

Le tableau ci-dessous indique les avantages et inconvénients d'une paroi ne présentant pas de coulisse ventilée et drainée du côté externe de la couche isolante.



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 veiller à apposer un hydrofuge perméable à la vapeur d'eau en zone 1 afin de permettre d'évacuer l'humidité du mur en le protégeant d'infiltration d'eau par cette zone 	<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"> s'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
--

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS

ISOLATION THERMIQUE

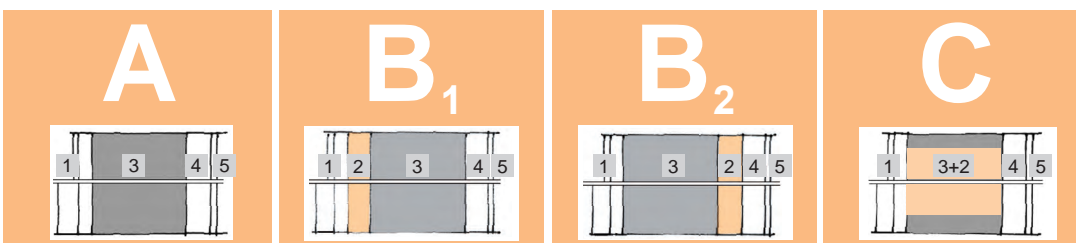
<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si résistance thermique de la paroi suffisante <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> pour une résistance thermique suffisante, nécessite une forte épaisseur car matériau en général conducteur de chaleur. Des blocs seuls apportent difficilement une résistance thermique suffisante. La présence d'un isolant supplémentaire est le plus souvent nécessaire 	<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"> mise en oeuvre compliquée 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 ponts thermiques quasi inexistant dans les ossatures bois <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> mise en oeuvre compliquée pour éviter les ponts thermiques dans les ossatures métalliques et en béton 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>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> lors de canicules de longues durées, difficulté d'évacuer la chaleur stockée 	<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>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> lors de canicules de longues durées, difficulté d'évacuer la chaleur stockée 	<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 réaliser un refroidissement rapide <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> faible inertie induisant des écarts de températures plus importants qu'en présence d'une inertie importante 	<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
---	--	---	---	---

PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE INDÉPENDANTE AVEC COULISSE VENTILÉE OU DRAINANTE

Le tableau ci-dessous indique les avantages et inconvénients d'une paroi présentant une coulisse ventilée et drainée du côté externe de la couche isolante.



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

<p>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> si zone 1 étanche, évite la pénétration de l'eau la coulisse établit une chambre de décompression permettant l'écoulement des eaux <p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> jonctions maçonnerie - châssis à réaliser soigneusement

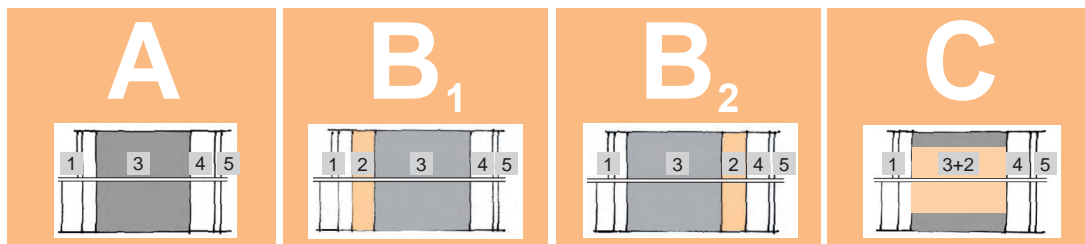
GEL

<p>Contre :</p> <ul style="list-style-type: none"> 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>Pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> la coulisse ventilée et drainée permet d'évacuer l'humidité accumulée au sein de la paroi <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
---	---	--

LES TYPOLOGIES COMMUNES DES MURS



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.

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

Pour :

- si résistance thermique de la paroi suffisante

Contre :

- pour une résistance thermique suffisante, nécessite une forte épaisseur car matériau en général conducteur de chaleur

Des blocs seuls apportent difficilement une résistance thermique suffisante. La présence d'un isolant supplémentaire est le plus souvent nécessaire

Pour :

- 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

Contre :

- nécessite un savoir-faire particulier

Pour :

- bonne résistance thermique de la paroi
- zone 3 beaucoup moins sujette à des écarts de température grâce à la coulisse ventilée et drainée diminuant ainsi le risque d'apparition des fissures

Contre :

- mise en oeuvre compliquée pour éviter les ponts thermiques
- risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant : il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur

Pour :

- bonne résistance thermique de la paroi
- ponts thermiques quasi inexistant dans les ossatures bois

Contre :

- mise en oeuvre compliquée pour éviter les ponts thermiques dans les ossatures métalliques et en béton
- il faut prévoir un pare-vapeur continu du côté intérieur, servant de barrière à l'air

INERTIE THERMIQUE

Pour :

- intéressant pour un bâtiment à usage permanent, surtout si le matériau a une forte masse volumique et donc une grande capacité thermique.

Pour :

- intéressant pour un bâtiment à usage permanent ;
- l'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes.

Pour :

- intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ;

Contre :

- l'inertie du mur n'est pas utilisable pour améliorer le confort intérieur.

Pour :

- intéressant pour un bâtiment à usage intermittent ;

Contre :

- inertie faible, améliorable par des matériaux lourds dans les parois intérieures et dans les planchers.

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS

ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	32
L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR.....	32
LES PEAUX EXTÉRIEURES INTÉGRÉES OU CONFONDUES À LA ZONE 3.....	32
<i>Le mur plein traditionnel.....</i>	32
<i>Le mur monolithique récent, maçonné ou préfabriqué.....</i>	33
<i>Le mur plein isolé par l'intérieur.....</i>	33
LES PEAUX EXTÉRIEURES "SOLIDAIRES" OU "ADHÉRENTES" SANS COULISSE.....	33
<i>La mise en peinture.....</i>	33
<i>L'hydrofugation.....</i>	33
<i>Les enduits extérieurs.....</i>	34
<i>Les panneaux étanches.....</i>	35
LES PEAUX EXTÉRIEURES "INDÉPENDANTES" OU "NON ADHÉRENTES" AVEC UNE COULISSE.....	35
<i>Les peaux extérieures lourdes - le mur creux ou le panneau creux.....</i>	35
<i>Les peaux extérieures "légères".....</i>	36
ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3).....	37
LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES ET DE PARE-VAPEUR.....	37
<i>Les isolants thermiques.....</i>	37
<i>Les produits minces réfléchissants.....</i>	41
<i>Les pare-vapeur.....</i>	41
LES TYPES DE STRUCTURE.....	43
<i>Les parois pleines portantes (types A et B).....</i>	43
<i>Les parois à ossature (type C).....</i>	43
LES MURS-RIDEAUX (TYPE D).....	44
L'ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES EXTÉRIEURES.....	44
L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR.....	45
<i>Les différents systèmes.....</i>	45
<i>Comportement du mur isolé par l'extérieur.....</i>	47
L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR.....	48
<i>Les différents systèmes.....</i>	48
<i>Comportement du mur isolé par l'intérieur.....</i>	50
L'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE ET LES MURS-RIDEAUX.....	51
LES PONTS THERMIQUES.....	52
<i>Cas du mur isolé par l'extérieur.....</i>	52
<i>Cas du mur isolé par l'intérieur.....</i>	52
<i>Cas du mur creux isolé.....</i>	53
<i>Cas d'une paroi ossaturée isolée.....</i>	53
<i>Cas des murs-rideaux.....</i>	53
ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENT (4) ET DE FINITION (5).....	54

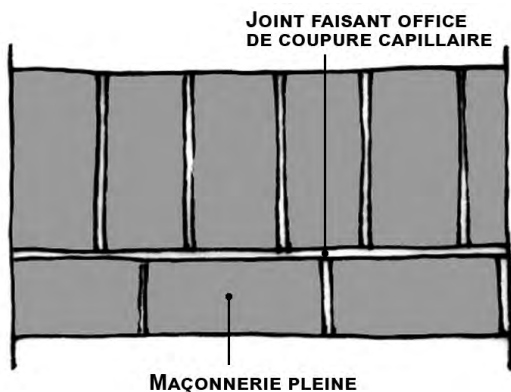
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE

LE COMPORTEMENT DE L'EAU SUR UNE ENVELOPPE

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'éviter, 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 une 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 d'un point de vue hygrothermique.

Elle est également déterminante d'un 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 [DEME-09]

LE MUR PLEIN TRADITIONNEL

Si ce type de mur n'a pas fait l'objet d'un traitement de protection du type "hydrofugation perméable à la vapeur d'eau", 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 :

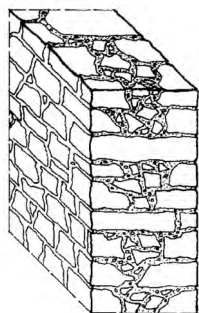
- la plupart des briques et mortier sont capillaires ;
- il y a souvent des joints capillaires entre la brique ou la pierre et le mortier ;
- lorsqu'il y a du vent, l'eau est chassée dans les petites discontinuités présentes dans la maçonnerie.

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

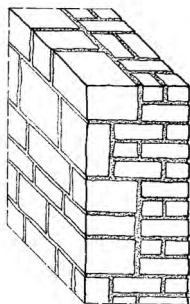
Les murs pleins de 1 brique 1/2 d'épaisseur et plus donnent d'autant moins rapidement lieu à des passages d'eau que :

- 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).

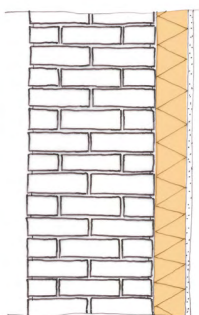
LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS



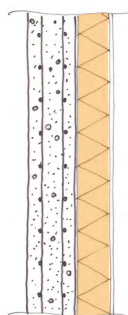
MAÇONNERIE
EN MOELLONS



PAREMENT DE MOELLONS
INTÉGRÉ À UNE MAÇONNERIE
EN BRIQUES



MUR PLEIN DE BRIQUES
ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR



VOILE DE BÉTON
PRÉFABRIQUÉ ISOLÉ
PAR L'INTÉRIEUR

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

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

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

Le séchage saisonnier du mur ne se réalise pas et, après quelques années, une accumulation importante d'eau stagne dans le mur si celui-ci n'a pas été protégé par une hydrofugation perméable à la vapeur d'eau lors de la mise en œuvre de l'isolant. Il est donc toujours préférable que ce type de paroi fasse l'objet d'une protection efficace contre les pluies battantes.

Par ailleurs et comme expliqué plus loin, une attention particulière devra être portée aux noeuds constructifs dans le cas d'une isolation par l'intérieur.

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

LA MISE EN PEINTURE

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

En effet, une partie de l'eau qui s'infiltré dans une paroi verticale 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 [CSTC-13]

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. Appliqués sur une maçonnerie constituée par des matériaux capillaires, les hydrofuges perméable à la vapeur d'eau 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 ouvertes (certains blocs de béton) ou présentant des discontinuités (certaines maçonneries de moellons).

LES ENDUITS EXTÉRIEURS [GREG-09]

La couche d'enduit est généralement composée :

- d'un enduit de base doté d'une armature en fibres de verre. L'enduit de base peut contenir un liant organique (p.e. acrylique) ou un liant minéral (p.e. ciment) éventuellement modifié par un liant organique (p.e. acrylique). La nature du liant joue un rôle prépondérant dans la reprise des inévitables tensions hygrothermiques et dans le comportement à la fissuration.
- d'un enduit de finition. L'enduit de finition peut être minéral (liant principal en ciment et/ou chaux), silicaté (liant principal en silicate de potassium), organique (liant principal sous forme de résine acrylique) ou encore organique siliconé (liant principal sous forme de résine acrylique en émulsion (répulsif à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau)).

Différents modes de mélange et de mise en œuvre existent sur le marché :

- soit une pâte à base d'un liant organique à laquelle est ajoutée une quantité de ciment sur chantier ;
- soit une poudre à base de ciment ou de chaux hydraulique, à laquelle est ajoutée une quantité déterminée d'eau sur chantier ;
- soit des pâtes prêtes à l'emploi.

À ceci s'ajoutent d'éventuels produits de prétraitement ou de finition qui règlent l'absorption du support et qui peuvent contribuer à l'adhérence entre les couches et à en homogénéiser la teinte. Enfin, une peinture appropriée peut parachever le système.

On parle d'un enduit mince lorsque l'épaisseur totale est de l'ordre de 3 à 8 mm et d'un système épais lorsque l'épaisseur est supérieure à 8 mm.

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 perméables à la vapeur d'eau afin de permettre le séchage de la paroi 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.

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 et ne pas présenter un coloris trop foncé.

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

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.
- 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.

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.

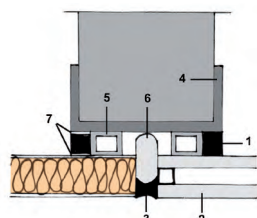
Pour plus d'informations concernant le mur creux, nous renvoyons le lecteur aux chapitres développant la technique du mur multicouche, dans ce guide.

LES TYPES DE JOINTS D'ÉTANCHÉITÉ POUR LES MURS-RIDEAUX [ARCHI-16]

• 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



- 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

d'étanchéité n'est alors soumis qu'à une pression limitée.

• 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.

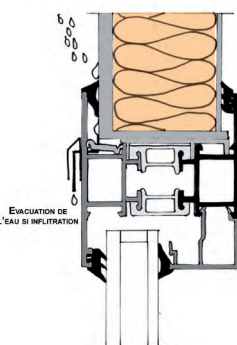
• Les étanchéités réalisées avec des profilés en préformé

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.

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 paroi porteuse. La technique du bardage permet de créer une coulisse drainée entre le revêtement et la paroi porteuse ou l'isolation 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 [ARCHI-16]

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

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

La conductivité thermique λ d'un matériau représente la quantité de chaleur traversant, par unité de temps, un mètre carré d'un matériau homogène ayant une épaisseur d'un mètre et soumis à une différence de température de un degré Kelvin entre ses deux faces.

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

LES ISOLANTS THERMIQUES

Le principe d'un matériau isolant consiste à emmagasiner la plus grande quantité possible d'air dans un maximum d'alvéoles. En effet, l'air immobile constitue le meilleur isolant thermique pour l'échange par conduction, après le vide.

L'encadré ci-dessous reprend les principaux types d'isolants thermiques, à savoir ceux dont la valeur λ est inférieure à 0,065 W/mK [OLIV-10] [GALO-10].

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) ou d'un agrément technique européen (ATE). 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 l'Annexe 3 de l'AGW du 15 décembre 2016 [GW -16-2]. Les 3 Régions (wallonne, de Bruxelles-Capitale et flamande) ont développé une base de données produits (www.epbd.be) reprenant les données certaines pour les produits, à utiliser dans le cadre des calculs PEB. Les valeurs $\lambda_{U,i}$ correspondent aux conditions intérieures (matériau ne pouvant pas être mouillé) et les valeurs $\lambda_{U,e}$ correspondent aux conditions extérieures (matériau pouvant être mouillé). Les 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. Pour certains produits, le marquage CE fournit la conductivité thermique ou la résistance thermique. Les valeurs λ sont également reprises dans l'annexe 1 de cet ouvrage.

LES ISOLANTS SYNTHÉTIQUES

• Le polystyrène expansé (EPS)

Le polystyrène expansé est issu d'un dérivé de raffinage du pétrole, le naphta. Le polystyrène est expansé et moulé grâce à de la vapeur d'eau qui dilate les billes jusqu'à 50 fois leur volume initial. Le polystyrène est donc un matériau composé principalement d'air (94 % à 98 %) et très léger avec une masse volumique comprise entre 10 et 30 kg/m³. Il est le plus souvent de couleur blanche. Une évolution du produit a engendré l'apparition d'un produit dérivé amélioré tel le EPS Ultra ThA présentant des capacités thermiques améliorées grâce à l'adjonction de nanoparticules argentées ou de graphite dans la matrice polymère afin d'opacifier le produit fini. Un autre produit dérivé est le EPS plus dense présentant une masse volumique plus importante et résistant mieux à la compression ; ce type de produit est utilisé pour assurer la continuité thermique aux nœuds constructifs nécessitant une certaine stabilité (exemple : assise des fenêtres).

Le polystyrène expansé ne peut être exposé longtemps à une température supérieure à 70 °C et il résiste mal au feu. Lorsqu'il est destiné à rester apparent, il doit être ignifugé. Le EPS est également facilement recyclable et présente peu de risques pour la santé.

Le produit fini se présente principalement sous forme de panneau rigide rainuré-langueté ou non. Il peut également être commercialisé sous forme de plaques composites combinant isolant et plaque de plâtre ; il peut encore être moulé en forme de blocs à bancher ou, plus simplement, être livré en vrac sous forme de billes afin d'être insufflé ou encore incorporé à du béton.

Valeur lambda : $\lambda = 0,050$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,032 W/mK (par ex. EPS graphité) et 0,038 W/mK.

• Le polystyrène extrudé (XPS)

Le polystyrène extrudé est également issu d'un dérivé de raffinage du pétrole, le naphta. Après polymérisation du styrène, il est extrudé sous pression. Il se produit une mousse, couverte d'une peau étanche à l'air. Ces cellules de surface sont très fermées, ce qui crée une surface très résistante à l'eau et à la compression. Le gaz utilisé pour l'extrusion est généralement du HFC, admis en Europe mais considéré comme étant un gaz à effet de serre. Il existe également des polystyrènes extrudés au gaz carbonique ne renfermant que de l'air (XPS N), moins nocifs pour l'environnement.

Le polystyrène expansé présente des performances thermiques légèrement meilleures que celles du EPS. Sa masse volumique est aussi supérieure ; elle est comprise entre 30 et 40 kg/m³. Il est étanche à l'eau et à la vapeur d'eau mais ses performances comme isolant acoustique sont médiocres. Le coefficient de dilatation thermique du XPS est très élevé. Il résiste mal au feu et à une exposition prolongée à une température supérieure à 75°C. Le XPS doit être séparé de l'habitation par un matériau écran non combustible tel que le plâtre.

Selon les fabricants, il est commercialisé dans différentes couleurs (bleu, jaune, rose, beige, vert) sous forme de panneaux à bords droits ou rainurés-languetés.

Valeur lambda : $\lambda = 0,045$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,029 W/mK et 0,037 W/mK.

• Le polyuréthane (PUR)

Le polyuréthane est obtenu par le mélange de trois composants, un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion (HFC ou CO₂) en présence de catalyseurs. C'est un matériau léger de l'ordre de 40 kg/m³. Les produits expansés avec du HFC sont performants thermiquement et conservent leur stabilité dans le temps, mais présentent un moins bon bilan environnemental car ils contiennent un gaz à effet de serre. Le produit fini présente peu de toxicité mais devient très dangereux en cas d'incendie car il dégage des gaz

nocifs, ce qui rend obligatoire son emploi avec des matériaux écran ou pare-feu. Le polyuréthane se caractérise par un pouvoir isolant très élevé. Il résiste également mal à la chaleur (dégagement de gaz toxiques pour le système nerveux) et au rayonnement ultra-violet.

Les cellules de PUR étant fermées, le matériau supporte bien la compression. Il est très peu perméable à la vapeur d'eau. Il n'est par contre pas parfaitement imperméable à l'air ni à l'eau.

Il est commercialisé sous forme de panneaux à bords droits ou rainurés-languetés. Il peut également être commercialisé sous forme de plaques composites combinant isolant et plaque de plâtre ; il peut encore être projeté in situ mais la mise en œuvre nécessite une prise de précaution particulière afin d'éviter des inhalations toxiques. En bombe, il est très populaire pour réaliser le resserrage des menuiseries extérieures. Il existe aussi un produit dérivé fabriqué à base d'une mousse dure de PUR, qui résiste à des charges mécaniques importantes (masse volumique de l'ordre de 600 kg/m³ et valeur lambda de 0,08 W/mK). Ce matériau est stable par rapport à l'humidité, dur, léger, facile à transformer, résistant aux décalages de températures, calorifuge, résistant aux produits chimiques ; il peut être doublé ou combiné avec d'autres matériaux et se distingue par sa très grande rigidité. Ce type de produit est utilisé pour assurer la continuité thermique aux nœuds constructifs nécessitant une certaine stabilité (exemple : assise des fenêtres, points d'ancrage dans les murs). Son coût est élevé par rapport à un panneau isolant standard ; il est dès lors destiné à remplacer le bois, le verre ou le béton cellulaire à certains endroits stratégiques dans le bâtiment.

Valeur lambda :

PUR en panneaux : $\lambda = 0,035$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,021 W/mK et 0,028 W/mK.

PUR projeté : $\lambda = 0,055$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des PUR projeté dont le λ se situe entre 0,025 W/mK et 0,04 W/mK.

• La mousse de polyisocyanurate (PIR)

Le polyisocyanurate est très semblable au PUR mais se caractérise par un meilleur comportement au feu avec des propriétés mécaniques plus faibles.

Il est commercialisé sous forme de panneaux à bords droits ou rainurés-languetés.

Valeur lambda : $\lambda = 0,035$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,021 W/mK et 0,028 W/mK

• La mousse phénolique (PF)

Ce produit n'est plus utilisé car trop nocif pour la santé et l'environnement, à cause de dégagement de vapeurs de formol plusieurs mois après la pose. Il est par contre possible d'en trouver dans des bâtiments existants.

• La laine de polyéthylène téréphtalate (PET)

Le polymère de synthèse est produit par polycondensation de l'éthylène glycol avec l'acide téréphtalique. Cette matière plastique est principalement utilisée pour la fabrication de bouteilles, flacons, pots, films et feuilles, fibres, etc. Ce produit issu de la famille des thermoplastiques est totalement recyclable. C'est dans ce cadre qu'il est transformé en laine synthétique. Il est composé de 100% de fibres de polyester dont plus de la moitié est issue du recyclage de bouteilles de PET. Il se présente en différents coloris en fonction de sa production. Il est commercialisé sous forme de matelas souple, en rouleau ou en panneau. Il présente également

une bonne isolation acoustique et un bon comportement au feu. C'est un isolant léger, de l'ordre de 15 kg/m³.

Valeur lambda : non répertoriée dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,038 W/mK et 0,042 W/mK.

En PET recyclé, on trouve également les produits minces réfléchissants mais, ne fonctionnant pas de la même manière qu'un isolant traditionnel, ils ne sont pas repris dans cette rubrique.

LES ISOLANTS MINÉRAUX

• La laine de verre (MW)

La laine de verre est élaborée à partir de silice (sable), de verre de récupération (calcin) par fusion, fibrage et polymérisation. Les fibres de laine de verre sont encollées après refroidissement par pulvérisation, de résines phénoliques pour former un matelas stabilisé par chauffage en étuve. La laine de verre a une composition uniforme. La laine de verre 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 mais ne peut être exposée directement au feu. La laine de verre est un matériau léger avec une masse volumique comprise entre 15 et 25 kg/m³ ; elle présente une inertie et un déphasage faibles. Elle est commercialisée sous différentes formes : rouleaux, panneaux semi-rigides, complexes isolants, flocons.

Valeur lambda : $\lambda = 0,050$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,032 W/mK et 0,040 W/mK.

• La laine de roche (MV)

La laine de roche est élaborée à partir de basalte, de fondant et de coke. Les fibres de laine de roche sont liées à l'aide de résines synthétiques polymérisées pour former un matelas. Celui-ci peut présenter différentes rigidités et finitions de surface. La laine de roche est totalement perméable à la vapeur d'eau et totalement perméable à l'air. La laine de roche est incombustible. Elle présente une masse volumique de l'ordre de 40 kg/m³ et possède dès lors une inertie faible à moyenne. Des panneaux plus denses de laine de roche (150 kg/m³) sont également commercialisés pour l'isolation des toitures plates. La laine de roche est commercialisée sous différentes formes : rouleaux, panneaux semi-rigides, complexes isolants, flocons en vrac.

Valeur lambda : $\lambda = 0,050$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,032 W/mK et 0,040 W/mK.

• Le verre cellulaire (CG)

Le verre cellulaire est une mousse de silice ou calcin (verre recyclé) obtenue par expansion de celui-ci lorsqu'il est en fusion. Il est dès lors composé de millions de cellules contenant un gaz inerte. C'est un matériau inerte n'émettant ni gaz, ni substances, ni fibres. Il est très durable mais consomme beaucoup d'énergie lors de sa fabrication. Le CG se caractérise par une grande étanchéité à la vapeur d'eau et est imputrescible et incombustible. Sa masse volumique est comprise entre 120 et 175 kg/m³ et présente dès lors une inertie thermique moyenne. Il est commercialisé sous différentes formes : panneaux ou blocs, et en granulats. Il est particulièrement intéressant comme isolant interposé dans la gestion des nœuds constructifs où une résistance minimale à la compression est exigée. En granulats, il sera généralement utilisé sous dalle.

Valeur lambda : $\lambda = 0,055$ W/mK dans le cadre de la PEB

mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,038 W/mK et 0,050 W/mK.

• La perlite expansée (EPB)

Elle est obtenue à partir de pierre volcanique rhyolitique concassée et expansée à une température d'environ 900°C grâce à de la vapeur d'eau. Elle se caractérise par une grande résistance à la compression et au poinçonnement mais elle ne résiste pas à une humidification prolongée. La perlite est un matériau naturel et écologique mais consomme beaucoup d'énergie lors de sa fabrication. A l'état brut, l'EPB se caractérise par une grande résistance à la chaleur et est incombustible. Sa masse volumique est comprise entre 90 et 165 kg/m³ et présente dès lors une inertie thermique intéressante. Elle est commercialisée sous différentes formes : soit sans adjonction d'autres produits, en vrac ; soit en incorporant des fibres cellulosiques et/ou du bitume pour constituer des panneaux. La perlite n'est quasiment pas utilisée pour isoler des parois verticales.

Valeur lambda :

EPB en panneau : $\lambda = 0,06$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le $\lambda = 0,05$ W/mK.

EPB en vrac : $\lambda = 0,08$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le $\lambda = 0,05$ W/mK.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE VÉGÉTALE

• La fibre de bois

Elle est obtenue à partir des résidus de bois de scierie. Ceux-ci sont agglomérés, sans liant synthétique, grâce à la lignine du bois. Ils se présentent sous la forme de panneaux ou matelas auto-agglomérés de diverses formulations, densités, profilages et épaisseurs. Leurs densités varient entre 50kg/m³ pour les plus performants d'un point de vue thermique et 200kg/m³ pour les moins performants. Ces panneaux s'utilisent comme isolation à part entière ou comme panneaux techniques complémentaires d'isolation. Ils sont très difficilement inflammables. Les panneaux et matelas de fibre de bois sont perméables à la vapeur d'eau et constituent de bons régulateurs hygrométriques : ils absorbent l'humidité et la rejettent quand le temps est sec. Ils présentent également de bonnes performances acoustiques. La fibre de bois est également disponible en vrac afin d'être insufflée comme la cellulose.

Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,036 W/mK et 0,050 W/mK.

• La cellulose

Elle provient du papier recyclé. Le papier est broyé, défilé et réduit en flocons, puis malaxé avec des produits de traitement pour résister au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux moisissures. Toutefois, les fabricants essaient de ne pas dépasser 12% du poids du produit. La densité de la ouate de cellulose en vrac est variable :

- Pour l'insufflation à sec, elle est de 30 à 40 kg/m³ ;
- Pour la projection avec apport d'eau, elle est de 30 à 50 kg/m³ ;
- Pour l'épandage manuel à sec dans les combles, elle est de 35 à 60 kg/m³ ;
- Pour l'épandage manuel dans les combles avec apport d'eau, elle est de 45 à 60 kg/m³ ;
- Pour le remplissage de caissons de murs et de toiture, elle varie entre 45 et 65 kg/m³.

Pour le matelas de cellulose, la densité est plus élevée ; elle

est de l'ordre de 70 kg/m³. Elle se présente en vrac, compactée ou décompactée, en panneaux isolants texturés ou en panneaux d'agencement. Elle est auto-extinguible. Elle est très perméable à la vapeur d'eau et hygroscopique ; elle est dès lors une très bonne régulatrice de l'hygrométrie ambiante. Ses performances acoustiques sont bonnes pour l'isolation contre les bruits aériens.

Valeur lambda :

Cellulose en matelas : $\lambda = 0,06$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le $\lambda = 0,038$ W/mK.

Cellulose en vrac : $\lambda = 0,08$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment de la cellulose insufflée dont le λ se situe entre 0,038 W/mK et 0,040 W/mK (hors ossature).

• Le liège expansé

Le liège est réduit en granules puis éventuellement 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 imputrescible, chimiquement neutre, de faible densité, antistatique et résiste à l'eau grâce à la subérine qui imprègne ses cellules. Il est peu combustible et ne dégage pas de vapeurs toxiques en cas d'incendie. Le liège expansé en plaques présente une densité de 65 à 75 kg/m³ et le liège en vrac, une densité de 70 à 160 kg/m³. Le liège peut aussi être simplement aggloméré (non expansé) et présente dans ce cas une densité de l'ordre de 200 kg/m³.

Valeur lambda : λ entre 0,06 W/mK (en panneaux) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,040 W/mK (en panneaux) et 0,045 W/mK (en vrac).

• Le chanvre

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

A noter que le chanvre est inflammable et sensible à l'humidité. Le chanvre est naturellement imputrescible. Il est perméable à la vapeur d'eau et constitue un bon régulateur hygrométrique : il absorbe l'humidité et la rejette quand le temps est sec.

Il existe plusieurs présentations :

- en granules de chênevotte : la chênevotte 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 chênevotte est ensuite affinée et calibrée pour donner une laine homogène (en vrac, en rouleaux ou en panneaux semi-rigides). Il est difficilement inflammable. Les laines de chanvre ont une densité comprise entre 30 et 40 kg/m³.

Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK (en matelas) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,039 W/mK et 0,045 W/mK.

• Le lin

Les produits actuels d'isolation sont fabriqués à partir des fibres courtes situées en pied de tige 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. Légères, les laines de lin présentent une densité comprise entre 20 et 60 kg/m³. La laine de lin est imputrescible mais doit être traitée pour prévenir le développement des moisissures, la protéger contre les insectes et le feu. Les laines de lin ont une perméabilité et un pouvoir hygroscopique important. L'humidité est absorbée et restituée en fonction de l'hygrométrie ambiante. Elle est également difficilement inflammable. La laine de lin se présente en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre.

Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK (en matelas) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,037 W/mK et 0,047 W/mK (feutre).

• La laine de coco

Elle est issue de la bourre entourant la coque des noix du cocotier composée en majeure partie de cellulose. Ces fibres (également appelées coir) sont extraites, séchées, cardées et tissées pour former un matelas. Après pressage, on atteint la rigidité nécessaire pour la confection de panneaux semi-rigides ou de matelas de laine de coco. Leur masse volumique est comprise entre 20 et 125 kg/m³ selon l'intensité de pressage. Les panneaux de coco offrent des performances acoustiques intéressantes, aussi bien au niveau des bruits d'impact qu'aériens. Les fibres de coco laissent passer la vapeur d'eau sans craindre l'humidité car elles sont naturellement peu absorbantes. Elles sont imputrescibles et ne craignent pas les insectes ni les champignons. Elles sont dimensionnellement stables. La laine de coco est ignifugée au sel de bore. Elle est commercialisée en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides (les fibres sont liées et texturées par une colle au latex naturel) ou en feutre.

Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK (en matelas) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,037 W/mK et 0,05 W/mK.

• La laine de coton

Les fibres ne reçoivent aucun traitement chimique ; elles sont simplement cardées et reçoivent un traitement ignifugeant au sel de bore. La plupart des laines de cotons utilisées comme isolation sont fabriquées avec des mélanges de coton naturel et de cotons recyclés issus de déchets de coupes ou de vêtements. Certains produits utilisent uniquement du coton recyclé car cette ressource est abondante. Ces produits sont plus bénéfiques pour l'environnement puisqu'ils permettent de développer une filière de recyclage et valorisent les vêtements usagés. La densité de la laine de coton en matelas est comprise entre 20 et 25 kg/m³ ; celle en vrac présente une densité plus faible de l'ordre de 13 kg/m³. Une isolation thermique en laine de coton apporte une faible inertie thermique au bâtiment. Attention également de noter que la laine de coton a tendance à se tasser dans le temps lorsqu'elle est utilisée en isolation verticale. On l'utilisera plus volontiers pour isoler des combles non aménageables ou une toiture en pente. Les performances acoustiques de la laine de coton sont intéressantes pour l'isolation contre les bruits aériens. La laine de coton est très perméable à la vapeur d'eau et est hygroscopique ; elle permet dès lors de réguler l'hygrométrie de l'air à l'intérieur d'un bâtiment. La laine de coton est commercialisée en vrac, en rouleaux ou en feutre.

Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK (en matelas) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre

couramment des produits dont le λ se situe entre 0,037 W/mK et 0,042 W/mK (en vrac).

• La paille

La paille est un produit végétal, généralement récolté et conditionné sous forme de ballot. Les ballots utilisés comme isolant sont parallélépipédiques ; ils doivent présenter une densité de l'ordre de 80 kg/m³ et être calibrés à bonne dimension. Le ballot est mis en œuvre par empilage et est généralement retenu par une double-ossature.

La paille est un produit naturel et recyclable à 100%. L'isolation en paille compactée est peu inflammable. Soumise à l'humidité, elle perd en efficacité thermique. C'est également un très bon isolant acoustique.

Le produit fini se présente principalement sous forme de ballots ; il peut également être utilisé en vrac mais la mise en œuvre du matériau sous cette forme demande un contrôle rigoureux de la densité uniforme de l'isolant pendant la pose. La paille en vrac peut également être mélangée à de la terre pour obtenir un mélange à bancher ou à enduire.

A noter que la paille craint la vermine et qu'il est donc indispensable de crépir ou enduire la paille.

Valeur lambda : $\lambda = 0,080$ W/mK dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le $\lambda = 0,060$ W/mK.

• Les roseaux

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

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE ANIMALE

• La laine de mouton

Les produits de tonte de moutons 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. Puis elle est triée, cardée, nappée pour former un matelas. Celui-ci peut alors subir un des traitements suivants pour obtenir une tenue indispensable afin d'être utilisée comme isolant : l'aiguilletage ou la thermoliation :

- L'aiguilletage consiste à faire passer la laine entre deux rampes d'aiguilles qui vont enchevêtrer les fibres. L'isolant obtenu est bien plus dense que le procédé par thermoliation, mais nécessite également plus de matière.

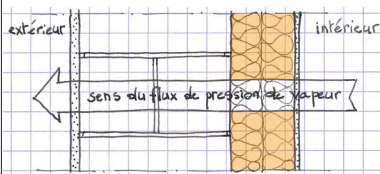
- Dans la fabrication par thermoliation, la laine est mélangée avec des fibres thermofusibles comme du polypropylène ou du polyester et le mélange est chauffé à 130 °C pour agglomérer la laine. Le matelas passe ensuite entre deux rouleaux pour acquérir l'épaisseur désirée, puis on le laisse refroidir pour figer sa structure.

La laine reçoit ensuite un traitement insecticide et ignifuge, principalement à base de sels de bore. Il faut également traiter la laine contre les mites car elle y est très sensible. La laine de mouton présente une densité entre 12 et 35 kg/m² ; sa faible inertie la rend inadaptée pour le confort d'été. Elle est très perméable à la vapeur d'eau et présente de grandes capacités hygroscopiques mais perd en capacité thermique lorsqu'elle est trop humide. La pose d'un pare-vapeur est dès lors toujours conseillée. Elle se présente en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre.

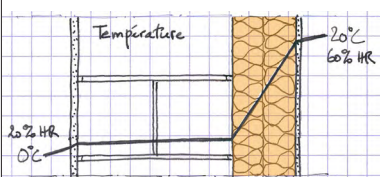
Valeur lambda : $\lambda = 0,06$ W/mK (en matelas) et 0,08 W/mK (en vrac) dans le cadre de la PEB mais on rencontre couramment des produits dont le λ se situe entre 0,035 W/mK et 0,044 W/mK.

FORMATION DE CONDENSATION INTERNE PAR DIFFUSION DE VAPEUR

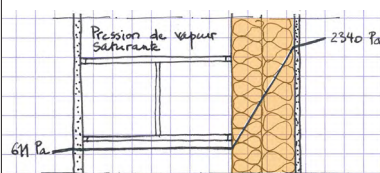
Dans un mur plein isolé par l'intérieur, le risque de condensation est important lorsque l'isolation thermique (perméable à la vapeur) est posée sans pare-vapeur ou avec un pare-vapeur mal placé.



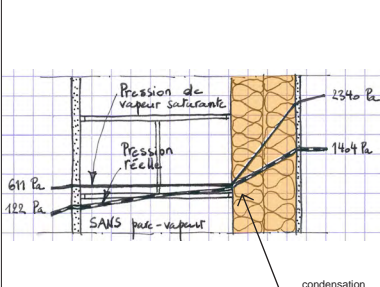
En hiver, la pression de vapeur d'eau de l'air chaud à l'intérieur du bâtiment est toujours supérieure à celle de l'air extérieur. Il y a donc une diffusion de vapeur à travers la paroi, qui va de l'intérieur vers l'extérieur.



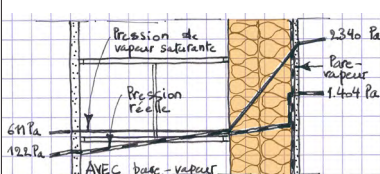
D'une part, la baisse de température dans les différentes couches de matériau est d'autant plus grande que la résistance thermique R du matériau est importante.



La chute de la pression de vapeur dans chacune des couches de matériau est d'autant plus grande que la résistance à la diffusion de vapeur μd du matériau est élevée.

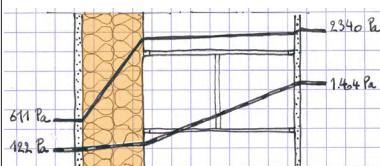


D'autre part, à chaque température régnant à l'intérieur d'un matériau correspond une pression de vapeur de saturation P_{vs} . La condensation interne se produit si, à un endroit d'une couche, la pression de vapeur réelle P_v devient égale à la pression de vapeur de saturation P_{vs} correspondant à la température de cet endroit.



L'interposition d'un pare-vapeur fait en sorte que la pression de vapeur réelle P_v reste partout inférieure à la pression de vapeur de saturation P_{vs} .

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



soit grâce à une finition extérieure perméable à la vapeur tout en étant imperméable à la pluie battante (solution illustrée ci-contre) ;

- soit avec 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 PRODUITS MINCES RÉFLÉCHISSANTS

Un produit mince réfléchissant (PMR) est constitué d'une mince couche de matériau recouverte sur une ou deux faces de feuilles réfléchissantes (feuilles d'aluminium ou films aluminisés).

Cette couche de matériau intermédiaire peut être une mousse souple, un film de polyéthylène emprisonnant des bulles d'air, un feutre d'origine animale...

Certains produits sont de type multi-couches. L'épaisseur totale des produits réfléchissants varie de quelques millimètres à quelques centimètres. Pour pouvoir bénéficier de l'effet réfléchissant des couches superficielles, le produit doit être placé en vis-à-vis d'une ou de 2 lames d'air non ventilées. Ce produit est en général utilisé en rénovation ou en complément d'isolation. A lui seul, un isolant mince réfléchissant ne satisfait pas la réglementation thermique en vigueur.

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.

Pour ce faire, il faut placer des matériaux de plus en plus ouverts à la vapeur d'eau depuis l'intérieur vers l'extérieur de la paroi. Si, pour une raison particulière, un matériau imperméable est placé du côté extérieur de l'isolation, il faudra impérativement placer un matériau du côté intérieur de l'isolation dont l'étanchéité à la vapeur d'eau est encore plus importante que celle du matériau situé du côté externe de l'isolation, et cela afin d'éviter un risque de condensation sur la face interne du matériau imperméable externe.

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 (« mu ») est le coefficient de résistance de diffusion à la vapeur d'eau. Il détermine la perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau et est sans dimension. Plus le μ est

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS

- élevé, moins il y a diffusion de vapeur d'eau. Une valeur μ égale à 1 correspond à la résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'une couche d'air de 1 mètre d'épaisseur ;
- d est l'épaisseur du matériau exprimée en mètre.

La valeur μ_d ou S_d fait intervenir l'épaisseur de la couche. Elle s'exprime en m. Elle est mesurée selon la norme EN ISO 12572-2001 et pour certains matériaux peut se calculer comme suit : $S_d = \mu \times d$, d étant l'épaisseur du matériau en m.

La valeur μ_d 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-dessous qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion μ_d [CSTC-14-1].

MATÉRIAUX LE PLUS COURAMMENT UTILISÉS COMME BARRIÈRE D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET À LA VAPEUR EN FONCTION DE LA RÉSISTANCE MOYENNE À LA DIFFUSION DE VAPEUR (AVEC LES VALEURS INDICATIVES DE S_d [CSTC-14-1])

TYPES DE MATÉRIAUX	VALEUR $S_{d,eq} = \mu \cdot d_{eq}$ ⁽¹⁾
Classe E1 - Matériaux faiblement imperméables à la vapeur	$2 \text{ m} < S_d \leq 5 \text{ m}$
Film à base de papier	3-5 m (> 0,8 m) ⁽²⁾
Feuille à base de polyamide	5 m (> 0,2 m) ⁽²⁾
Classe E2 - Matériaux relativement à la vapeur ⁽³⁾	$5 \text{ m} < S_d \leq 25 \text{ m}$
Voile de polypropylène	8 m ⁽²⁾
Film de polyéthylène ($\geq 0,15$ mm, posé, y compris perforations par les agrafes)	5 à 25 m
Fibres de polyéthylène non tissées	5 à 10 m
Classe E3 - Matériaux capables de freiner fortement la vapeur ⁽⁴⁾	$25 \text{ m} < S_d \leq 200 \text{ m}$
Feuille d'aluminium sur supports divers	150 m
Bitume polymère (joints étanches) ⁽⁵⁾	25 à 200 m
Classe E4 - Matériaux étanche à la vapeur ⁽⁴⁾	$200 \text{ m} < S_d$
Membrane bitumineuse renforcée d'une armature d'aluminium (Alu 3)	> 250 m

(1) Les études hygrothermiques sont effectuées en tenant compte de la valeur exacte de la résistance à la diffusion de vapeur des matériaux et de l'influence de la pose dans la paroi (fixations, joints, jonctions des bords, etc.). On prend en compte cette influence en calculant la valeur $S_{d,eq}$, c'est-à-dire la résistance équivalente à la diffusion de vapeur. Il y a lieu de demander cette valeur au fabricant pour chaque produit. S'il ne peut fournir que la valeur S_d (résistance à la diffusion de vapeur du produit déterminée en laboratoire, sans tenir compte de l'influence de la pose), il faut bien garder à l'esprit que la résistance à la diffusion de vapeur équivalente du produit après la pose ($S_{d,eq}$) pourra être inférieure à la valeur théorique. La mise en oeuvre d'une barrière d'étanchéité à l'air et à la vapeur dans une paroi doit s'effectuer de telle sorte que les joints entre les lés ou les panneaux et les raccords avec les autres éléments de construction soient soigneusement obturés (collage ou soudage). En d'autres termes, la paroi doit être parfaitement étanche à l'air (classe L1 ou mieux selon la classification au CSTC utilisée dans les toitures). En outre, les barrières d'étanchéité à l'air et à la vapeur de classe E3 et E4 doivent être posées sur un support continu (panneaux à base de bois, par exemple) ; les perforations (vis ou autres) ne sont pas autorisées dans les pare-vapeur de classe E4. Si ces prescriptions sont respectées, on peut supposer, dans le cas d'un pare-vapeur de classe E1 ou E2, que la résistance équivalente à la diffusion de vapeur sera relativement proche de la résistance théorique ($S_{d,eq} = S_d$). Dans le cas où la barrière à l'air et à la vapeur offre une grande résistance à la diffusion de vapeur (classe E3 ou mieux), il se peut que la différence entre la valeur réelle et la valeur théorique soit relativement importante. Il est dès lors recommandé d'avoir recours à des membranes d'attente, de tenir compte de la valeur S_d de la bande d'étanchéité à l'air choisie et de bien obturer tous les raccords de manière à ce qu'ils soient parfaitement étanches.

(2) Pour les matériaux dont la valeur μ dépend de l'humidité relative de l'air (HR), on mentionne une valeur moyenne (pour une humidité relative d'environ 50 %) et une valeur minimum (pour une humidité relative d'environ 90 %).

(3) La gamme de produits actuellement disponibles pour une application comme pare-vapeur est très étendue et évolue constamment.

(4) Cette classe de matériau permet d'atteindre des performances élevées si la pose est effectuée sur un support continu.

(5) Comme pare-vapeur de classe E3, on peut utiliser une membrane bitumineuse de 3 ou 4 mm d'épaisseur. Nous opterions plutôt pour des membranes renforcées d'une armature en polyester et non pour des membranes avec une armature en voile de verre, qui peuvent se déchirer beaucoup plus rapidement (en fonction de l'exposition). L'utilisation du bitume polymère est peu courante dans les parois verticales.

Pour plus d'informations concernant les parois pleines portantes, nous renvoyons le lecteur aux chapitres « La technologie particulière des murs pleins » et « La technologie particulière des murs multicouches » de cet ouvrage.

Pour plus d'informations concernant les façades à structure bois, nous renvoyons le lecteur au chapitre « La technologie particulière des murs à ossature » de cet ouvrage.

LES TYPES DE STRUCTURE

LES PAROIS PLEINES PORTANTES (TYPES A ET B)

Elles peuvent être constituées :

- de maçonnerie en briques pleines de terre cuite ou en moellons de pierre naturelle. Dans ce cas l'épaisseur est généralement assez 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 blocs de béton ou de polystyrène creux à bancher de béton ;
- de madriers en bois empilés ;
- de panneaux sandwichs autoportants sans ossature ;
- de panneaux en bois contrecollés ou contre-cloués massifs ;
- 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 et peut être isolée dans les vides de l'ossature ;
- le système d'enveloppe et de contreventement, à savoir, le remplissage ou galandage en bois, en torchis, en maçonnerie de brique ou de pierre enduite ou non, ou encore plus récemment utilisé, le panneautage et le parement.

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 le calcul du coefficient de transmission thermique de ce type de parois (valeur U), il faut tenir compte de la proportion de bois/acier et de la proportion d'isolant.

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS

Pour plus d'informations concernant les murs rideaux, nous renvoyons le lecteur au chapitre « La technologie particulière des murs rideau » de cet ouvrage.

LES MURS-RIDEAUX (TYPE D)

La structure des murs-rideaux est l'ossature porteuse cachée derrière la paroi. La zone 3 n'est donc pas une couche homogène et continue dans cette typologie.

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 est 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.

L'ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES EXTÉRIEURES

Performance thermique requise en Région wallonne

Outre des niveaux de performances globales à atteindre (niveau K, niveau E_w , niveau E_{spec} , indice de surchauffe), 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 en vigueur, un coefficient de transmission thermique U de 0,24 W/(m².K) est requis pour les parois extérieures opaques (sauf portes et portes de garage) [GW -16-2].

ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION		U_{max} [W/(m ² .K)]
Parois délimitant le volume protégé	Toitures et plafonds	0,24
	Murs ⁽¹⁾	0,24
	Planchers ⁽¹⁾	0,24
	Portes et portes de garage	2,00
	Fenêtres : - ensemble châssis et vitrage - vitrage uniquement	1,50 1,10
	Murs-rideaux : - ensemble châssis et vitrage - vitrage uniquement	2,00 1,10
	Parois transparentes/translucides autres que les portes, portes-garage et murs-rideaux (voir ci-dessus), et autres que le verre : - ensemble châssis et partie transparente - partie transparente uniquement (ex : coupole de toit en polycarbonate...)	2,00 1,40
	Briques de verre	2,00
Parois entre 2 volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes ⁽²⁾		1,00
Parois opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle ⁽³⁾		1,00
⁽¹⁾ Pour les parois en contact avec le sol, la valeur U tient compte de la résistance thermique du sol et doit être calculé conformément aux spécifications fournies à l'Annexe 3 de l'Arrêté ⁽²⁾ A l'exception des portes et des fenêtres ⁽³⁾ Parois opaques (à l'exception des portes et portes de garage)		

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U_{max} (W/M²K) À RESPECTER, SELON LA RÉGLEMENTATION PEB EN VIGUEUR DU 1/01/17 AU 31/12/20 (VOIR TABLEAU COMPLET REPRIS À L'ANNEXE 3 DE L'AGW PEB DU 28/01/16) [GW -16-1]

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR

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

La technologie du mur creux est abordée plus loin dans cet ouvrage. 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.

CONSEILS DE MISE EN OEUVRE DE L'ISOLANT THERMIQUE

Lorsque le mur est isolé par l'extérieur, mur et isolant doivent rester parfaitement secs. Si l'isolant thermique est placé directement contre le mur plein et que l'isolant est souple, il épousera parfaitement la forme du support même si celui-ci est un peu irrégulier. Par contre, 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 plus 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 et les courants de convection.

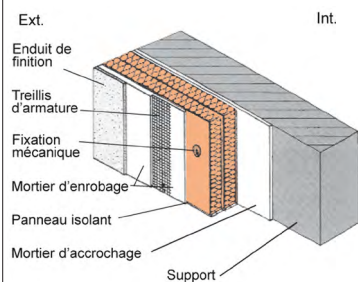
L'isolation thermique de l'enveloppe doit être continue. La couche isolante du mur doit être raccordée aux couches isolantes des autres parois du volume protégé. Elle doit être dans le prolongement et en contact avec le dormant des châssis de portes et fenêtres.

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

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau de la page suivante récapitule les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur [FFPC-01-1] [FFPC-01-2] [SIMO-96].

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



Ce système comprend :

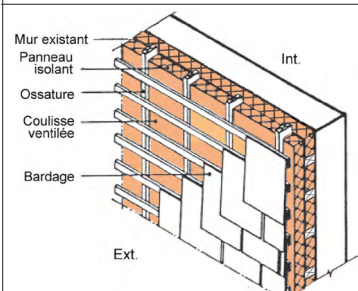
- des panneaux de polystyrène, de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane collés et/ou fixés mécaniquement au support ;
- un enduit de finition armé d'un treillis, synthétique ou métallique. Dans certains cas, ce treillis est partiellement incorporé dans l'isolant.

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 découpée. 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 si une plinthe différenciée est prévu ; sinon, la couche isolante peut être également enterrée. Dans ce cas, la nature de l'isolant est différente (polystyrène plus dense) et le revêtement est peint et non enduit. 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'isolation. 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

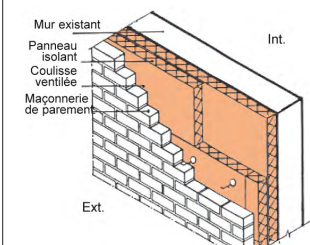
Ce système comprend :

- une ossature bois ou métallique rapportée et fixée au support ancien (parfois en deux couches croisées) ; Attention : une ossature métallique n'est pas recommandée car elle induit des ponts thermiques.
- un isolant thermique inséré entre ou sous les éléments de l'ossature ;
- un pare-pluie parfaitement continu (membrane de type sous-toiture) ;
- une lame d'air, ventilée afin d'évacuer l'humidité éventuelle présente au dos du bardage ;
- un bardage constituant la "peau extérieure" (ardoises, lamelles métalliques ou plastiques, revêtements en bois, en zinc, en inox, en panneaux enduits, en pierres, etc.) fixé à une seconde ossature en bois ou métallique. Les éléments de structure bois doivent être traités contre les attaques par les champignons et les insectes.

PANNEAUX SANDWICHES PRÉFABRIQUÉS

Ce sont des panneaux composites, fixés mécaniquement au support, comportant une finition extérieure résistant aux intempéries (le plus souvent en métal, en matière synthétique ou en constitué 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 dans les bâtiments résidentiels, mais plutôt dans les bâtiments industriels.



PAREMENT EN MAÇONNERIE AVEC COULISSE VENTILÉE

Ce système revient à créer un mur creux ventilé.

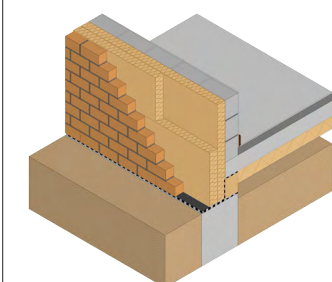
Un isolant est posé contre le mur plein. Il est fixé mécaniquement à la paroi à l'aide de crochets et rondelles. Un mur de parement est monté devant l'isolant en laissant un espace formant coulisse d'une épaisseur de 3 à 5 cm.

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 (pied 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.



PAREMENT EN MAÇONNERIE SANS COULISSE VENTILÉE

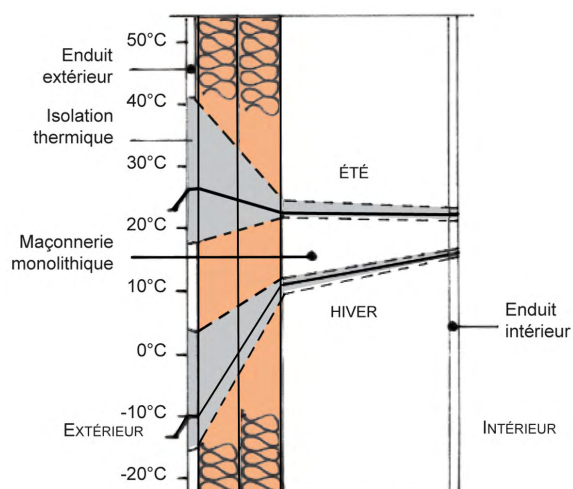
Ce système revient à créer un mur creux très peu ventilé.

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

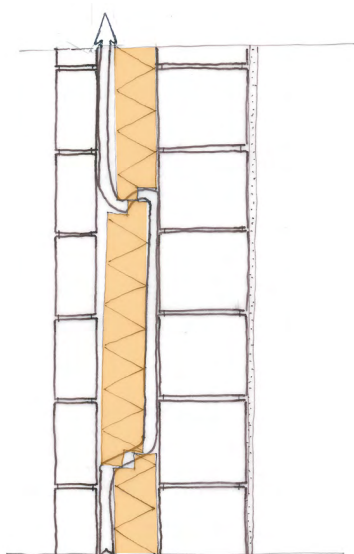
Un isolant est posé contre le mur plein. Il est fixé mécaniquement à la paroi à l'aide de crochets et rondelles. Un mur de parement est monté devant l'isolant avec une membrane drainante séparant l'isolant du parement. Une membrane d'étanchéité et un joint vertical ouvert doivent être prévus à toute interruption de la membrane drainante (pied 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.

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

COMPORTEMENT DU MUR ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR



EVOLUTION 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 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 mouvement et fissuration d'origine thermique de la paroi porteuse sont donc supprimés.

Par contre, les risques de mouvement dans le parement extérieur sont possibles. Par exemple, dans le cas d'un enduit sur isolant, vu la faible inertie du parement, 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.

• Etanchéité 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 et/ou derrière une membrane pare-pluie (type sous-toiture).

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.

• 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

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS

- 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. C'est une situation à éviter car le risque de condensation reste bien réel derrière le revêtement extérieur imperméable à la vapeur.

L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR

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

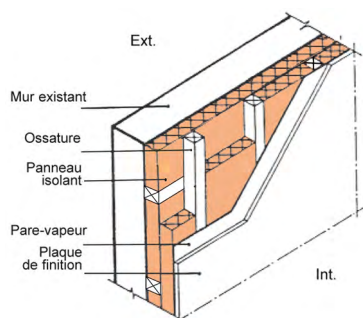
- est sec ;
- est protégé efficacement contre les pluies battantes ;
- dispose d'une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascendante.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau ci-contre donne les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'intérieur [FFPC-01-1] [FFPC-01-2] [SIMO-96].

ATTENTION : les trois premiers systèmes énoncés ne conviennent pas lorsque le mur extérieur est fort perméable à l'eau car il y a risque d'accumulation d'eau entre le mur extérieur et l'isolant intérieur. L'idéal est de prévoir l'apposition d'un bardage ou bien une hydrofugation, perméable à la vapeur d'eau, de la peau extérieure.

PANNEAUX D'ISOLATION ENTRE LATTES



Ce système comprend :

- une ossature (bois, métal ou PVC) fixée mécaniquement dans le mur ou libre et idéalement écartée de celui-ci par l'interposition d'une couche isolante ;
- des panneaux d'isolation semi-rigides ou de l'isolation projetée insérés entre l'ossature ;
- un pare-vapeur ;
- un vide technique pour l'insertion des techniques spéciales ;
- une finition composée de plaques de plâtre enrobé de carton, de lambris, de panneaux en bois, etc.

Quelques conseils d'exécution :

- Si l'isolant est un matelas, celui-ci est légèrement compressible afin de remplir aussi complètement que possible l'espace disponible entre les lattes et entre le mur et le pare-vapeur.
- Si l'isolant est projeté, le surplus débordant des montants est raclé avant durcissement afin de pouvoir placer le pare-vapeur et la finition correctement.
- Pour le pare-vapeur, la technique la plus aisée est d'agrafer sur le bois ou de coller sur les lattes un pare-vapeur de classe E2. Le recouvrement entre lés est agrafé ou collé et recouvert d'une bande adhésive pour empêcher l'humidité intérieure d'entrer dans la couche isolante.
- L'entraxe entre les montants est fonction de la largeur des matelas d'isolation utilisés.
- Si l'ossature est métallique, il faut en tenir compte dans le calcul du U de la couche, par une approche numérique, et veiller à ce qu'elle ne constitue pas un pont thermique.

SYSTÈME AVEC ENDUIT

Ce système comprend :

- des panneaux d'isolation collés au mur, éventuellement fixés mécaniquement. Les panneaux doivent être suffisamment étanches 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.

PANNEAUX ISOLANTS SANDWICHES

Ce système comprend :

- des panneaux d'isolation revêtus d'une plaque de finition ; dans certains panneaux, un pare-vapeur est inséré entre l'isolant et la finition.

Deux types de mise en oeuvre sont possibles :

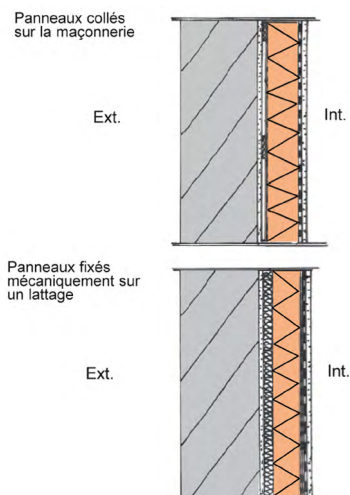
- *Les panneaux sont collés sur la maçonnerie* ; la pose par collage doit être utilisée sur des murs maçonnés non enduits et parfaitement secs ; la face extérieure du mur doit être imperméable aux pluies battantes mais perméable à la vapeur d'eau. Les panneaux composites sont placés verticalement, d'une 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. Aucune technique spéciale ne peut être insérée dans le mur.

- *Les panneaux sont fixés mécaniquement sur un lattage (en bois ou en plastique)* ; 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 :

- 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.

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. Aucune technique spéciale ne peut être insérée dans le mur.

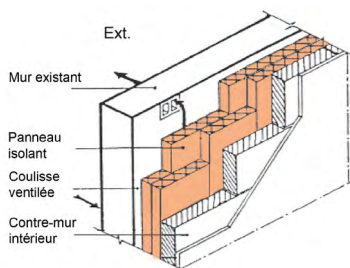


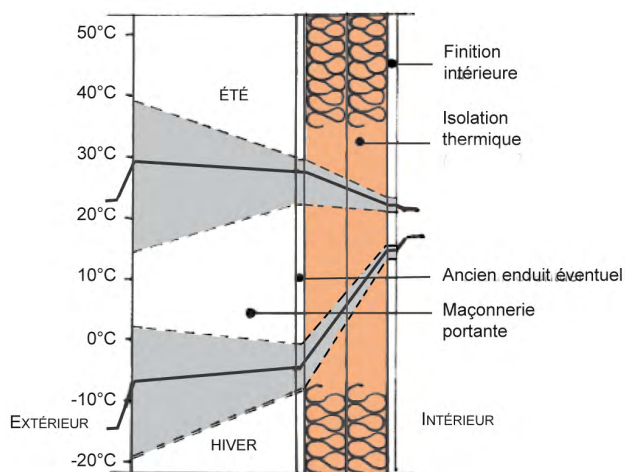
SYSTÈME AVEC CONTRE-MUR

Ce système comprend :

- une élévation d'un contre-mur intérieur indépendant de la structure porteuse du bâtiment ;
- 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 porteur du bâtiment et les panneaux d'isolation ; cette coulisse comporte en son pied un drainage vers l'extérieur.
- une finition intérieure étanche à l'air.

Cette solution revient en fait à créer un double mur. Elle est généralement utilisée en rénovation et n'est pas souvent prescrite. Elle est uniquement 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).





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 paroi portante en période hivernale et ralentit son séchage, ce qui peut mener à des dégâts dus au gel dans les matériaux composant la façade.

COMPORTEMENT D'UN MUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

• Comportement thermique

Un bâtiment isolé par l'intérieur perd l'inertie thermique accessible de ses parois lourdes ; cela a pour conséquence d'atténuer fortement le rôle de régulation thermique des parois. Ainsi, un local est rapidement chauffé et peut se refroidir tout aussi vite. Ces variations rapides de température influencent fortement le confort thermique si le bâtiment n'est pas étanche à l'air.

Lorsqu'on place un isolant du côté intérieur de la maçonnerie, le mur extérieur est plus froid en hiver et plus chaud en été que le même mur sans isolation thermique. Le mur extérieur isolé par l'intérieur subit donc des variations de température plus grandes et plus fréquentes. Des 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 un pare-vapeur avec raccords rendus étanches sur la face intérieure de l'isolant ;
- hydrofuger ou rendre étanche à l'eau ruisselante la finition extérieure de la face.

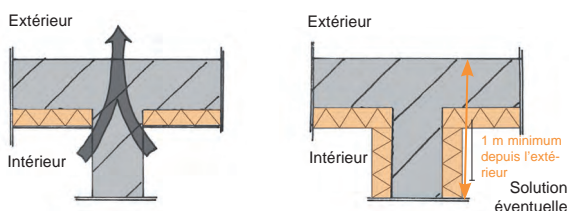
Il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant si la vapeur d'eau a la possibilité de traverser le complexe isolant-finition.

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.

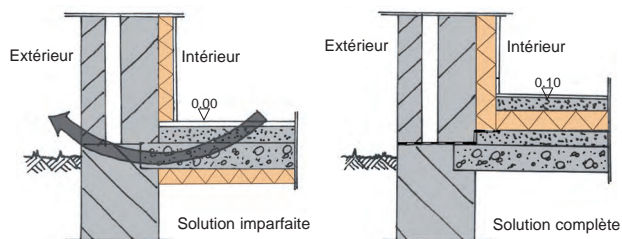
Pour cela, il y a lieu de prévoir le choix d'un isolant peu perméable à la vapeur d'eau (XPS, PUR, EPS, etc.) avec l'interposition d'un pare-vapeur efficace (de classe E1 ou E2 en fonction du risque) entre l'isolant et la finition.

EXEMPLES DE PONTS THERMIQUES (À GAUCHE) TRANSFORMÉS EN NOEUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES (À DROITE)

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 extérieur-mur de refend afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissure qui pourrait en résulter.

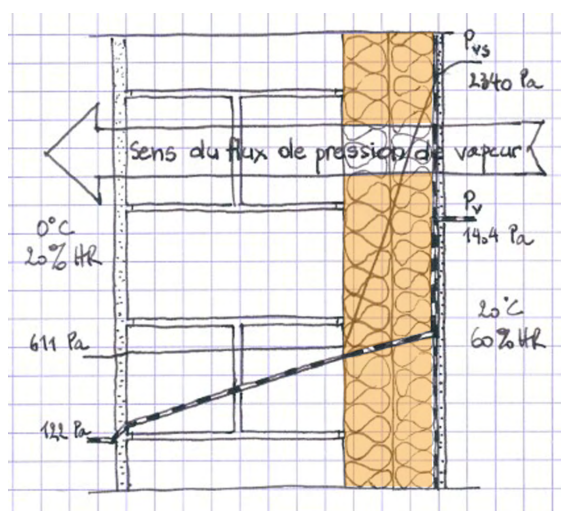
Pour supprimer le pont thermique et ainsi le risque de condensation autour d'une baie, l'isolation thermique doit être prolongée jusqu'à la menuiserie avec un impact éventuel sur celle-ci et/ou sur les dimensions jour de la baie.

La problématique des nœuds constructifs est abordée à la p. 52.

LES TECHNOLOGIES COMMUNES DES MURS

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

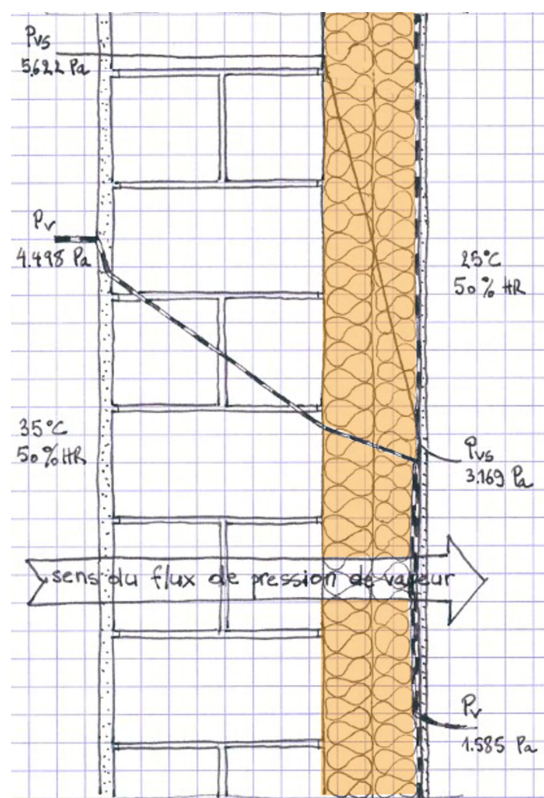
- le climat intérieur est chaud et humide ;
- la résistance à la diffusion de vapeur de la partie du mur, extérieure par rapport à l'isolant, est élevée (béton lourd, par ex.) ;
- la pose du pare-vapeur et/ou de l'isolant est moins soignée ;
- La face extérieure du mur est fortement exposée aux pluies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



P_v : pression de vapeur

P_{vs} : pression de vapeur de saturation

DIFFUSION DE LA VAPEUR D'EAU EN HIVER



P_v : pression de vapeur

P_{vs} : pression de vapeur de saturation

DIFFUSION DE LA VAPEUR D'EAU EN ÉTÉ

On peut également prévoir 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 dans un espace technique derrière la finition intérieure.

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 :

- gel dans les maçonneries si celles-ci sont humides ;
- condensation interne favorisant le risque de gel si le pare-vapeur n'est pas continu ou mal positionné ;
- moisissures, voire même une condensation superficielle, si certaines parties de parois restent froides (au droit 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 sont du côté froid de la paroi.

L'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE ET LES MURS-RIDEAUX

Ces deux principes de construction étant très spécifiques et liés à des techniques de construction particulières, il y a lieu de se reporter aux chapitres développant ces principes de construction. On ne peut en effet plus parler de technologies communes des murs dans le cas d'une structure isolée ou d'un mur-rideau.

LES PONTS THERMIQUES

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

Pour plus de détails sur leur prise en compte dans le bilan thermique PEB, le lecteur peut se référer à l'Annexe B1 de l'AGW PEB du 15 décembre 2016 [GW -16].

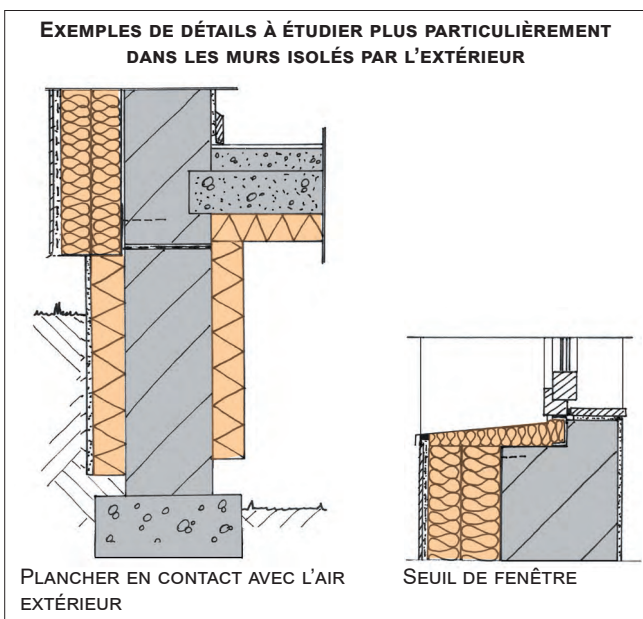
Un pont thermique, dans une paroi, résulte d'une hétérogénéité de l'isolation thermique située localement dans cette paroi, hétérogénéité qui est, le plus souvent, due à la présence d'une liaison structurelle, comme par exemple une colonne en métal ou en béton qui traverse la couche isolante, ou encore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

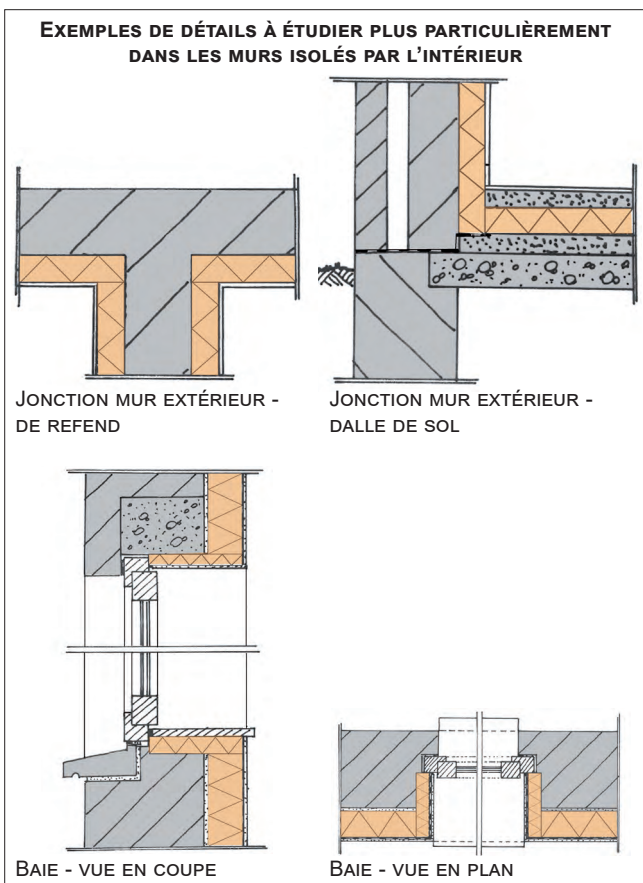
Lorsque la surface où la condensation se produit, comporte un milieu nourrissant pour les moisissures (comme l'est la colle de papier peint, par exemple), elle leur permet de s'y développer et de proliférer, constituant ainsi un milieu hygiéniquement peu recommandable pour la santé des occupants.



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.

L'encadré ci-contre suggère une solution technique aux ponts thermiques les plus fréquemment rencontrés dans les murs isolés par l'extérieur.



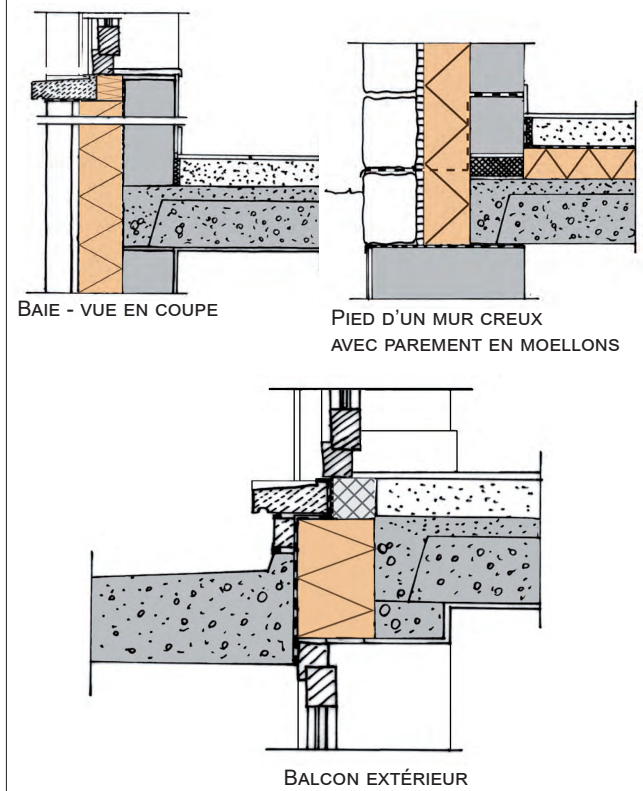
CAS DU MUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

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.

L'encadré ci-contre suggère une solution technique aux nœuds constructifs 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

Le tableau ci-dessous suggère 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 les détails concernant les murs creux, un peu plus loin dans cet ouvrage.

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.

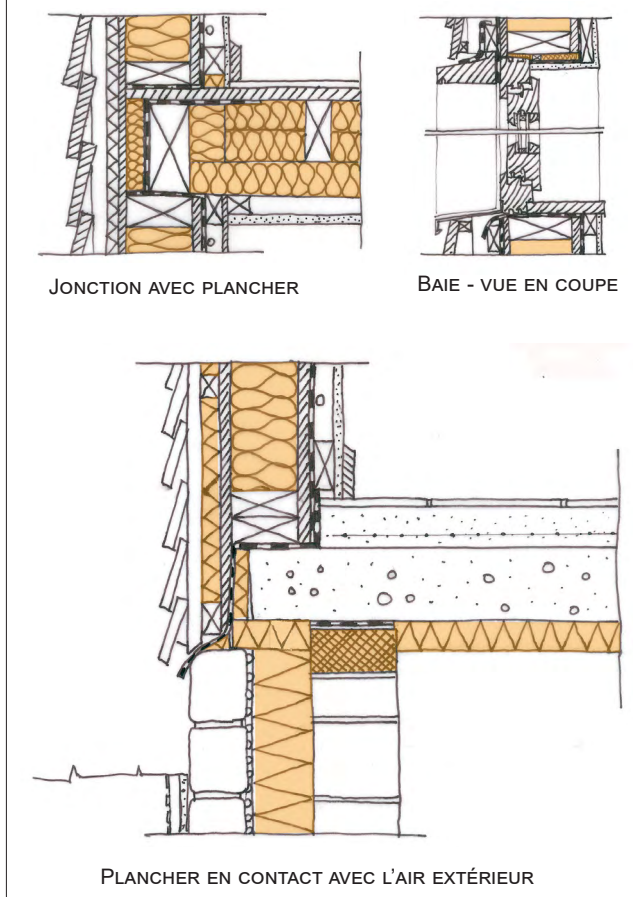
Lorsqu'elles sont métalliques, par contre, la discontinuité du matériau entre l'ossature et l'isolant thermique doit être prise en compte.

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

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

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

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



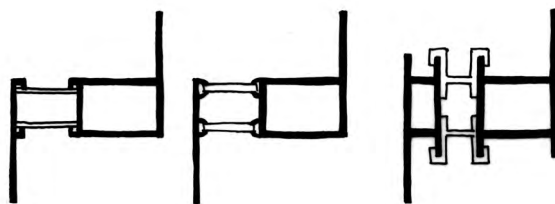
CAS DES MURS-RIDEAUX

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 dans les profilés lors de leur fabrication.

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



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

Peau intérieure	Résistance thermique	Résistance à la vapeur d'eau	Imperméabilité à l'air
Inexistante	Nulle	Nulle	Nulle
Enduite rapportée	Négligeable	Négligeable ($\mu d = 0,1$ m)	Non nulle mais faible
Enduite et peinte	Négligeable	<p>Selon la nature de la peinture appliquée : <i>Ne jouent pas un rôle pare-vapeur déterminant :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - peinture minérale $\mu d = 0,02$ m - peinture au latex : $\mu d = 0,6$ m - peinture acrylique : $\mu d = 0,7$ m <p><i>Pourrait apporter la solution au problème de condensation rencontré dans certaines compositions de mur creux :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - peinture à l'huile $\mu d = 2,4$ m 	Moyenne
Tapissée (sur enduit peint au latex)	Négligeable	<p>Selon la nature du papier peint appliqué sur une couche de base au latex :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ordinaire : $\mu d = 0,03$ m - textile : $\mu d = 0,045$ m - vinyl : $\mu d = 0,43$ m 	Moyenne

PROPRIÉTÉS DE LA PEAU INTÉRIEURE : RÉSISTANCE THERMIQUE, RÉSISTANCE À LA VAPEUR D'EAU ET IMPERMÉABILITÉ À L'AIR

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.

Les équipements peuvent également rester apparents. Dans le cas particuliers des ossatures, ils seront généralement intégrés dans une couche rapportée sur la face intérieure de l'ossature dans une coulisse dite « technique ». La zone 4 sera alors clairement définie au sein de la paroi.

La zone de finition peut :

- être inexistante ;
- être enduite de plafonnage ;
- être rapportée via la pose d'une plaque de plâtre peinte ou non, d'un panneau de finition décoratif, d'un lambris, de la pierre, du carrelage, etc. ;
- être enduite et 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-contre récapitule les propriétés apportées par la peau intérieure.

LA MÉTHODOLOGIE COMMUNE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	55
--	-----------

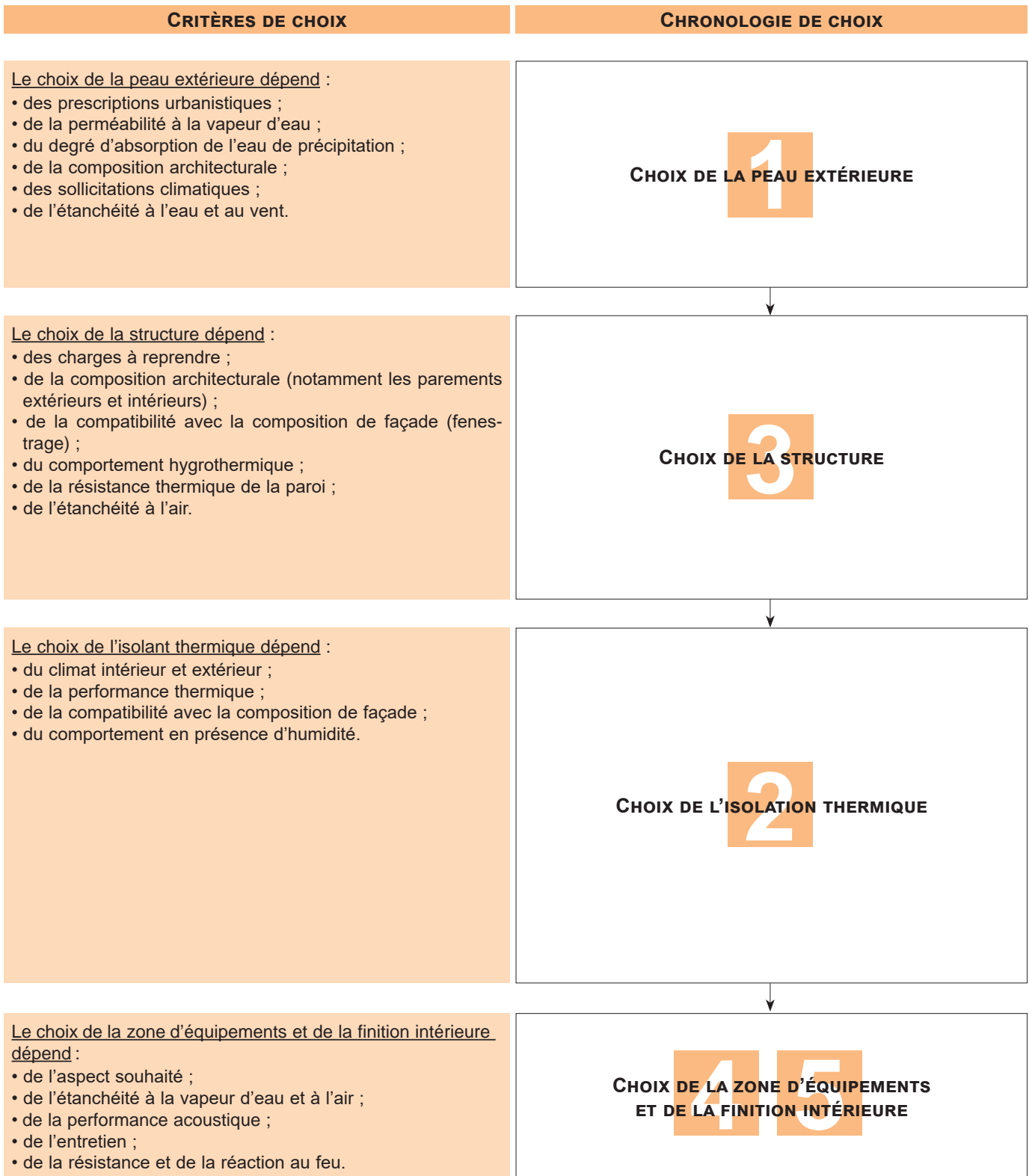
LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET

Avec l'évolution des techniques, le choix des différentes zones devient de plus en plus complexe et les zones deviennent liées entre elles. Ainsi, lors de la pose d'un choix de peau extérieure, de structure ou d'isolation thermique spécifique, l'auteur de projet sera naturellement guidé vers un choix global de technique de construction particulier d'un mur et ce, également en fonction du choix du maître de l'ouvrage.

LA MÉTHODOLOGIE COMMUNE DE CONCEPTION DES FAÇADES VERTICALES

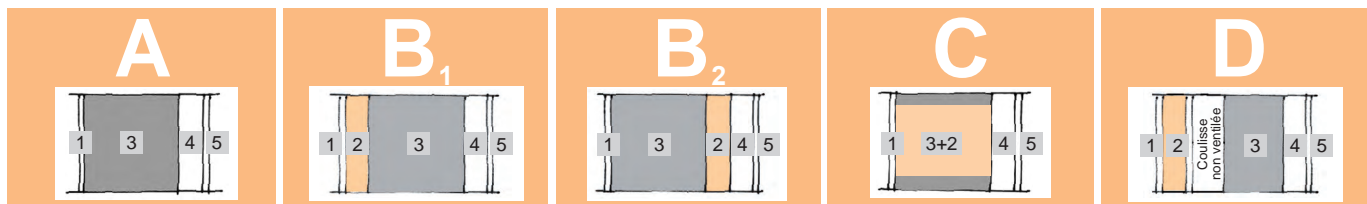
Le tableau ci-dessous donne une chronologie des choix que l'auteur de projet doit faire lors de la conception d'une façade verticale.

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



LA MÉTHODOLOGIE COMMUNE 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.

- 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 MW est perméable 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 absorbeur 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.
- 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 TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A)

LA TYPOLOGIE DES MURS PLEINS	58
LE MUR PLEIN MAÇONNÉ	59
LE MUR PLEIN TRADITIONNEL.....	60
LE MUR MONOLITHIQUE RÉCENT.....	61
LE MUR PLEIN EN PANNEAUX DE BOIS.....	63
LES PERFORMANCES DU MUR PLEIN	64
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR PLEIN.....	65
CONCLUSION	65

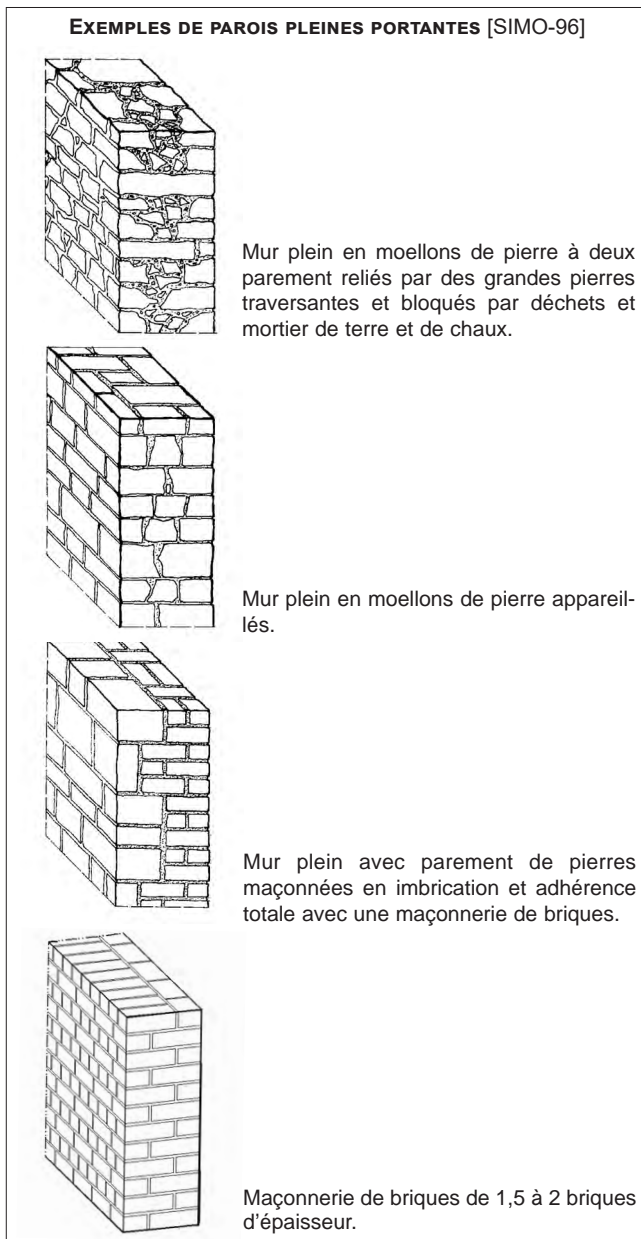
LA TYPOLOGIE DES MURS PLEINS

On considère deux types de murs pleins :

- Le mur plein dont le mur porteur est composé d'une maçonnerie en matériau minéral ;
- Le mur plein dont le mur porteur est en bois plein.

Voici une solution de mur plein maçonné répondant aux performances thermiques actuellement en vigueur :

LE MUR PLEIN MAÇONNÉ



Cette technologie est une technique très ancienne qui consiste à maçonner un mur avec les matériaux vernaculaires. Ainsi, sur le territoire wallon, on trouve des maçonneries en terre cuite dans les régions argileuses et, en pierre naturelle (en moellons), dans les régions plus rocheuses.

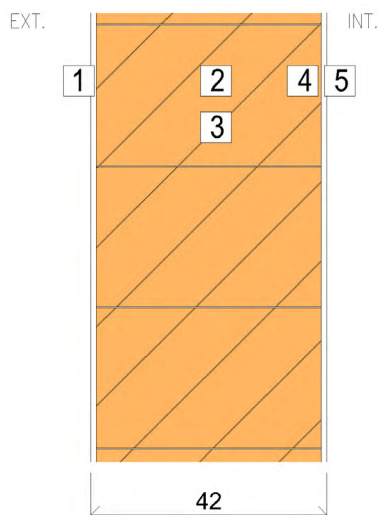
Comme énoncé précédemment dans cet ouvrage, l'étanchéité à l'eau de ce type de composition de mur "plein" est assurée par une barrière perméable. Celle-ci consiste à permettre à l'eau qui s'est introduite par la face extérieure de l'enveloppe, de s'évaporer à la bonne saison, suffisamment vite avant 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) et de 50 à 80 cm (moellons de pierres naturelles) ainsi qu'une occupation constante, avec un apport de chaleur venant de l'intérieur. Toutefois, malgré ces épaisseurs, le mur monolithique ne répond plus aux normes thermiques actuellement en vigueur. L'ajout de couches isolantes ou la modification radicale de la maçonnerie s'avère nécessaire dans le cadre de la législation actuelle.

Le nouveau mur monolithique sera réalisé au moyen de blocs de béton cellulaire ou d'argile expansé afin de pouvoir répondre à la législation actuelle. Une autre solution est de l'isoler par l'intérieur ou l'extérieur ; il devient alors un mur multicouche et cette technique fait l'objet d'un chapitre séparé.

Actuellement, les fabricants de blocs de béton cellulaire proposent des solutions de plus en plus innovantes afin de répondre aux exigences en matière d'énergie. Pour répondre à ces exigences, la densité du bloc en béton cellulaire est de plus en plus faible et il est conseillé d'être attentif aux détails proposés aux endroits de reprises de charges réparties et/ou ponctuelles afin d'assurer la pérennité du bâtiment.

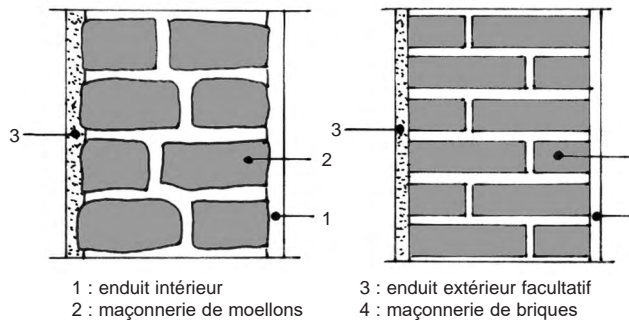
D'autres solutions peuvent également être imaginées en adjoignant des couches d'isolation sur une des faces du mur mais ces solutions font l'objet d'un chapitre séparé dans ce guide.



MUR EN BLOCS DE BÉTON CELLULAIRE AVEC CRÉPI RÉPONDANT AUX EXIGENCES PEB ACTUELLES AVEC $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A)

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-contre reprend les coefficients de transmission thermique U, calculés sur la base de de l'AGW PEB du 15 décembre 2016 [GW -16], de différents types de murs pleins traditionnels.

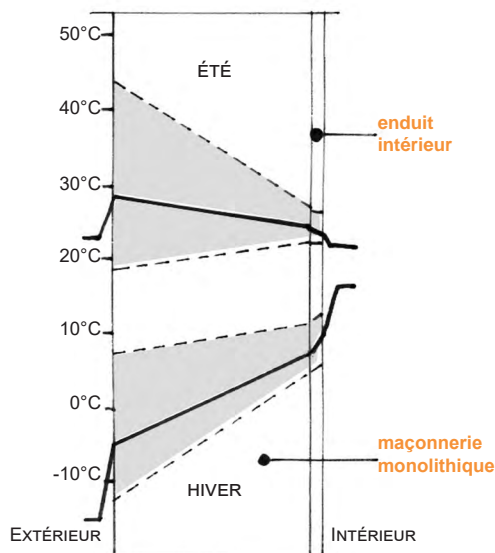
	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U [W/m²K]					
	Epaisseur 19 cm		Epaisseur 29 cm		Epaisseur 39 cm	
	Sec	Humide	Sec	Humide	Sec	Humide
Maçonnerie de briques en terre cuite ($\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$)	1,70	2,57	1,28	2,05	1,02	1,70
Maçonnerie de moellons (de petit granit)	-	-	3,17	3,55	2,86	3,22

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U 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.



EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AU SEIN DU MUR LORS D'UNE JOURNÉE D'ÉTÉ ET LORS D'UNE JOURNÉE D'HIVER [CSTC-98-1]

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).

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A)

CONDENSATION SUPERFICIELLE SUR UNE PAROI [CSTC-98-1]

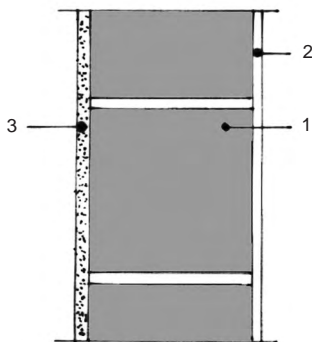
La condensation superficielle se forme sur une paroi si sa température de surface est inférieure ou égale à celle du point de rosée. Pour limiter le risque de condensation superficielle, il faut veiller à ce que le facteur τ soit le plus élevé possible.

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.

La réglementation wallonne imposant de respecter un U_{max} de 0,24 W/(m².K) pour les parois verticales extérieures opaques, un tel risque devrait donc être totalement écarté. Il y a lieu de rester toutefois vigilant à tous les noeuds constructifs afin que leur composition empêche toute concentration ponctuelle de flux thermique.



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

LE MUR MONOLITHIQUE RÉCENT

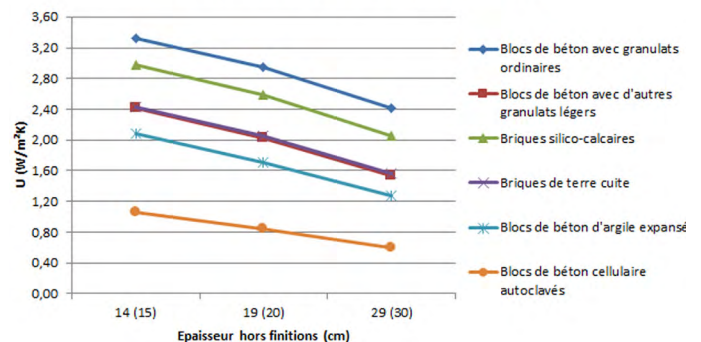
Il se compose le plus souvent, de l'intérieur vers l'extérieur :

- 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.

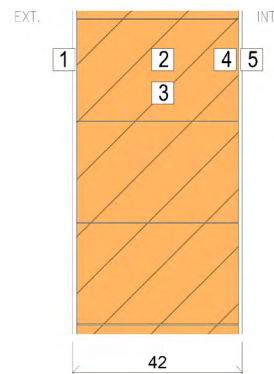
Performance thermique

Le graphique ci-dessous et le tableau page suivante 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} .

COEFFICIENT U DE MURS PLEINS



Aucune solution envisagée avec les murs pleins d'épaisseur 14 (15) ou 19 (20) ou 29 (30) cm ne permet de respecter la condition $U_{max} \leq 0,24$ W/m²K. Pour y arriver, il est nécessaire d'élargir le mur, par ex. de porter son épaisseur à 42 cm + crépi + plafonnage : voir la figure ci-dessous.



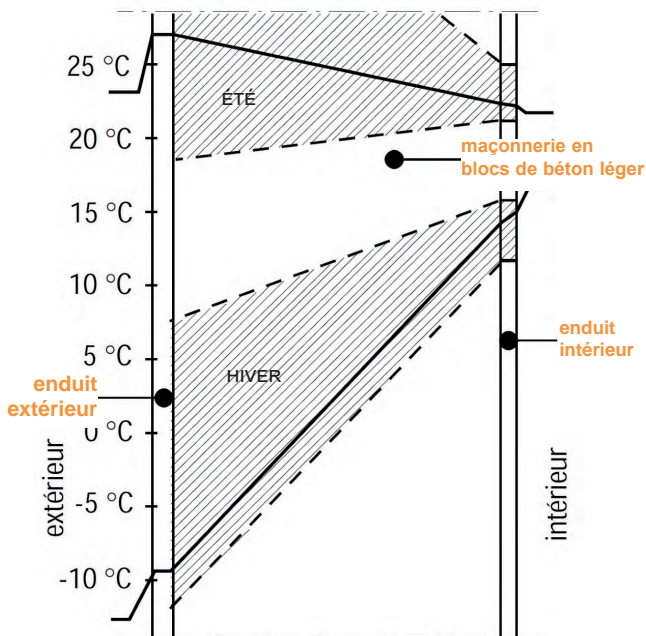
MUR EN BLOCS DE BÉTON CELLULAIRE AVEC CRÉPI RÉPONDANT AUX EXIGENCES PEB ACTUELLES AVEC U = 0,24 W/m²K

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A)

NATURE DE LA MAÇONNERIE	DENSITÉ ρ [KG/M ³]	λ_{ui} [W/MK]	RÉSISTANCE THERMIQUE R [(M ² .K)/W] ET COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U [W/(M ² .K)] (*)								
			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 de béton avec granulats ordinaires	1800 $\rho \leq 1900$	1,33	0,11	0,30	3,32	0,14	0,34	2,95	0,22	0,41	2,42
Blocs de béton avec d'autres granulats légers	1100 $\rho \leq 1200$	0,64	0,22	0,41	2,41	0,30	0,49	2,03	0,45	0,65	1,54
Briques silico-calcaires	1700 $\rho \leq 1800$	1,00	0,14	0,34	2,98	0,19	0,39	2,59	0,29	0,49	2,06
Briques de terre cuite	1700 $\rho \leq 1800$	0,65	0,22	0,41	2,43	0,29	0,49	2,05	0,45	0,64	1,56
Blocs de béton d'argile expansé	1100 $\rho \leq 1200$	0,49	0,29	0,48	2,08	0,39	0,58	1,71	0,59	0,79	1,27
NATURE DE LA MAÇONNERIE	DENSITÉ ρ [KG/M ³]	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 autoclavés	500 $\rho \leq 600$	0,20	0,75	0,95	1,06	1,00	1,20	0,84

(*) 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 [CSTC-98-1]

REMONTÉES CAPILLAIRES [CSTC-98-1]

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 210 du CSTC [CSTC-98-2].

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.

• 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.

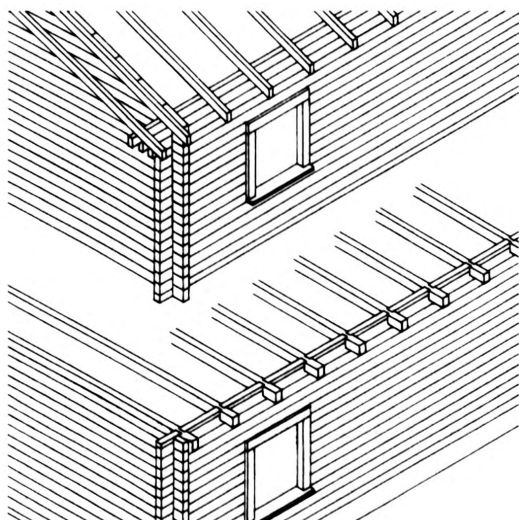
• Risque de condensation superficielle

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.

LE MUR PLEIN EN PANNEAUX DE BOIS



PAROIS À BOIS EMPILÉS

Le mur massif en bois n'est pas originaire de nos contrées ; il est généralement utilisé dans des régions continentales plus sèches présentant des forêts abondantes et des hivers plus rigoureux.

C'est la technique des madriers empilés ou l'art de la fuste. L'assemblage des madriers, par empilement horizontal ou par panneautage vertical, délimite et sépare les espaces, selon les longueurs des madriers, tout en assurant la stabilité et le confort tant thermiques qu'acoustique du bâtiment. Cette technique a été adaptée au XX^{ème} siècle afin de pouvoir usiner les madriers et concevoir une sorte de puzzle à monter en 3 dimensions. L'ajustement vertical des madriers présente l'avantage d'être beaucoup plus stable dans le temps.

Ainsi, avec l'évolution des moyens de transport et de manutention, le mur plein en bois se présente maintenant sous forme de murs formés de panneaux de grandes dimensions composés de couches de planches de bois de petites dimensions contre-clouées ou contrecollées.

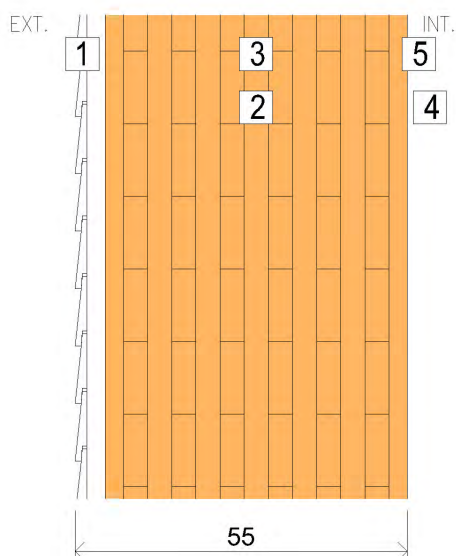
Le mur plein demande une attention particulière au niveau de la préfabrication car toutes les techniques spéciales et ouvrages particuliers doivent impérativement être réfléchis avant fabrication.

Comme pour le mur plein maçonné, le mur massif en bois ne présente plus les performances thermiques suffisantes pour être mis en œuvre sans isolation complémentaire.

L'évolution de la technologie propose aujourd'hui un mur plein en bois d'épaisseur suffisante pour garantir la stabilité de l'ouvrage, avec l'adjonction éventuelle d'isolation sur une ou les deux faces du mur.

Ci-contre est illustrée une solution de mur plein en bois répondant aux performances thermiques actuellement en vigueur ($U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Il est évident que cette solution n'apparaît pas comme réaliste et qu'une solution multicouche avec le bois comme élément porteur est économiquement plus intéressante. Cette solution est développée plus loin dans cet ouvrage.



MUR EN PANNEAUX DE BOIS AVEC BARDAGE RÉPONDANT AUX EXIGENCES PEB ACTUELLES AVEC $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR PLEIN (TYPE A)

LES PERFORMANCES DU MUR PLEIN

Le tableau suivant compare quelques solutions de murs pleins constructibles, dont certains (cases colorées) répondent aux exigences thermiques actuellement en vigueur dans le cadre de la PEB ($U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Il apparaît malgré tout que la technique du mur plein n'est pas une solution ayant beaucoup d'avenir et que la majorité des murs pleins présentés ci-dessous sera généralement utilisée comme mur porteur avec adjonction d'une couche isolante lui permettant d'atteindre les exigences de la réglementation énergétique. Ils deviendront alors des murs multicouches, abordés plus loin dans cet ouvrage.

NATURE DE LA MAÇONNERIE (*) non protégé extérieurement	DENSITÉ ρ [KG/M ³]	λ [W/MK]	RÉSISTANCE THERMIQUE R [(M ² .K)/W] ET COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U [W/(M ² .K)]											
			Ep. 20 cm			Ep. 30 cm			Ep. 40 cm			Ep. 50 cm		
			R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U
Moellons de pierres naturelles	± 2500	2,68	-	-	-	-	-	-	0,16	0,35	2,90	0,20	0,38	2,60
Briques de terre cuite	1600	1,09	0,16	0,35	2,84	0,25	0,44	2,28	-	-	-	-	-	-
(**) protégé extérieurement	DENSITÉ ρ [KG/M ³]	λ [W/MK]	Ep. 20 cm			Ep. 30 cm			Ep. 40 cm			Ep. 50 cm		
			R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U
Moellons de pierres naturelles	± 2500	2,21	-	-	-	-	-	-	0,19	0,39	2,56	0,24	0,44	2,27
Blocs pleins de béton lourd	± 2100	1,73	0,11	0,31	3,21	0,17	0,37	2,69	0,23	0,43	2,32	-	-	-
Blocs creux de béton lourd	± 1600	-	0,14	0,34	2,93	0,21	0,40	2,48	-	-	-	-	-	-
Briques de terre cuite	1600	0,55	0,31	0,51	1,98	0,47	0,67	1,50	-	-	-	-	-	-
Briques silico-calcaires	± 1400	0,51	0,35	0,55	1,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blocs creux de béton d'argile expansée	1100	0,46	0,38	0,58	1,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blocs pleins de béton d'argile expansée	1100	0,36	0,47	0,67	1,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blocs de terre cuite perforés agréés	± 600	0,125	1,52	1,72	0,58	2,40	2,60	0,38	-	-	-	-	-	-
Blocs de terre cuite perforés agréés ép. 425 mm	± 600	0,095	-	-	-	-	-	-	4,47	4,67	0,21	-	-	-
Blocs de béton cellulaire autoclavés agréés	550	0,15	1,33	1,53	0,65	2,00	2,2	0,46	-	-	-	-	-	-
Blocs de béton cellulaire autoclavés agréés	400	0,095	2,11	2,3	0,43	3,16	3,36	0,30	4,21	4,41	0,23	5,26	5,46	0,18
	350	0,085	-	-	-	3,53	3,73	0,27	4,71	4,90	0,20	5,88	6,08	0,16
	mixte (340/115/340)	-	-	-	-	-	-	-	6,66	6,86	0,15	9,00	9,20	0,11
(***) protégé par un bardage	DENSITÉ ρ [KG/M ³]	λ [W/MK]	Ep. 20 cm			Ep. 30 cm			Ep. 40 cm			Ep. 50 cm		
			R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U	R _{bloc}	R _{tot}	U
Bois résineux massif	< 600	0,13	1,54	1,80	0,56	2,31	2,57	0,39	3,08	3,34	0,30	3,85	4,11	0,24

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

(**) 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

(***) Les coefficients R_{tot} et U sont calculés avec un vide ventilé et un bardage de protection du mur en bois

Tous les résultats sont calculés via le logiciel PEB verison 6.5.1 avec des produits disponibles sur le marché

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR PLEIN

	MUR PLEIN
Isolation thermique	X
Diffusion de la vapeur d'eau	
Étanchéité à l'eau	X
Étanchéité à l'air	X
Création d'ouvertures	X
Transmission structurelle	
Encombrement	X
Mise en oeuvre	X

Pour concevoir un mur plein, il faudra toujours considérer les éléments du tableau repris ci-contre comme prépondérants dans le processus de conception du bâtiment.

6 critères apparaissent comme éléments décisifs dans la conception d'un mur plein :

- **L'encombrement et l'isolation thermique** : ces deux éléments sont intimement liés dans le mur plein car il doit être très épais pour répondre aux critères de la PEB.
- **L'étanchéité à l'eau** apparaît également comme étant un critère important de choix de la finition extérieure du mur plein. Ce choix dépend des critères suivants : esthétique, contraintes urbanistiques, durabilité, entretien et structure d'accroche du parement.
- **L'étanchéité à l'air** : ce critère est déterminant dans la bonne conception du bâtiment pour assurer une ventilation régulée du bâtiment. La finition du mur plein est la résultante directe de la performance désirée en termes d'étanchéité à l'air du bâtiment.
- **La mise en oeuvre** : ce critère est constant pour tous les murs et principalement en ce qui concerne la jonction avec d'autres éléments comme les dalles, les toitures et les baies.
- **La création d'ouvertures** de grandes tailles peut poser problème car les linteaux devront présenter des caractéristiques de résistance qui généralement induisent une diminution des performances énergétiques de l'élément.

Les 2 autres critères sont moins décisifs dans la conception d'un mur plein car :

- Pour l'étanchéité à la vapeur d'eau, les murs pleins présentent généralement des structures internes assez continues et homogènes. Le seul point qui peut poser problème est l'étanchéité à la vapeur d'eau de la finition extérieure.
- Pour la transmission structurelle, la largeur du mur plein répartit d'autant plus les reprises de charge à assurer.

CONCLUSION

Le mur plein ne représente pas le mur le plus utilisé car il nécessite la construction de murs très épais avec des matériaux spécifiques pour pouvoir répondre aux exigences de la PEB.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

TPOLOGIE DES MURS MULTICOUCHES	67
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'EXTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B1)	68
LES MURS CREUX.....	68
LES MURS ISOLÉS AVEC BARDAGE EXTÉRIEUR OU PAREMENT COLLÉ.....	68
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'INTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B2)	68
LA TECHNOLOGIE DU MUR MULTICOUCHE : SON HISTOIRE RÉCENTE.....	69
EVOLUTION DU MUR CREUX VERS LE MUR MULTICOUCHE	71
LES PERFORMANCES PARTICULIÈRES DU MUR CREUX	71
<i>Le mur creux par rapport au mur plein.....</i>	<i>71</i>
LES PERFORMANCES DU MUR MULTICOUCHE	72
LES FONCTIONS DU MUR MULTICOUCHE.....	74
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR MULTICOUCHE.....	76
1. CHOIX DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	76
2. CHOIX DE LA PARTIE EXTÉRIEURE.....	76
<i>Autoportante non autostable.....</i>	<i>76</i>
<i>Autoportante autostable.....</i>	<i>77</i>
<i>Bardage extérieur.....</i>	<i>77</i>
<i>Absente (crépi).....</i>	<i>78</i>
3. CHOIX DE LA PARTIE INTÉRIEURE.....	80
<i>Paroi maçonnée portante.....</i>	<i>80</i>
<i>Paroi en voile, en panneaux ou madriers.....</i>	<i>81</i>
<i>Apposition complémentaire d'un pare-vapeur éventuel.....</i>	<i>81</i>
4. CHOIX DE LA PEAU INTÉRIEURE.....	82
5. CHOIX DU TYPE DE ZONE DE COUPURE THERMIQUE ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU	82
6. CHOIX DE LA CHRONOLOGIE DE RÉALISATION	84
<i>Poses simultanées.....</i>	<i>84</i>
<i>Poses séparées.....</i>	<i>84</i>
7. AIDE À LA DÉCISION LORS DE LA CONCEPTION D'UN MUR MULTICOUCHE.....	86
8. CHOIX DE L'ÉPAISSEUR D'ISOLANT POUR OBTENIR UN COEFFICIENT $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	87
9. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DU MUR MULTICOUCHE.....	91
10. EN RÉSUMÉ, CHRONOLOGIE DES CHOIX.....	91
11. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU DÉTAIL : OBJECTIFS POURSUIVIS	91
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	93
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE.....	93

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

Prédimensionnement des murs multicouches de la partie principale du bâtiment.....	94
Prédimensionnement des murs creux de la partie annexe au bâtiment principal	97
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	100
Identification et conception des noeuds.....	100
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET.....	107
CONCLUSION	114

TPOLOGIE DES MURS MULTICOUCHES

La typologie du mur développée dans ce chapitre est celle reprenant tous les murs dont les différentes couches sont homogènes verticalement.

On peut donc définir deux grandes familles :

- celle reprenant les murs porteurs en bois reconstitué ;
- celle reprenant les murs porteurs en matériaux minéraux (terre cuite, béton, béton cellulaire, blocs et panneaux silico-calcaire, etc.).

Dans ces deux grandes familles, on retrouve également deux spécificités constructives :

- les parements suspendus au mur porteur (bardage/ crépi) ;
- les parements autoportants nécessitant l'élargissement des fondations sous le parement.

Enfin, d'un point de vue thermique, on considère encore deux technologies différentes :

- l'isolation par l'intérieur du mur porteur ;
- l'isolation sur la face extérieure du mur porteur.

POSSIBILITÉS	PAREMENT SUSPENDU	PAREMENT AUTO-PORTANT	ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR	ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR
Mur porteur minéral	x		x	
				x
		x	x	
				x
Mur porteur bois massif	x		x	
				x
		x	x	
				x

Un mur multicouche est donc un mur pouvant combiner toutes ces spécificités de manière différente. Dans ce chapitre, on va essayer de balayer un maximum de possibilités différentes avec explication des avantages et inconvénients propres à chaque conception de mur multicouche.

Trois grandes catégories de mur vont être développées dans les pages suivantes :

- les murs creux isolés ;
- les murs isolés avec bardage extérieur ou parement collé ;
- les murs isolés par l'intérieur.

Ces catégories permettent de traiter la grande majorité de murs multicouches et présentent chacune des comportements particuliers.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'EXTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B1)

LES MURS CREUX

Le mur creux est un type d'enveloppe verticale opaque d'une construction ; il est composé de trois sous-ensembles :

- un mur extérieur autoportant constitué d'une peau extérieure (parement) et de la partie extérieure du mur creux;
- une zone de coupure, qui comporte la couche isolante ;
- un mur intérieur constitué de la partie intérieure du mur creux et de la peau intérieure.

Le mur porteur est le plus souvent le mur intérieur, cas qui sera repris ici.

La zone de coupure entre le parement extérieur et le mur porteur intérieur peut :

- ne pas comporter de matériau isolant, l'air constituant ainsi la seule séparation entre les parties extérieure et intérieure du mur creux;
- comporter une couche de matériau isolant qui remplit en tout ou en partie la zone de coupure elle-même.

Le mur creux peut être maçonné directement sur chantier au moyen de blocs et briques. Il peut également être préfabriqué en usine et assemblé sur chantier (par exemple : voiles préfabriqués séparés d'un matériau isolant, panneaux en bois reconstitué, etc.).

LES MURS ISOLÉS AVEC BARDAGE EXTÉRIEUR OU PAREMENT COLLÉ

A l'instar du mur creux, ce mur est également composé de trois sous-ensembles :

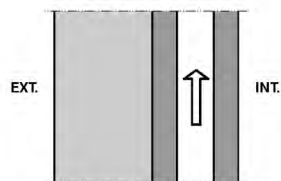
- Un parement extérieur constitué de la couche extérieure et de la peau extérieure ;
- La zone de coupure qui comporte la couche isolante et éventuellement un vide ventilé ;
- Un mur intérieur constitué de la partie intérieure du mur multicouche et de la peau intérieure.

La seule différence avec le mur creux réside dans le fait que le parement est suspendu au mur intérieur et qu'il n'est pas autoportant. Cette solution permet de ne pas devoir élargir les fondations sous un mur autoportant ; c'est un avantage économique non négligeable.

LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'INTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B2)

Le mur porteur est du côté extérieur de l'isolant. Sur la face externe du mur porteur, il y a la peau extérieure, éventuellement un support pour cette peau différent du mur porteur et un vide mais ces deux dernières couches ne sont pas indispensables. Du côté intérieur du mur porteur, il y a une couche isolante et une peau intérieure. Entre ces deux

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)



dernières couches, on peut également trouver une zone technique.

Ce mur représente principalement l'évolution du mur plein que l'on isole par l'intérieur pour répondre aux exigences de la PEB. Régulièrement rencontré en rénovation, ils présentent plus de désavantages que d'avantages ; le désavantage principal étant le manque de continuité de la couche isolante au niveau des dalles, des planchers et des murs de refend. Une autre contrainte importante est la gestion de la transmission de la vapeur d'eau à travers la paroi et les risques de condensation qui peuvent en découler.

Ce type de mur n'est pas développé dans cet ouvrage pour architectes car il est largement expliqué dans le guide pratique intitulé "La Rénovation et l'Energie" [HAUG-17-1].

Le mur multicouche étudié dans ce chapitre est donc un mur dont l'élément porteur peut être en matériau minéral ou en bois avec une isolation sur sa face extérieure et/ou intérieure pour répondre aux exigences de la PEB et un parement autoportant ou non. Chaque couche juxtaposée est homogène ou maçonnée.

LA TECHNOLOGIE DU MUR MULTICOUCHE : SON HISTOIRE RÉCENTE

Une paroi extérieure verticale à texture discontinue est assez rare dans l'histoire :

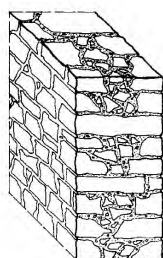
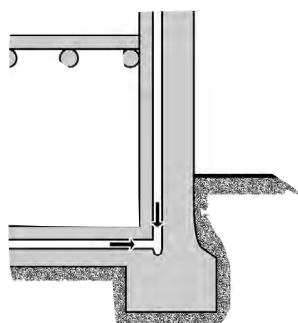
- Chez les Romains, le doublage du côté intérieur par une paroi permettait la circulation de l'air des hypocaustes dans le creux vertical ainsi créé, afin d'obtenir une paroi intérieure plus chaude vers laquelle le corps rayonne peu, et un mur plus sec du côté intérieur.
- La texture discontinue dans les parties externes du bâtiment réalise un drainage entre les deux parois, ce qui permet d'avoir une paroi intérieure plus sèche et plus chaude.

Dans la plupart des cas, les parois extérieures en briques, en pierre ou en pierres et briques combinées ont été réalisées suivant le principe de la texture continue et de régulation de l'hygrométrie interne par une épaisseur de mur adéquate.

L'étanchéité à l'eau de ce type de composition du mur plein est assurée par une barrière perméable.

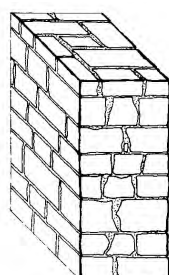
Celle-ci consiste à permettre à l'eau qui s'est introduite dans la face extérieure de l'enveloppe, de s'évaporer à la bonne saison suffisamment vite avant d'avoir pu pénétrer jusqu'à la face intérieure de l'enveloppe. Ceci est indiqué pour un climat sec. Mais, dans nos climats tempérés, cette solution demande une épaisseur de matériau très importante et une occupation constante avec un apport de chaleur venant de l'intérieur.

Le parement des murs maçonnés en pierres est assez perméable, mais l'épaisseur du mur nécessaire à la stabilité est en général importante.



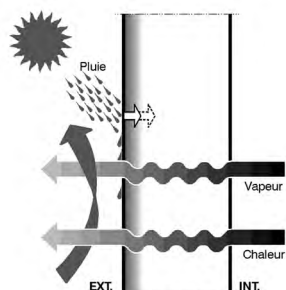
Mur plein en moellons de pierre à 2 parements reliés par des grandes pierres traversantes et bloqués par déchets et mortier de terre et de chaux

[SIMO-96]

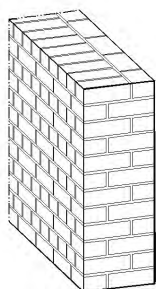


Mur plein en moellons de pierre appareillés

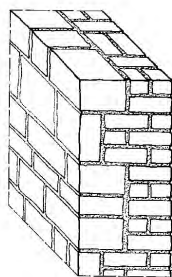
[SIMO-96]



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)



Maçonnerie de briques de 1 1/2 à 2 briques d'épaisseur [SIMO-96]



Mur plein avec un parement de pierres maçonnées en imbrication et adhérence totale avec une maçonnerie en briques [SIMO-96]

Avec certains parements très perméables (certains moellons calcaires par exemple), le corps du mur était réalisé en briques pour assurer une meilleure étanchéité globale, ce qui augmentait d'autant l'épaisseur totale du mur.

Les murs pleins maçonnés en briques appareillées présentent une meilleure étanchéité mais, en dessous d'une brique et demie d'épaisseur (± 30 cm), ces murs sont peu étanches.

Pour remédier au comportement peu étanche de ces maçonneries, 4 techniques se sont développées en Europe :



1) Crépi sur mur plein : Cette solution, proche du mur plein mais aussi de la peau "plus étanche", convient plus particulièrement au climat continental plus sec et 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 océanique. On trouve des crépis perméables à la vapeur d'eau et d'autres relativement étanches à celle-ci.



2) Mur plein à peau étanche (à l'eau et à la vapeur d'eau) : en recouvrant le mur plein d'une feuille de pierre naturelle ou d'une céramique ou d'un matériau synthétique, on applique ainsi une peau étanche à l'eau et à la vapeur d'eau.



3) Le bardage en écailles de bois, d'ardoises ou de terre cuite suit le principe de la composition discontinue et établit une couverture accrochée au mur, l'abritant de l'eau, tout en lui permettant de réguler son hygrométrie interne par ventilation.



4) Le mur creux : Cette technologie consiste à créer deux parties indépendantes, séparées par un espace rempli d'air et/ou d'un matériau isolant. Ces deux parties sont solidarées par des ancrages assurant la stabilité de la partie extérieure coupée de la structure du bâtiment.

La technologie du mur creux s'est développée principalement sur le front atlantique de l'Europe du nord-ouest, dans des zones très humides, à température modérée par l'océan mais à variation très rapide de conditions climatiques. Elle permet de maintenir le mur intérieur sec, tout en gardant une peau extérieure compatible avec l'aspect architectural traditionnel. De plus, cette peau assure un confort hygrothermique intérieur intéressant, sans grand danger pour la durabilité des matériaux.

Le schéma ci-contre montre les grandes étapes de l'évolution de cette technologie.

Axée tout d'abord sur une réponse plus certaine à l'étanchéité à l'eau du mur extérieur, elle s'est améliorée par une meilleure performance en matière d'isolation thermique, associée à une inertie thermique toujours

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

intéressante.

Les années à venir demanderont au mur creux des performances encore plus élevées en cette matière, pour répondre à des réglementations thermiques régionales, nationales, voire européennes, comme par exemple la réglementation sur la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB).

EVOLUTION DU MUR CREUX VERS LE MUR MULTICOUCHE

Le mur creux répond à la majorité des exigences actuelles, à savoir :

- Isolation ;
- Étanchéités à l'eau, à l'air, à la vapeur d'eau ;
- Protection contre les éléments naturels ou artificiels tels que bruit, feu, vent, déflagration, etc.;

Mais, actuellement, certaines performances devenant de plus en plus exigeantes en termes de coût, d'encombrement, de technicité, de performances énergétique, d'impact environnemental et de diversité esthétique également, le mur creux évolue vers un mur multicouche dont chaque composition répond mieux à l'une ou l'autre exigence. Ainsi, pour diminuer le coût des fondations, on privilégie un parement suspendu ou apposé au mur porteur, tel le bardage ou le crépi, ce qui permet de construire des fondations moins épaisses.

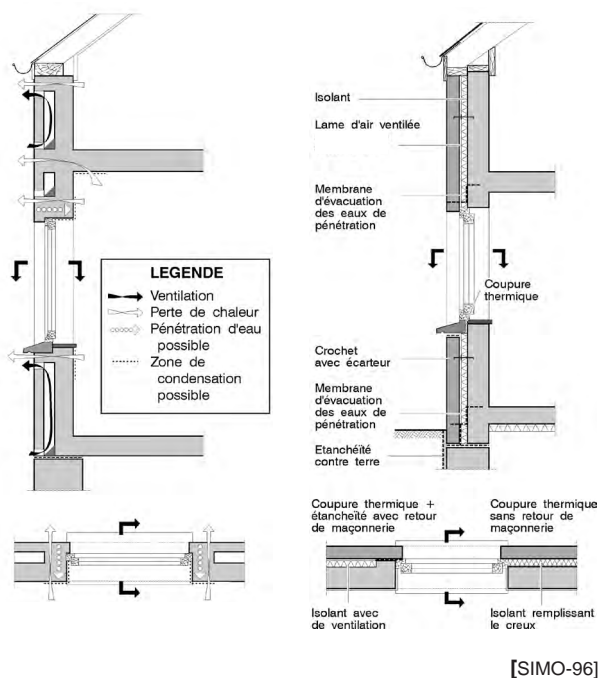
Dans le cas d'habitations existantes avec un mur creux non isolé existant, on peut améliorer la performance énergétique du complexe en ajoutant de l'isolant à l'extérieur, dans la coulisse ou à l'intérieur du mur.

Dans ces trois cas, on est confronté à un nouveau mur multicouche. On peut également imaginer un mur porteur en bois massif reconstitué isolé par l'extérieur avec un parement en brique ou un bardage ; dans ce cas, on est également confronté à un mur multicouche.

LES PERFORMANCES PARTICULIÈRES DU MUR CREUX

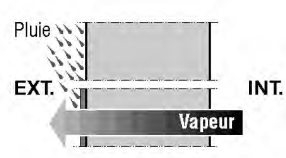
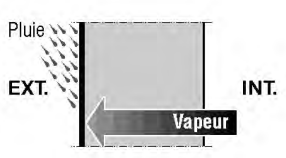
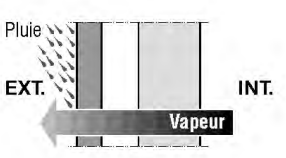
LE MUR CREUX PAR RAPPORT AU MUR PLEIN

Le tableau ci-après présente un résumé des avantages et des inconvénients, des murs pleins par rapport aux murs creux, et ce selon les principales exigences dont ils font l'objet.


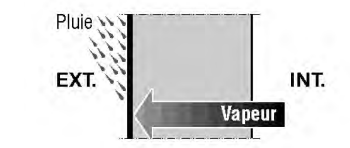
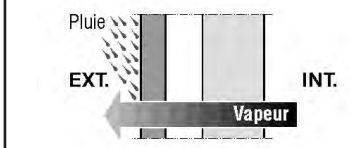


LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

LES PERFORMANCES DU MUR MULTICOUCHE

FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT	 <p>Mur plein et mur crépi dont le crépi est perméable à la vapeur d'eau</p>		 <p>Mur plein à peau étanche et mur crépi dont le crépi est imperméable à la vapeur d'eau</p>		 <p>Mur creux, dont la partie extérieure est laissée apparente ou est recouverte d'une peinture ou d'un crépi très perméable à la vapeur d'eau</p>	
	POUR	CONTRE	POUR	CONTRE	POUR	CONTRE
EAU • Pluie	- Evite le ruissellement trop brutal	- Si pas de crépi, absorbe l'eau en profondeur - Jonctions maçonnerie-châssis fragiles à traiter	- Evite la pénétration de l'eau	- Crée un ruissellement rapide - Si fissure, l'eau pénètre - Jonctions maçonnerie-châssis fragiles à traiter	- Evite le ruissellement si parement maçonné - Limite la pénétration d'eau à la paroi extérieure - Mur intérieur sec	- Difficulté de réalisation soignée - Les défauts peuvent entraîner des pénétrations sauvages
• Neige	Sans problème		Sans problème		Sans problème	
• Gel		- Sensible si matériau gélif gorgé d'eau et si peinture sur parement		- Si fissure, l'eau pénétrée gèle : décollement de la peau ext. et aggravation des fissures - Risque de condensation au dos de la peau extérieure ; qui peut geler en hiver		- Dangereux si matériau gélif en partie extérieure ou si peinture sur parement extérieur
EAU • Vapeur + condensation	- Bonne perméabilité à la vapeur	- Condensation en face intérieure si peu de chauffage, peu de ventilation et taux d'H.R. important - Risque accru aux pourtours des baies		- Peau imperméable à la vapeur, d'où risque de condensation au dos de la peau extérieure, risque de gel et d'éclatement	- Bonne perméabilité à la vapeur - Possibilité de condensation sur la face intérieure du parement extérieur	- Attention si parement peint ou crépi (peu perméable à la vapeur) : risque de gel des joints et de décollement de la peinture
AIR	- L'air extérieur assèche le mur	- Nécessite un enduit intérieur pour parfaire l'imperméabilité à l'air		- Jonctions maçonnerie-châssis fragiles à traiter	- Etablit une chambre de décompression entre la pression extérieure et la pression intérieure	- Nécessite des joints étanches à l'air en partie intérieure - Difficulté à réaliser l'étanchéité autour des baies
CHALEUR • Isolation		- Le matériau utilisé peut être très conducteur de chaleur, d'où la nécessité de placer une isolation complémentaire		- Matériau en général conducteur - Si on ajoute une isolation interne, nécessite un pare-vapeur très efficace, côté intérieur	- Permet la pose d'une isolation dans la coulisse - Garde la partie portante dans la zone sèche et chauffée	- Continuité thermique au niveau des châssis
• Inertie	- Pour un bâtiment à usage constant intéressant	- Moins bon si mur plein en bois massif	- Très intéressant si matériau à forte masse volumique	- Moins bon si mur plein en bois massif	- Le mur intérieur intervient dans l'inertie thermique	- Moins bon si mur plein en bois massif
BRUIT AERIEN	- Très bon si fort massif	- Moins bon si en maçonnerie légère ou mur plein en bois massif	- Très bon si massif - La peau étanche à l'air est aussi très efficace		- Très bon car à la fois massif, en 2 couches, voire 3 couches et de masses différentes	- Joints étanches à l'air plus difficiles à réaliser autour des baies

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT						
	POUR	CONTRE	POUR	CONTRE	POUR	CONTRE
SECURITE A L'EFFRACTION	- Très bon		- Très bon		- Très bon	
SECURITE AU FEU	- Très bon	- Moins bon si mur plein en bois massif	- Très bon	- Attention à la réaction au feu du matériau d'étanchéité	- Très bon	- Attention à la réaction au feu du matériau d'isolation
FONCTION STRUCTURELLE (OU STRUCTURALE)	- Très bon, si l'appareillage assure la cohésion de la maçonnerie	- Si madriers empilés, prévoir le tassement du mur massif en bois - Si béton cellulaire, vérifier la portance autorisée	- Très bon	- Si madriers empilés, prévoir le tassement du mur massif en bois - Si béton cellulaire, vérifier la portance autorisée	- Très bon, à condition que le mur porteur soit le mur intérieur	- Si madriers empilés, prévoir le tassement du mur massif en bois - Si béton cellulaire, vérifier la portance autorisée
FONCTION VISUELLE	- Moellons de pierre dégrossis - Parement en briques appareillées en boutisses et panneresses - Apparaît comme l'élément porteur - Combinaisons de pierres et de briques - Jeux de volumétrie dans l'épaisseur du mur	- Elargissement de l'embase		- Vieillesse prématurée des crépis ou des peaux extérieures peu perméables à la vapeur d'eau (voir gel)	- Faculté de choix de parements entre extérieur et intérieur - Diverses finitions extérieures et intérieures - Appareillages en boutisses et panneresses, à condition d'épaissir le parement extérieur - Combinaisons de pierres et de briques - Jeux de volumétrie dans l'épaisseur du mur	- Elargissement de l'embase - Elargissement de l'embase

Conclusion

A l'analyse de ce tableau, on constate que, dans l'hypothèse souhaitée d'une bonne conception suivie d'une bonne réalisation, le mur multicouche constitue une solution technique qui satisfait mieux aux différentes performances demandées aux parois verticales extérieures opaques, que le mur plein.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

LES FONCTIONS DU MUR MULTICOUCHE

Les aspects spécifiquement hygrothermiques et énergétiques sont repris en **gras**.

FONCTIONS DU MUR CREUX	PEAU EXTÉRIEURE	PARTIE EXTÉRIEURE	ZONE DE COUPURE	ZONE D'ISOLATION THERMIQUE	PARTIE INTÉRIEURE	ZONE D'ISOLATION THERMIQUE ÉVENTUELLE	PEAU INTÉRIEURE	RÔLES DEMANDÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES
FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT								
EAU	•	•						Rejette ou/et laisse pénétrer l'eau Absorbe ± l'eau et/ou l'arrête Draine l'eau de pénétration et/ou de condensation Si coulisse non remplie, accélère l'assèchement de la partie extérieure Coupure du passage d'eau Contrôle le passage de la vapeur
VAPEUR	•	•	•	•	•	•	•	La perméabilité à la vapeur d'eau doit être croissant depuis l'intérieur vers l'extérieur Peu de perméabilité à la vapeur si possible Perméable à la vapeur si nécessaire Doit être très perméable à la vapeur si pas de pare-vapeur côté intérieur de la paroi
CONFORT THERMIQUE	•	•	•	•	•	•	•	Par la couleur, absorbe ou réfléchit le rayonnement solaire Volant thermique, mais ne participe guère à l'inertie Réduit le passage de la chaleur Inertie thermique en fonction de la masse présente accessible Isolation thermique Par sa brillance, peut réfléchir le rayonnement des sources internes de chaleur
AIR	•	•	•				•	Filtre Filtre Zone de décompression, ventilation interne de la paroi Coupure de l'air, étanchéité au vent Étanchéité à l'air Étanchéité à l'air
FONCTION VISUELLE								
	•							Seul élément perçu de l'extérieur, d'où importance du choix de la teinte (aussi lorsque mouillé), de la texture, de la durabilité, du vieillissement, du comportement aux salissures, etc.
							•	Seul élément perçu de l'intérieur, d'où importance du choix de la teinte, de la texture, de la durabilité, du vieillissement, du comportement aux salissures, etc.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

FONCTIONS DU MUR CREUX	PEAU EXTÉRIEURE	PARTIE EXTÉRIEURE	ZONE DE COUPEURE	ZONE D'ISOLATION THERMIQUE	PARTIE INTÉRIEURE	ZONE D'ISOLATION THERMIQUE ÉVENTUELLE	PEAU INTÉRIEURE	RÔLES DEMANDÉS AUX DIFFÉRENTES ZONES
FONCTION DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT								
LUMIÈRE	●							Reflète ± la lumière ou non, selon sa teinte et sa texture Réfléchit la lumière du local, selon sa teinte et sa texture
BRUIT AÉRIEN	●	●	●	●	●	●	●	Absorbe ± le son, selon sa texture Par sa masse, protection acoustique Absorption et/ou coupure acoustique
SÉCURITÉ À L'USAGE	●	●	●	●	●	●	●	Ne peut être abrasif Selon sa texture, accroche ± les poussières et les salissures Ne peut dégager d'émanations nocives
SÉCURITÉ À L'EFFRATION ET AUX CHOCS	●	●		●	●		●	Selon sa dureté
SÉCURITÉ AU FEU	●	●	●	●	●	●	●	Selon sa réaction au feu (bonne réaction au feu nécessaire) Selon sa résistance et sa réaction au feu (bonne résistance souhaitée et bonne réaction au feu nécessaire)
BILAN ÉNERGÉ- TIQUE GLOBAL	●	●	●	●	●	●	●	Favoriser le choix de matériaux dont la fabrication et la mise en oeuvre consomment, au total, le moins d'énergie
BILAN ENVIRON- NEMENTAL	●	●	●	●	●	●	●	Favoriser le choix de matériaux dont l'impact environnemental est faible
FONCTION STRUCTURALE								
	●	(●)						Si parement suspendu ou en l'absence de partie extérieure (cas du crépi sur l'isolant) : - résiste aux chocs - supporte certains équipements
		●						Si porteur : - peut participer à la reprise des charges verticales et à la stabilité globale du mur porteur - reprend les poussées du vent et les transmet à la structure - résiste aux chocs - supporte certains équipements
			●	●				Zone de solidarisation optimale des deux parties du mur Cet accrochage mutuel diminue l'éclatement de l'ensemble Transmission des poussées transversales à la structure principale (Utilisée comme «vide technique» pour l'installation de certains équipements)
							●	Assume le rôle de stabilité et de résistance mécanique aux sollicitations dues aux charges statiques Résistance aux charges dynamiques (sismiques, etc.) Résiste aux chocs
							●	Supporte et intègre certains équipements

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR MULTICOUCHE

La conception des murs multicouche résulte de nombreuses combinaisons, que l'on peut différencier :

- selon la typologie;
- selon les matériaux utilisés;
- selon la chronologie de réalisation.

Le choix de l'auteur de projet parmi ces trois distinctions entraîne des conséquences importantes sur l'architecture elle-même et sur l'organisation du chantier.

Le mur creux va encore évoluer pour offrir des performances thermiques accrues, qui répondront aux desiderata futurs en matière d'énergie et de confort thermique.

1. CHOIX DE LA PEAU EXTÉRIEURE

La **peau extérieure** est la face vue de la partie extérieure du mur creux.

Sa perméabilité à la vapeur et son degré d'absorption de l'eau de précipitation influencent fortement la conception de la zone de coupure au point de vue **HYGROTHERMIQUE**.

Elle est déterminante au point de vue de la composition architectonique.

Dans les murs multicouches, elle est :

- soit intégrée à la partie extérieure par la texture même du matériau (exemple : briques, bardage, pierres, panneaux décorés, etc.) ;
- soit directement appliquée sur l'isolant (zone d'isolation) et permet de supprimer la partie extérieure et la zone de coupure (exemple : crépi sur isolant).

Le choix de la peau extérieure est dès lors déterminant dans la méthodologie de conception du mur multicouche.

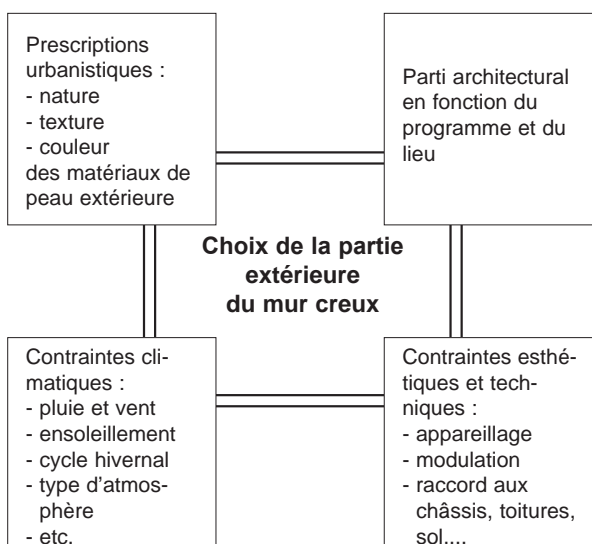
2. CHOIX DE LA PARTIE EXTÉRIEURE

La **partie extérieure** du mur creux peut être autoportante, éventuellement autostable, suspendue ou absente :

AUTOPORTANTE NON AUTOSTABLE

La technologie établie de l'accrochage de la paroi extérieure à la paroi intérieure structurale permet de stabiliser la paroi extérieure qui se supporte elle-même.

Dans ce cas, les linteaux des baies doivent être distincts et séparés par la zone de coupure; les linteaux extérieurs peuvent cependant être accrochés par points limités aux linteaux intérieurs.



En cas de bâtiment élevé, la charge propre à la base de la partie extérieure peut devenir excessive ; dans ce cas, des reports de charges intermédiaires devront être conçus, tout en respectant la zone de coupure thermique et d'étanchéité.

AUTOPORTANTE AUTOSTABLE

Par l'épaisseur de sa maçonnerie, par sa forme architectonique, la partie extérieure peut être autostable et autoportante.

Elle peut aussi reprendre des charges de surfaces horizontales telles que des terrasses, balcons, bow-windows, loggias...

Sa stabilité transversale est cependant limitée par son élancement et il est donc opportun, en cas d'élancement supérieur à 24, d'accrocher aussi la partie extérieure à la partie intérieure structurale.

Un accrochage de sécurité est de toute façon nécessaire pour assurer la sécurité dans le temps, car les attaques du climat peuvent déstructurer les joints et rendre ainsi la paroi plus fragile au déversement.

Les exemples les plus courants de ces deux premiers types de parement sont les maçonneries de briques, de blocs crépis ou non, de pierres, etc.

Pour permettre d'évacuer l'eau, des joints verticaux ouverts (au moins 1 par mètre courant) doivent être prévus au-dessus de chaque couche hydrofuge. Ces ouvertures doivent être libres. Se référer au document intitulé « *Murs creux isolés de façade en maçonnerie* » publié par l'UBATc pour des informations plus précises à ce sujet [UBAT-11].

BARDAGE EXTÉRIEUR

La partie extérieure du mur est dans ce cas suspendue au mur porteur intérieur et est généralement dite « légère » en opposition aux deux catégories citées précédemment considérées comme étant des parements « lourds ».

Dans ce cas, il faut s'assurer que le mur porteur puisse reprendre les charges du parement qui peut être :

- **suspendu avec vide ventilé** : il est dès lors fixé par l'intermédiaire d'une structure appliquée sur le mur porteur dans l'épaisseur des zones d'isolation et de coupure. Dans ce cas, une ventilation adéquate du parement doit être réalisée sur la face arrière de celui-ci en zone de coupure. Se référer à la NIT 243 du CSTC intitulée « Les revêtements de façade en bois et en panneaux à base de bois » pour des informations plus précises à ce sujet [CSTC-11].
- **suspendu sans vide ventilé** : il est dès lors collé à l'isolant.

Les exemples les plus courants de ce type de parement

sont les parements en bois, en tuiles, en ardoises, en panneaux décoratifs ou à crépir, en pierres, etc.

ABSENTE (CRÉPI)

C'est le cas de l'apposition directe d'une finition sur la couche isolante comme dans le cas particulier du crépi sur isolant. Cette technique connaît un essor considérable depuis quelques années pour les deux raisons principales suivantes :

- elle permet de diminuer sensiblement l'épaisseur du mur et des fondations
- elle intègre en deux couches la finition esthétique et la performance énergétique du mur

Cette technique n'est cependant pas encore répandue sur l'entièreté du territoire wallon ; elle est plus présente dans les régions où le crépi est traditionnellement utilisé comme finition, à savoir les régions limitrophes à l'Allemagne et au Grand-Duché du Luxembourg.

Outre les performances techniques décrites au chapitre précédent, le choix de la partie extérieure du mur multicouche constitue une réponse de l'auteur de projet :

- aux prescriptions urbanistiques : imposant la nature du matériau de parement, laissé apparent ou non, sa texture, sa couleur, etc.;
- au parti architectural que l'auteur de projet souhaite exprimer dans le site où le bâtiment s'insère ;
- au type d'exposition, aux sollicitations climatiques ;
- aux considérations tant esthétiques que techniques, de l'appareillage, de la modulation choisie pour le matériau de la face extérieure du mur multicouche et du raccord aux châssis et des ouvertures ;
- aux conséquences de la composition de la façade sur le plan, voire la structure de l'immeuble, comme l'illustre l'exemple ci-contre lors du choix des dimensions des baies.

Le tableau ci-après récapitule les choix de l'auteur de projet et leurs conséquences architecturales et techniques, en ce qui concerne la peau extérieure du mur multicouche.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

PAREMENT APPARENT	PAREMENT PEINT	PAREMENT CRÉPI	PARTIE EXTÉRIEURE SUSPENDUE (B)	PARTIE EXTÉRIEURE ABSENTE

TECHNIQUE DE FONDATIONS

Fondations à élargir sous le parement

Les fondations peuvent être limitées à fleur du mur porteur

CHOIX D'UN MATÉRIAU ET D'UNE MISE EN OEUVRE

Matériaux disponibles

- blocs de béton : hydrofugés ou non, colorés dans la masse ou de couleur naturelle
- blocs de béton avec face en céramique émaillée
- briques émaillées
- briques de béton, de silico-calcaire, de laitier
- pierres naturelles : moellons dégrossis et équarris
- briques de terre cuite de différents formats, pleines ou perforées de tonalité et de textures diverses
- blocs de terre cuite de grand format
- blocs de béton à texture de peau clivée
- blocs de béton cellulaire
- voile de béton avec diverses finitions possibles

Une peinture étanche à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau est à conseiller (minérale, acrylique).

Un crépi épais à base de ciment et de chaux sera préféré pour ses qualités de perméabilité à la vapeur et d'étanchéité à l'eau de précipitation ; un crépi étanche à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau est à conseiller.

- bois
- tuiles
- ardoises
- pierres
- panneaux à crépir

Une couche d'enduit composée d'un enduit de base minéral ou organique doté d'une armature en fibres de verre et d'un enduit de finition minéral, silicaté, organique ou encore organique siliconé.

Matériaux de support

Le support susceptible d'être peint peut être :

- pierres naturelles : moellons dégrossis et équarris
- briques de terre cuite de différents formats, pleines ou perforées de textures lisses
- blocs de terre cuite de grand format
- blocs de béton à texture serrée couleur naturelle
- blocs de béton cellulaire
- voile de béton

Le support doit être compatible avec le crépi :

- pierres naturelles : moellons dégrossis et équarris
- briques de terre cuite de différents formats, pleines ou perforées de textures lisses
- blocs de terre cuite de grand format
- blocs de béton à texture serrée, couleur naturelle
- blocs de béton cellulaire
- voile de béton

Le support est généralement une ossature en bois ou métallique. Le parement peut être également collé à l'isolant.

Le support isolant doit être compatible avec le crépi :

- EPS (graphité ou non)
- MW (laines minérales)
- PUR
- Fibre de bois

Modulation de l'élément à maçonner (l x h x d) ou à accrocher

Ceci peut déterminer la modulation de la façade elle-même ou de ses sous-ensembles. L'épaisseur d de l'élément à maçonner détermine déjà en partie la largeur de la fondation et la technique de pose.

Ceci n'influence que la vitesse de pose. L'épaisseur d de l'élément à maçonner détermine déjà en partie la largeur de la fondation et la technique de pose.

La modulation est fonction de la structure portante du parement. Cette structure peut être plus ou moins apparente en fonction du matériau choisi. Si la structure est absente ou non déterminante pour la pose, la modulation dépend du matériau lui-même.

Sans objet.

Tonalité et texture de l'ensemble de la maçonnerie : élément et joints combinés

Ceci détermine l'expression architectonique de la peau opaque de la façade.

Ceci ne dépend plus que de la peinture ou du relief de son support.

Ceci ne dépend plus que du crépi lui-même qui peut être coloré dans la masse et de sa finition, soit taloché lisse, soit projeté, soit gratté.

Ceci détermine l'expression architectonique de la peau opaque de la façade.

Ceci ne dépend plus que du crépi lui-même qui peut être coloré dans la masse ou peint et de sa finition, soit taloché lisse, soit projeté, soit gratté.

Technique de pose

Nécessité ou non de découpes des éléments et influence sur l'aspect.

Le crépi demande toujours un échafaudage, mais le matériau doit avoir fait son retrait et il est préférable qu'il soit déjà en place depuis quelques semaines avant de crépir. Cet échafaudage ne pourra donc qu'exceptionnellement être celui monté pour la maçonnerie extérieure de support.

Nécessité ou non des découpes des éléments et influence sur l'aspect.

L'isolant et le parement seront toujours placés après le montage de la partie intérieure. Un échafaudage sera dès lors nécessaire pour la pose du parement.

L'isolant et le parement seront toujours placés après le montage de la partie intérieure.

Un échafaudage sera dès lors nécessaire pour la pose du crépi. Le support (l'isolant) doit être sec ; il sera donc généralement protégé des intempéries dès sa pose.

Degré d'absorption de l'eau de précipitation et d'accrochage des poussières

Ceci détermine en partie la composition de la zone de coupure, mais aussi la tenue et la durabilité dans le temps du parement

Ceci dépend essentiellement des propriétés de la peinture qui sera appliquée.

Ceci dépend essentiellement du type de crépi et de sa texture.

Ceci détermine en partie la composition de la zone de coupure et d'isolation, mais aussi la tenue et la durabilité dans le temps du parement.

Ceci dépend essentiellement du type de crépi et de sa texture.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

PAREMENT APPARENT	PAREMENT PEINT	PAREMENT CRÉPI	PARTIE EXTÉRIEURE SUSPENDUE (B)	PARTIE EXTÉRIEURE ABSENTE

Perméabilité à la vapeur de la peau extérieure combinée à celle de la partie extérieure

Ceci peut influencer la composition de la zone de coupe et de la partie intérieure.	Ceci peut influencer la composition de la zone de coupe et de la partie intérieure. Le choix d'une peinture, soit acrylique, soit minérale, présentant une perméabilité à la vapeur assez grande sera envisagé.	Ceci peut influencer la composition de la zone de coupe et de la partie intérieure. Le choix d'un crépi minéral présentant une perméabilité à la vapeur assez grande sera envisagé.	Ceci peut influencer la composition de la zone de coupe et de la partie intérieure.	Ceci peut influencer la composition de la zone de coupe et de la partie intérieure. Le choix d'un crépi présentant une perméabilité à la vapeur assez grande sera envisagé.
---	---	---	---	---

CHOIX DE L'ARCHITECTURE DE CONTOURS DES BAIES

Même matériau que le parement courant, avec d'autres matériaux	Peinture sur le même matériau que le parement courant, avec d'autres matériaux, peints ou non.	Même matériau que le parement courant, avec d'autres matériaux.	Même matériau que le matériau courant ou avec d'autres matériaux.	Généralement crépi comme sur le matériau courant.
Si autres matériaux	Si autres matériaux, peints ou non	Si autres matériaux, crépis ou non	Si autres matériaux	
Traitement des retours de baies et du linteau en fonction de la continuité des performances d'aspect, d'étanchéité à l'eau et à l'air, d'isolation thermique et de stabilité à assurer.	Traitement des retours de baies et du linteau, en fonction de la continuité des performances d'aspect, d'étanchéité à l'eau et à l'air, d'isolation thermique et de stabilité à assurer.	Traitement des retours de baies et du linteau en fonction de la continuité des performances d'aspect, d'étanchéité à l'eau et à l'air, d'isolation thermique et de stabilité à assurer. Le choix du matériau des linteaux crépis n'a plus d'influence que sur les problèmes d'accrochage du crépi au matériau de structure. Il est conseillé de ponter, par des treillis ou des voiles, les joints entre des matériaux de support différents.	Ceci détermine l'expression architecturale de la façade pour faire ressortir une baie de manière plus distincte.	
Dans de nombreux cas de parements dits «lourds», pour placer les menuiseries extérieures dans la continuité de la couche isolante, il faudra placer un encadrement extérieur dans un matériau léger afin de combler la largeur résiduelle de la zone de coupe et d'isolation non fermée par le châssis et ce, afin d'obtenir un noeud constructif PEB-conforme et de répondre aux exigences de la PEB.				

3. CHOIX DE LA PARTIE INTÉRIEURE

MATÉRIAU DE LA PAROI INTÉRIEURE	μ . d [m]	
	sans enduit	avec enduit
Bloc creux de béton lourd (Ep. 14 cm)	2,00	2,10
Bloc creux de béton lourd (Ep. 19 cm)	2,70	2,80
Bloc de béton cellulaire (densité ≤ 500 kg/m³) ép. 14 cm	1,40	1,50
Bloc de béton cellulaire (densité ≤ 500 kg/m³) ép. 19 cm	1,90	2,00
Bloc de béton cellulaire (densité ≥ 700 kg/m³) ép. 14 cm	1,40	1,50
Bloc de béton cellulaire (densité ≥ 700 kg/m³) ép. 19 cm	1,90	2,00
Bloc creux de béton d'argile expansée (Ep. 14 cm)	0,90	1,00
Bloc creux de béton d'argile expansée (Ep. 19 cm)	1,00	1,10
Brique perforée de terre cuite ép. 14 cm	1,05	1,15
Brique perforée de terre cuite ép. 19 cm	1,43	1,53
Brique perforée de terre cuite allégée ép. 14 cm	1,05	1,15
Brique perforée de terre cuite allégée ép. 19 cm	1,43	1,53

RÉSISTIVITÉ DE LA PAROI INTÉRIEURE

En général, la **partie intérieure** du mur multicouche est porteuse des charges des planchers et toitures et stabilisatrice de l'immeuble.

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

PAROI MAÇONNÉE PORTANTE

De la résistance à la compression des matériaux maçonnés, de leur épaisseur, des formes architectoniques, va résulter la capacité portante de la paroi.

Les matériaux maçonnés les plus courants sont :

- le bloc de béton lourd ou léger (type bloc d'argile expansée et bloc de béton cellulaire) ;

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

- les briques et les blocs de terre-cuite, silico-calcaire, les blocs de terre cuite lourds ou allégés ;
- les blocs en bois empilés ;
- les pierres naturelles en épaisseur suffisante liée aux problèmes de mise en oeuvre ; ce type de maçonnerie n'est plus utilisée dans la partie intérieure des nouveaux murs isolés maçonnés ;
- le béton armé coulé en place sous forme de voile ;
- le béton armé préfabriqué assemblé par panneaux sur chantier.

PAROI EN VOILE, EN PANNEAUX OU MADRIERS

De la résistance à la compression des voiles, panneaux ou madriers, de leurs épaisseurs, des formes architectoniques, va résulter la capacité portante de la paroi.

- le béton armé coulé en place sous forme de voile ;
- le béton armé préfabriqué assemblé par panneaux sur chantier ;
- les panneaux en bois contrecollés ;
- les madriers en bois empilés ou juxtaposés.

La résistivité à la vapeur d'eau de cette partie de mur est donnée au tableau ci-contre, selon qu'il y a ou non présence d'un enduit de plafonnage intérieur. Cette propriété sera utile dans le choix ultérieur du type d'isolant et du type de zone de coupure thermique.

APPOSITION COMPLÉMENTAIRE D'UN PARE-VAPEUR ÉVENTUEL

Comme la résistivité au transfert de vapeur d'eau offerte par la partie intérieure choisie est parfois insuffisante pour éviter tout problème de condensation au sein du mur multicouche, l'apposition d'un pare-vapeur complémentaire peut s'avérer nécessaire.

Ce pare-vapeur est à choisir parmi les matériaux repris au tableau ci-contre (reprenant leur μd à l'état sec).

Le pare-vapeur peut être placé sur la surface externe de la paroi intérieure.

Interposer une "membrane" pare-vapeur offre la propriété supplémentaire d'accroître l'étanchéité à l'air de l'ensemble du mur multicouche.

A noter que l'étanchéité à l'air et la perméabilité à la vapeur d'eau sont deux notions bien distinctes souvent confondues. La transmission de la vapeur d'eau au sein d'une paroi est étudiée afin d'éviter les problèmes de condensation sur ou au sein d'une paroi et ce à cause d'une différence de température au sein de la paroi et de pression de part et d'autre de la paroi. Tandis que l'étanchéité à l'air garantit une diminution des pertes de chaleur dues à une infiltration / exfiltration non contrôlée.

MATERIAUX PARE-VAPEUR		$\mu \times d$ [m]
Papier peint	ordinaire ép. $\pm 0,15$ mm	0,03
	textile ép. ± 1 mm	0,045
	vinyl ép. ± 1 mm	0,43
Papier bitume	sur une face	0,70
Papier kraft	bitumé ou revêtu d'une feuille d'alu	5,00 (E2)
Plaque de plâtre	enrobé avec une feuille alu ép. 9 μ m	5,00 (E2)
	enrobé avec une feuille alu ép. 15 μ m	15 (E2)
	enrobé avec une feuille alu ép. 30 μ m	35 (E3)
Membrane	en PVC	40 (E3)
	en polyisobuthylène	520 (E4)
Peinture	minérale	0,02
	au latex	0,60
	acrylique	0,70
	à l'huile	2,40 (E1)
	vernis d'adhérence	1,35
Film	polymère à base de polyamide hydrorégulant	été : $> 0,2$
		hiver : 15 (E2)
Feuille	de polyéthylène armé micro-perforé	2,5 (E1)
	de polyéthylène ép. 0,2 mm	7,50 (E2)
	de polyéthylène ép. 0,4 mm	15 (E2)
	en alu armé	4,3 (E1)
	en alu plastifié sur 1 face	20 (E2)
	en alu plastifié sur 2 faces	100 (E3)
Bitume	armé voile de verre ép. $\pm 0,3$ 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

4. CHOIX DE LA PEAU INTÉRIEURE

Pour des raisons esthétiques, la face interne de la partie intérieure du mur multicouche peut :

- rester apparente ;
- être enduite de plafonnage : l'épaisseur réduite de l'enduit de plafonnage lui confère un rôle négligeable dans la résistance thermique de la paroi ;
- être peinte : l'épaisseur minimale de la couche de la peinture la rend inutile dans la résistance thermique de la paroi. 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 dernier tableau de la page précédente récapitule les propriétés apportées par la peau intérieure.

5. CHOIX DU TYPE DE ZONE DE COUPURE THERMIQUE ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU

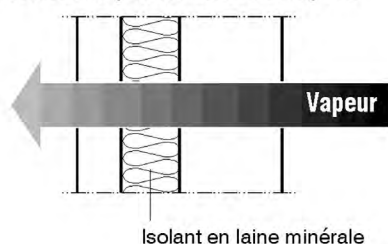
La zone de coupure thermique peut être intégralement remplie d'un matériau isolant ou rester partiellement remplie. Les isolants ont chacun leur spécificité et limite d'emploi :

- la laine minérale, sous la forme de panneaux semi-rigides spécifiquement prévus pour les murs multicouche, offre une relative souplesse facilitant le calfeutrement des panneaux entre eux et autour des baies; cette caractéristique la rend également particulièrement bien adaptée au remplissage intégral de la zone de coupure ;
- les mousses synthétiques, commercialisées en panneaux à rainures et languettes, subissent un léger retrait, qui se marque au bout de quelques années après la pose. D'autre part, les panneaux à rainures et languettes doivent être posés avec la languette en partie supérieure; la pose inversée avec la rainure en partie supérieure offre une gorge qui peut se remplir d'eau, puis transmettre celle-ci à la partie intérieure ;
- le verre cellulaire, étanche à la vapeur d'eau, supprime les transferts de vapeur d'eau au travers du mur et, de ce fait, les risques de condensation. Pour conférer à la couche isolante cette étanchéité à la vapeur d'eau, il est essentiel que les panneaux soient correctement serrés et maintenus par des crochets ou des chevilles adéquats.

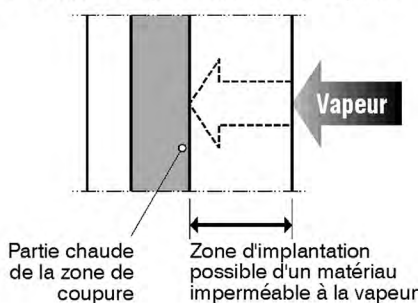
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

CONDITIONS REQUISES	ZONE COMPLÈTEMENT REMPLIE	ZONE PARTIELLEMENT REMPLIE
Parement	Parements perméables à la vapeur d'eau et bien étanches à l'eau et peu exposés aux pluies	- à conseiller en cas de parement peu étanche et en façades fortement exposées aux pluies - à conseiller pour des grands pans de murs non interrompus, pour atténuer les effets de l'échauffement du parement extérieur sous l'action du soleil
Pose	Crochets ou chevilles d'attache entre les parements	L'isolant est toujours posé contre la partie intérieure et les panneaux sont jointifs, pour ne pas créer de convection parasite (crochets spécifiques)
Chronologie	Réalisation simultanée ou en plusieurs étapes	Plutôt réalisation en plusieurs étapes
Rejet de l'eau de précipitation ayant infiltré le parement	Rejet d'eau à prévoir au-dessus de toutes les ouvertures et en base de mur et de tout support de parement	Rejet d'eau à prévoir au-dessus de toutes les ouvertures et en base de mur et de tout support de parement
Isolant à utiliser	Isolation de type semi-rigide et non capillaire, parfaitement jointive <i>Dans le cas particulier de la partie enterrée des murs, le remplissage de la zone de coupure est une solution particulièrement bien adaptée, à condition d'utiliser un isolant rigide, non capillaire et peu compressible.</i>	Isolation rigide ou semi-rigide (pour les laines minérales : densité = 20 à 25 kg/m ³ dans le cas de la laine de verre et 35 à 45 kg/m ³ dans le cas de la laine de roche), parfaitement jointive et maintenue contre la paroi intérieure pour éviter les convections parasites

Mur creux perméable à la vapeur



Mur creux non perméable à la vapeur



Il est important que le matériau isolant employé soit hydrophobe, ce qui est le cas des mousses synthétiques -à l'exception du polystyrène expansé-, de la mousse de verre et de la laine minérale.

La perméabilité à la vapeur d'eau du matériau isolant (rappelée ci-contre) est à confronter à la perméabilité de la peau extérieure et de la peau intérieure du mur multicouche, pour que le transfert de vapeur d'eau se fasse harmonieusement. Un autre choix est, au contraire, d'arrêter totalement la vapeur d'eau, en interposant un matériau pare-vapeur du côté chaud de la zone de coupure. Si, dans l'épaisseur du mur, on rencontre un endroit particulièrement humide et froid, où la vapeur d'eau se condensera, il est important que cette condensation puisse s'éliminer sans risque de dégradations.

Des isolants précités, c'est la laine minérale qui est la plus perméable à la vapeur d'eau et à l'air.

Dans le cas de maçonnerie de parement, si une lame d'air est présente, la lame d'air devrait être :

- ≥ 30 mm sur plan, en cas d'utilisation de mortier traditionnel, de manière à avoir une lame d'air libre et continue du côté de la façade, compte tenu des tolérances d'exécution ;
- ≥ 20 mm sur plan, en cas d'utilisation de mortier-colle, et ce pour les mêmes raisons.

En fonction de la surface d'ouvertures par mètre courant de maçonnerie de façade pour la ventilation, l'évacuation des eaux ou autres, la lame d'air sera considérée comme :

- non ventilée si la surface d'ouvertures par mètre courant de maçonnerie de façade est de maximum 500 mm² ;
- faiblement ventilée si la surface d'ouvertures par mètre courant de maçonnerie de façade est comprise entre 500 et 1500 mm² ;
- très ventilée si la surface d'ouvertures par mètre

LAME D'AIR	VERTICALE
Non ventilée	surface / longueur ≤ 5 cm ² /m = 1 joint de 5 cm ² par mètre linéaire
Faiblement ventilée	5 cm ² /m < surface / longueur ≤ 15 cm ² /m = 2 joints de 5 cm ² par mètre linéaire
Fortement ventilée	15 cm ² /m < surface / longueur = 4 joints de 5 cm ² par mètre linéaire

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

courant de maçonnerie de façade est supérieure à 1500 mm².

La résistance thermique des couches d'air est détaillée dans l'Annexe 3 de l'AGW PEB du 15 décembre 2016 [GW -16-2].

Afin d'évacuer l'eau qui s'écoule dans le creux vers l'extérieur, on place en bas de la coulisse ventilée et au-dessus de chaque interruption de façade une membrane étanché à l'eau à joints collés ou soudés [UBAT-11] Une autre solution, dans le cas d'un mur multicouche avec un parement léger ou un bardage, est de ne pas élargir les fondations sous le parement et l'isolation. L'isolation sera continue et, éventuellement, enterrée au niveau des fondations. Le parement est quant à lui interrompu au-dessus de la plinthe isolée. (Voir détails dans le chapitre « Carnet de détails »)

6. CHOIX DE LA CHRONOLOGIE DE RÉALISATION

POSES SIMULTANÉES

Quand le parement extérieur est maçonné, la réalisation des parties extérieure, intérieure et de la zone de coupure peut se réaliser simultanément. Dans ce cas, un seul échafaudage est placé du côté intérieur du mur et la réalisation progressive se déroule comme suit :

- exécution de la partie extérieure sur la hauteur d'un panneau d'isolation, soit ± 60 cm;
- pose d'un panneau de matériau isolant;
- exécution de la partie intérieure.

Cette technique de réalisation impose que la maçonnerie de la partie extérieure, restant fragile pendant son séchage, soit suffisamment prise avant les étapes suivantes. Cela conditionne l'avancement du chantier.

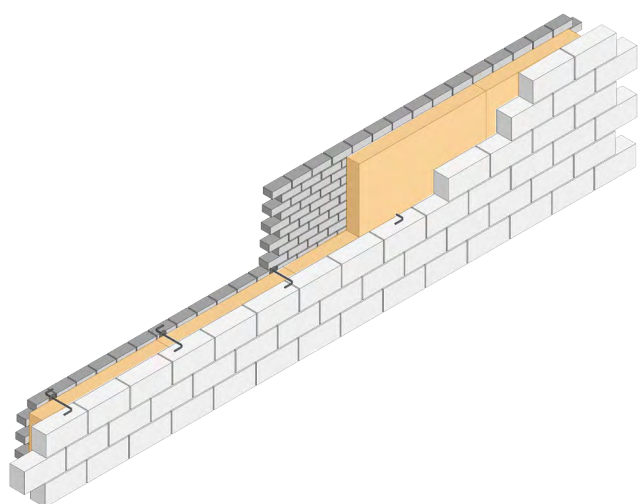
Pour une pose correcte de l'isolation, il est préférable de réaliser des tranches d'une hauteur correspondant à la hauteur des panneaux (soit en général ± 60 cm), plutôt que des tranches de ± 20 cm de hauteur. Cela permet une meilleure accessibilité au parement et donc une meilleure finition des joints. Cela permet aussi de mieux superposer le panneau isolant au panneau inférieur. Cette chronologie de pose devient de plus en plus rare.

POSES SÉPARÉES

Pour optimiser la qualité de réalisation, on recourt généralement à la pose séparée :

- de la partie intérieure du mur creux, sur toute la hauteur du bâtiment, munie des feuilles d'étanchéité en attente (aux interruptions du mur multicouche) ;
- du matériau isolant :
 - soit empalé sur des crochets fixés à la partie intérieure et laissés préalablement en attente ;
 - soit maintenu par des rosaces enfilées sur des pointes chevillées dans la partie intérieure du mur ;

MATÉRIAUX ISOLANTS	μ [humide • sec]
Mousse de polyuréthane	10 • 100
Polystyrène extrudé	150 • 300
Polystyrène expansé	15 • 60
Laine minérale	1,2 • 1,3
Mousse d'urée formaldéhyde - Mousse phénolique	1,5 • 3
Liège	4,5 • 29
Verre cellulaire (en plaques)	∞
Perlite expansée pure	5 • 7
Vermiculite expansée pure	5 • 7
Panneau de fibres de bois agglomérées au ciment	3,7 • 10



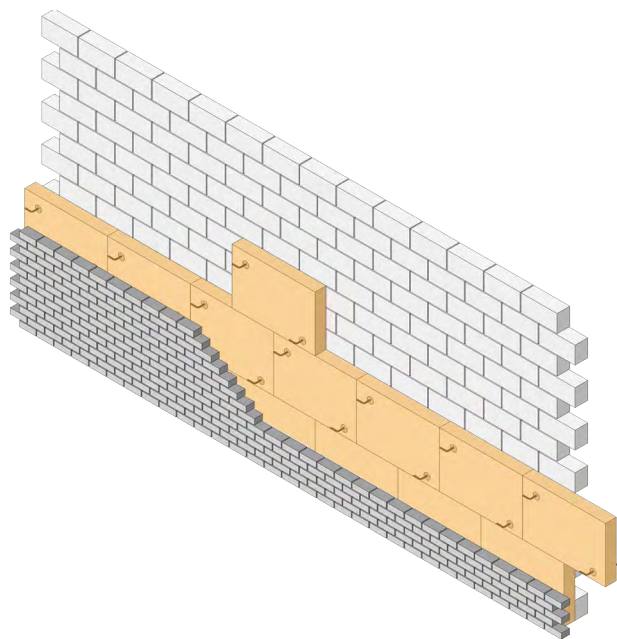
L'influence sur la valeur U des fixations mécaniques perforant la couche d'isolation d'un mur creux peut être déterminée selon l'Annexe 3 de l'AGW PEB du 15 décembre 2016 dans le chapitre « 7.2.3. Correction pour les fixations mécaniques perforant la couche d'isolation », [GW -16-2]. Par défaut, le nombre de crochets de mur par m² est de 5.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

- soit inséré dans une structure métallique ou en bois quand le parement est suspendu au mur intérieur ;
- enfin du parement proprement dit, en reprenant les feuilles d'étanchéité laissées en attente.

La première étape fait appel à un échafaudage érigé du côté intérieur du mur, comme pour la réalisation simultanée des trois parties de mur ou à des appareils de levage si le mur intérieur est livré sur chantier sous forme de voile de béton ou de panneaux de bois contre-collés.

Les deux dernières étapes nécessitent le montage d'un second échafaudage, à l'extérieur du bâtiment, ce qui entraîne généralement un coût de réalisation supérieur.



Dans le cas d'un parement maçonné, cette chronologie de réalisation présente de multiples avantages :

- seule cette technique de réalisation permet d'éliminer les excédents et bavures de mortier, et donc de réaliser un support lisse pour le matériau isolant et une mise en œuvre correcte de celui-ci, grâce à une pose continue de l'isolant, plus aisée et mieux vérifiable ;
- la pose de l'isolant est également plus propre, les déchets de mortier ne venant pas se déposer sur la tranche du panneau isolant en attente d'être recouvert du panneau suivant. Si ces déchets de mortier n'entâchent presque pas la qualité d'isolation des panneaux de laine minérale, ils empêchent au contraire un emboîtement correct des panneaux d'isolation rigides ;
- seule cette technique de réalisation autorise la pose d'un enduit ou d'un voile pare-vapeur sur la face externe de la partie intérieure du mur creux, lorsque cette mesure est jugée nécessaire par l'auteur de projet, pour accroître l'étanchéité à l'air du mur ou la résistivité à la vapeur d'eau de la partie intérieure du mur creux.

Pour tous les autres parements (bardage, crépi, pierres collées, etc.), la partie intérieure est toujours réalisée en premier lieu. Le parement et l'isolation sont placés ultérieurement.

Cette chronologie de réalisation autorise le placement des châssis de portes et fenêtres :

- soit après la pose du parement (comme la réalisation simultanée) ;
- soit avant la pose du parement, en les accrochant à la partie intérieure du mur creux.

Dans la logique de cette dernière option, il est dès lors possible :

- de confier la pose de l'isolation à un autre corps de métier que le maçon ;
- de choisir d'autres types de seuils et linteaux que ceux généralement choisis.

REMARQUE

Quel que soit le type de pose choisi, en cas de mur crépi ou en cas de jointoiement a posteriori du parement, l'utilisation d'un second échafaudage sera sans doute nécessaire.

La réalisation préalable de la partie intérieure du mur multicouche (la partie structurale) permet de réaliser plus rapidement le gros-œuvre intérieur du bâtiment (planchers, cloisons, etc.).

7. AIDE À LA DÉCISION LORS DE LA CONCEPTION D'UN MUR MULTICOUCHE

Pour concevoir un mur multicouche, il faudra toujours considérer les éléments suivants comme prépondérants dans le processus de conception du bâtiment :

	MUR MULTICOUCHE
Isolation thermique	X
Diffusion de la vapeur d'eau	X
Étanchéité à l'eau	X
Étanchéité à l'air	X
Création d'ouvertures	X
Transmission structurelle	
Encombrement	
Mise en oeuvre	X

Contrairement aux murs pleins, les 8 critères apparaissent comme éléments décisifs dans la conception d'un mur multicouche :

- L'étanchéité à l'eau apparaît comme étant un critère important de choix de la finition extérieure et/ou du parement extérieur choisi. Ce choix dépend des critères suivants : esthétique, contraintes urbanistiques, durabilité, entretien et structure d'accroche du parement.
- Pour l'étanchéité à la vapeur d'eau, les murs multicouches présentent des structures internes non homogènes dans le sens des flux de chaleur. Il faudra dès lors connaître les perméabilités successives des différentes couches et s'assurer que la perméabilité des couches soit croissante depuis l'intérieur vers l'extérieur.

Les différentes couches du mur seront choisies en fonction de l'exposition aux pluies de la façade et sa perméabilité à l'eau et à la vapeur d'eau.

- L'encombrement et l'isolation thermique : ces deux éléments sont intimement liés dans le mur multicouche car le vide ventilé peut être abandonné pour des raisons d'encombrement dû à l'épaisseur d'isolation nécessaire pour répondre aux exigences de la PEB.
- La mise en œuvre : ce critère est constant pour tous les murs et principalement en ce qui concerne la jonction avec d'autres éléments comme les dalles, les toitures et les baies.
- L'étanchéité à l'air : ce critère est déterminant dans la bonne conception du bâtiment pour assurer une ventilation régulée du bâtiment. Dans le mur multicouche, l'étanchéité à l'air est généralement gérée le long de la couche isolante du mur.
- La transmission structurelle et la création d'ouvertures de grandes tailles peuvent poser problème car les linteaux des parements lourds devront présenter des caractéristiques de résistance qui induisent une diminution des performances énergétiques de l'élément. Aussi, les caractéristiques particulières de chaque couche peuvent induire des mouvements différents au niveau du tassement et de la dilatation du mur.

8. CHOIX DE L'ÉPAISSEUR D'ISOLANT POUR OBTENIR UN COEFFICIENT $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Le coefficient $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ choisi ici comme objectif à atteindre, correspond à la valeur U maximale admissible à partir du 1^{er} janvier 2017 (voir Annexe 3 de l'AGW PEB du 28 janvier 2016 [GW -16-1]).

Le tableau suivant renseigne l'épaisseur d'isolation à insérer dans la zone de coupure et cela, dans le cas d'un remplissage partiel ou total de la zone de coupure et pour les matériaux isolants les plus couramment utilisés.

La partie intérieure est réalisée en blocs de béton lourd, d'argile expansée ou cellulaire, ou encore en briques de terre cuite allégée, ou encore en panneau de bois reconstitué.

L'enduisage de la partie intérieure par un enduit n'a guère d'influence sur les déperditions thermiques (hormis sur l'étanchéité à l'air). Le tableau peut être utilisé, qu'il y ait ou non un enduit intérieur.

L'influence, sur les déperditions thermiques, de la présence d'un enduit ou d'un voile pare-vapeur apposé sur la face externe de la partie intérieure du mur creux est également négligeable.

Dans les hypothèses de calcul choisies pour l'élaboration du tableau, lorsque le remplissage de la zone de coupure thermique est partiel, la coulisse est considérée comme fortement ventilée, ce qui implique que :

- la résistance thermique de la partie extérieure est négligée ;
- la résistance d'échange entre la partie intérieure et la coulisse est considérée comme équivalente à celle que l'on a du côté intérieur de la paroi.

Pour obtenir une ventilation efficace et un drainage correct des eaux de pénétration, l'épaisseur de la coulisse a été portée à 3 cm, épaisseur considérée comme suffisante par les auteurs :

- une largeur de 2 cm laisse en réalité un espace de ventilation rendu aléatoire par les débordements de mortier ;
- une largeur de 4 cm telle que préconisée par le CSTC [TILM-12], additionnée à l'épaisseur d'isolant requise pour l'obtention d'un U satisfaisant, conduit à une surlargeur du mur qui risque de poser problème au niveau des fondations ou bien entraîner un porte-à-faux qui pourrait devenir inadmissible entre mur d'élévation et mur de fondation, ou encore obliger à élargir le mur de fondation.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

EXEMPLES DE MURS MULTICOUCHE

MUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR		MUR ISOLÉ PAR L' EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BOIS	
	<ol style="list-style-type: none"> 1 Crépi 3 Blocs béton 19 cm 2 PUR 10 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ 4 Espace technique non isolé 3 cm 5 Plaques de plâtre 1,2 cm 		<ol style="list-style-type: none"> 1 Briques de parement Coulisse ventilée 2 PUR 8 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ 4 Espace technique non isolé 3 cm 3-5 Panneaux de bois reconstitué 5 plis 12,5 cm
$U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$		$U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$	
Épaisseur totale = 34 cm		Épaisseur totale = 36,5 cm	
Remarques : (1) (2)		Remarque : (3)	
MUR ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BOIS			
	<ol style="list-style-type: none"> 1 Crépi 2 EPS 12 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ 4 Espace technique non isolé 3 cm 3-5 Panneaux de bois reconstitué 3 plis 7 cm 		<ol style="list-style-type: none"> 1 Bardage Coulisse ventilée 2 Couche composée : ossature en bois et MW 14 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ 4 Espace technique non isolé 3 cm 3-5 Madriers empiésés 7 cm
$U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$		$U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$	
Épaisseur totale = 23 cm		Épaisseur totale = 31 cm	
Remarques : (2) (4)		Remarque : (4)	

(*) valeur calculée avec le logiciel PEB

REMARQUES

- (1) Pathologiquement défavorable à cause des nombreux ponts thermiques et problèmes d'étanchéité à l'air à résoudre
- (2) Dans ce cas, il faut vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur
- (3) Technique du mur creux nécessitant une fondation plus large
- (4) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

EXEMPLES DE MURS MULTICOUCHEs			
MUR ISOLÉ PAR L' EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BLOCS DE BÉTON LÉGER		MUR ISOLÉ PAR L' EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BLOCS DE TERRE CUITE ALVÉOLÉE	
	<p>1 Crépi 2 EPS 12 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ 3 Blocs béton d'argile expansée 14 cm 4-5 Plafonnage 1 cm</p> <p>$U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <p>Epaisseur totale = 28 cm</p> <p>Remarques : (2) (4)</p>		<p>1 Briques de parement Coulisse ventilée 2 PUR 8 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ 3 Blocs terre cuite alvéolée 14 cm 4-5 Plafonnage 1 cm</p> <p>$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <p>Epaisseur totale = 36 cm</p> <p>Remarques : (2) (3)</p>
MUR ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BLOCS DE TERRE CUITE ALVÉOLÉE			
	<p>1 Briques de parement 2 MW 12 cm $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$ 3 Blocs terre cuite alvéolée 14 cm 4-5 Plafonnage 1 cm</p> <p>$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <p>Epaisseur totale = 36 cm</p> <p>Remarque : (3)</p>		<p>1 Pierres de parement collées sur isolant ou posées sur fondation 2 PUR 10 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ 3 Blocs terre cuite alvéolée 14 cm 4-5 Plafonnage 1 cm</p> <p>$U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <p>Epaisseur totale = 28 à 45 cm</p> <p>Remarques : (2) (4)</p>

(*) valeur calculée avec le logiciel PEB

REMARQUES

- (1) Pathologiquement défavorable à cause des nombreux ponts thermiques et problèmes d'étanchéité à l'air à résoudre
- (2) Dans ce cas, il faut vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur
- (3) Technique du mur creux nécessitant une fondation plus large
- (4) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

EXEMPLES DE MURS MULTICOUCHE

MUR ISOLÉ PAR L' EXTÉRIEUR, MUR PORTEUR EN BLOCS DE BÉTON

<p>EXT. INT.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>38</p>	<p>1 Bardage Coulisse ventilée</p> <p>2 Couche composée : ossature en bois et MW 16 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$</p> <p>3 Blocs béton 14 cm</p> <p>4-5 Plafonnage 1 cm</p> <hr/> <p>$U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <hr/> <p>Epaisseur totale = 38 cm</p> <hr/> <p>Remarque : (4)</p>	<p>EXT. INT.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>32</p>	<p>1 Bardage Coulisse ventilée</p> <p>2 PUR 10 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$</p> <p>3 Blocs béton 14 cm</p> <p>4-5 Plafonnage 1 cm</p> <hr/> <p>$U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <hr/> <p>Epaisseur totale = 32 cm</p> <hr/> <p>Remarque : (4)</p>
<p>EXT. INT.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>38</p>	<p>1 Briquement de parement Coulisse ventilée</p> <p>2 PUR 10 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$</p> <p>3 Blocs béton 14 cm</p> <p>4-5 Plafonnage 1 cm</p> <hr/> <p>$U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <hr/> <p>Epaisseur totale = 38 cm</p> <hr/> <p>Remarque : (3)</p>	<p>EXT. INT.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>42</p>	<p>1 Briquement de parement Coulisse ventilée</p> <p>2 MW 14 cm $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$</p> <p>3 Blocs béton 14 cm</p> <p>4-5 Plafonnage 1 cm</p> <hr/> <p>$U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K} (*)$</p> <hr/> <p>Epaisseur totale = 42 cm</p> <hr/> <p>Remarque : (3)</p>

(*) valeur calculée avec le logiciel PEB

REMARQUES

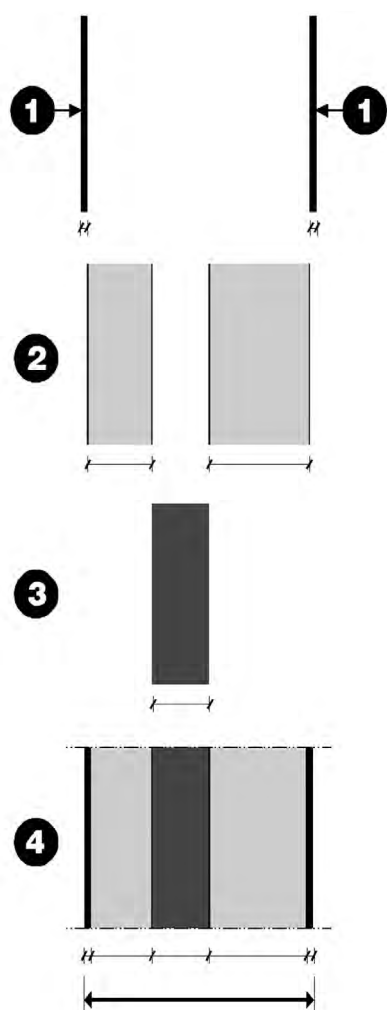
- (1) Pathologiquement défavorable à cause des nombreux ponts thermiques et problèmes d'étanchéité à l'air à résoudre
- (2) Dans ce cas, il faut vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur
- (3) Technique du mur creux nécessitant une fondation plus large
- (4) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

9. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DU MUR CREUX

Pour suivre l'amélioration souhaitée des performances thermiques, il est nécessaire d'augmenter la largeur de la zone de coupure, ce qui a pour conséquences :

- d'élargir l'embase du mur ;
- de devoir assurer l'accrochage entre parties extérieure et intérieure du mur multicouche, au moyen de dispositifs notablement plus rigides, pour s'adapter à une largeur de la zone de coupure plus grande que les largeurs pratiquées auparavant ;
- de se soucier de réduire la transmission thermique par ces crochets, en optant pour un dispositif moins conducteur que les crochets métalliques.

Au-delà d'une certaine distance séparant les parties extérieure et intérieure, il deviendra indispensable de rendre la partie extérieure autoportante, en augmentant son épaisseur et/ou en lui conférant une forme adéquate (redents, contreforts, etc.) ou de changer de technique.



10. EN RÉSUMÉ, CHRONOLOGIE DES CHOIX

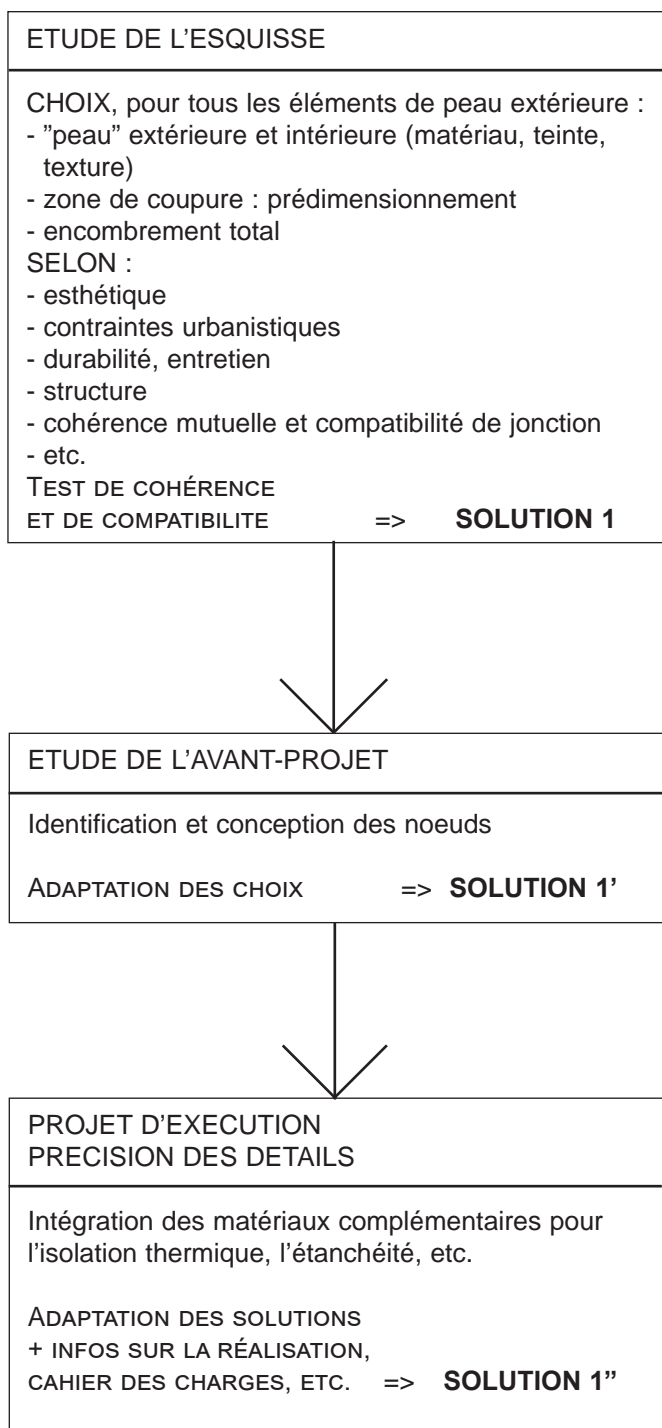
Le choix de la composition du mur creux (et de son mode de réalisation) se déroule donc en plusieurs étapes :

1. Choix des peaux extérieure et intérieure et de leurs qualités de perméabilité à l'eau et à la vapeur d'eau
2. Choix des matériaux constituant le support de ces peaux préalablement choisies
3. A l'aide du tableau pp. 88 à 90, choix éventuellement itératif :
 - du matériau isolant introduit dans la zone de coupure thermique;
 - du remplissage partiel ou complet de cette zone de coupure avec choix de la largeur de la coulisse;
 - de l'épaisseur du matériau isolant nécessaire pour satisfaire un $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ selon l'exposition du parement aux pluies
4. L'encombrement total du mur est à présent connu, ainsi que celui de toutes ses composantes
5. Il ne reste plus qu'à choisir la chronologie de réalisation, en concomitance avec le choix des moments de contrôle

11. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU DÉTAIL : OBJECTIFS POURSUIVIS

La méthodologie proposée ci-dessous vise à obtenir une qualité technique et plus spécifiquement thermique, de la conception et de la réalisation des parois extérieures d'un bâtiment, en ce qui concerne la technologie du mur multicouche et des ouvrages connexes.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)



La démarche proposée sera illustrée par quelques exemples basés sur un bâtiment.

Ses grandes lignes s'établissent comme suit :

- 1) Définition des données issues de l'esquisse et des contraintes à respecter.
- 2) Critères de choix de la composition des différentes parois extérieures :
 - les critères de "peau" extérieure et intérieure;
 - les déductions ou les choix encore possibles de support de peau, mais répondant à toutes les autres exigences qui les conditionnent;
 - les critères hygrothermiques en terme d'épaisseur résultante pour la zone de coupure, tenant compte des ressources thermiques de la partie intérieure :
 - type de peaux;
 - type d'exposition de la façade;
 - type d'isolant avec coulisse ou non;
 - les critères d'encombrement au sol;
 - les critères de cohérences :
 - aux jonctions des parois;
 - aux baies à pratiquer;
 - aux particularités volumétriques de l'esquisse.
- 3) Ces critères sont à préciser et à appliquer de façon progressive, comme schématisé ci-contre :
 - dès l'esquisse;
 - au stade de l'avant-projet;
 - au projet d'exécution.
- 4) Traduction de ces critères en terme de prescriptions ou de points à contrôler :
 - en phase de conception : cahier des charges;
 - en phase d'exécution : chantier et réception.

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE

ETUDE DE L'ESQUISSE

CHOIX, pour tous les éléments de peau extérieure :

- "peau" extérieure et intérieure (matériau, teinte, texture)
- zone de coupure : prédimensionnement
- encombrement total

SELON :

- esthétique
- contraintes urbanistiques
- durabilité, entretien
- structure
- cohérence mutuelle et compatibilité de jonction
- etc.

TEST DE COHERENCE
ET DE COMPATIBILITE

=> **SOLUTION 1**

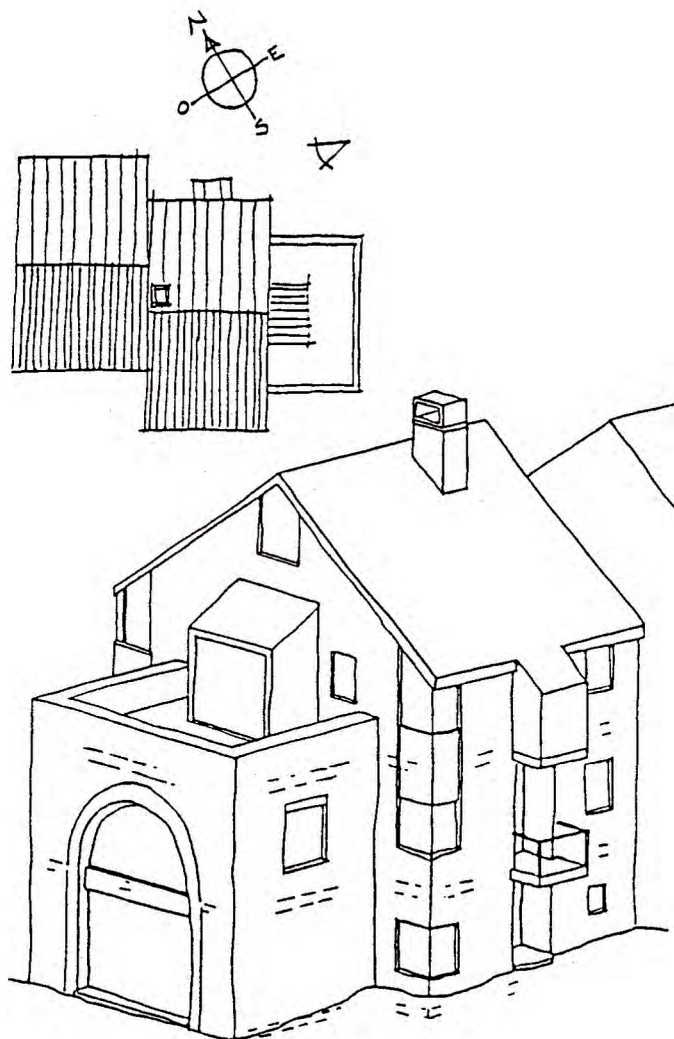


ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

Supposons le schéma de plan acquis et la volumétrie globale du bâtiment présentée sous la forme donnée ci-contre.

Les données propres au projet sont, notamment :

- le **terrain** avec ses constituants :
 - dénivellation;
 - qualité du sol;
 - les impositions éventuelles en terme de traitement des aménagements;
- l'**orientation** déterminée par le terrain, mais aussi les impositions d'implantation;
- le **climat local** et l'**environnement** :
 - les vents dominants;
 - les pluies;
 - l'ensoleillement;
 - les sources de bruit;
- le **programme** et le plan résultant, ainsi que son principe d'adaptation au terrain;
- les **contraintes urbanistiques** liées au terrain et au lieu, avec les variantes possibles, notamment en fait de matériaux des parements extérieurs.

Les critères de choix restent du ressort de l'auteur de projet.

Les critères de choix du type de parois extérieures sont à la fois des critères :

- de **composition architectonique** :
 - parement apparent en blocs de béton teinté, en pierre naturelle, avec pose d'ardoises, etc.;
 - parement à peau apparente (crépi, céramique, par exemple);
- d'**ordre technique** visant à répondre aux différentes exigences définies pour les parois extérieures;
- d'**encombrement au sol**;
- de disponibilité de **matériaux locaux**.

Les types de jonctions entre les différentes parties de l'enveloppe extérieure influencent également les choix. Donc, leur repérage et leur analyse à ce stade de l'esquisse s'avèrent nécessaires.

Plusieurs types de murs peuvent évidemment être choisis et appliqués dans différentes parties du bâtiment : dans cet exemple, le corps principal du bâtiment peut être traité différemment de la partie annexe.



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

PRÉDIMENSIONNEMENT DES MURS MULTICOUCHE DE LA PARTIE PRINCIPALE DU BÂTIMENT

A TITRE D'EXEMPLE

Choix des matériaux

- Peau extérieure :

- CHOIX : parement apparent des blocs de béton hydrofugé, de teinte beige;
- nécessitera un rejointoyage parfait au mortier bâtard;
- n'impose pas d'épaisseur surajoutée au parement.

- **Partie extérieure** : CHOIX : maçonnerie de blocs de béton hydrofugé, accrochés au mur porteur intérieur ($e = 9$ cm, hauteur d'assise = 20 cm). Ce choix est évidemment induit dans ce cas par le choix de la peau extérieure.

- **Zone de coupure** : sera mise à profit pour y placer une couche isolante. Epaisseur : ceci nécessite déjà à ce stade un premier calcul de coefficient U de la paroi. Pour ce faire, tous les matériaux constitutifs, y compris l'isolant thermique, sont à choisir, en première hypothèse. On va donc y revenir.

- Partie intérieure

- Le fait que l'on décide de plafonner cette partie de la maison entraîne que les problèmes d'aspect du mur intérieur n'ont guère d'importance;
- La fonction structurale est la fonction principale. L'esquisse permet déjà de voir s'il est opportun de choisir tel ou tel matériau de maçonnerie, pour ses performances de résistance à la compression et tenant compte de son coût.
- La compatibilité dimensionnelle de la hauteur d'assise avec celle du parement extérieur peut aussi influencer le choix, car une hauteur d'assise compatible va faciliter la mise en oeuvre et donc apporter une qualité plus certaine de réalisation, et cela pour un coût moindre.

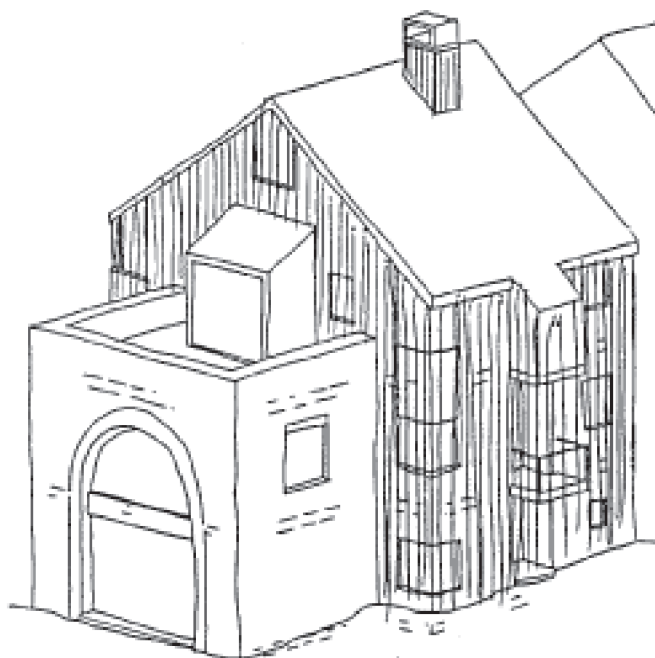
CHOIX : maçonnerie de blocs de béton lourd creux de 14 cm, soit une hauteur d'assise de l'ordre de 20 cm.

- L'épaisseur est fonction des critères de stabilité à évaluer aux points les plus sollicités; ici $e = 14$ cm en moyenne;
- Un renfort sera peut-être nécessaire en quelques endroits : soit par la forme de la maçonnerie, soit par son remplissage de béton et d'armatures, soit par des voiles ou colonnes en béton armé en renfort, soit par des armatures noyées dans les joints de mortier, etc.

- Peau intérieure

CHOIX : Finition au plâtre : $e = 1$ cm.

Ceci est une décision d'ordre esthétique mais aussi technique, car le plâtre est un bon régulateur d'humidité dans la zone interface entre la paroi et l'ambiance et assure une bonne étanchéité à l'air.



Peau extérieure obtenue par le parement rejointoyé de bloc béton hydrofugé beige
Module 39 x 19 x 9

Zone de coupure
- avec isolant thermique
- avec ancrage entre les 2 parties du mur

Peau intérieure plâtre

Partie extérieure bloc béton hydrofugé beige choisi pour leur parement

Partie intérieure bloc béton lourd creux
Module 39 x 19 x 14

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

Choix de la valeur U et définition de la zone de coupure

Tous les composants à maçonner de la paroi extérieure sont à présent choisis.

Il faut calculer une première fois le coefficient U de la paroi.

Pour passer au stade ultérieur de l'avant-projet, l'auteur de projet recherche l'épaisseur optimale des parois verticales extérieures. Il détermine dès lors la largeur de la zone de coupure, en adaptant le matériau isolant compatible avec la technologie choisie, pour les différentes parties de la paroi. L'auteur de projet s'impose par exemple d'atteindre un coefficient U inférieur ou égal à $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valeur maximale admissible dès le 1^{er} janvier 2014, voir Annexe 3 de l'AGW PEB du 28 janvier 2016 [GW -16-1]).

On obtient ainsi une paroi en 2 parties :

- une partie extérieure laissant passer une partie de l'eau de pluie, perméable à la vapeur d'eau et liaisonnée à la partie intérieure ;
- une partie intérieure mise au sec par la première et perméable à la vapeur d'eau.

Les informations reprises au tableau de prédimensionnement déterminent le type de zone de coupure et le type d'isolant possibles, ainsi que la présence ou non d'un pare-vapeur. On peut donc prévoir une zone isolante perméable à la vapeur, puisqu'aucune barrière de vapeur ne se trouve au-delà d'elle vers l'extérieur.

L'orientation des façades nous met en présence de deux faces NE et SE peu sollicitées par les pluies mais aussi une face SO fortement sollicitée par la pluie.

Donc nous devons nous diriger vers 2 choix de zones de coupure différents :

- En façade nord-est et sud-est

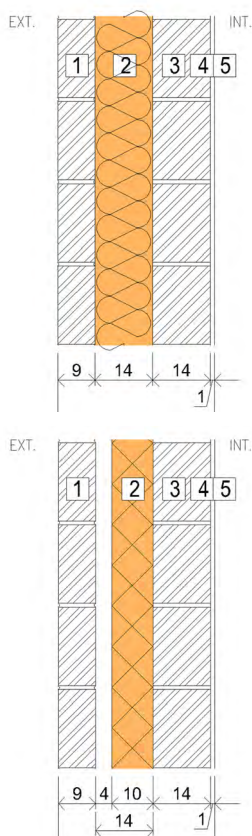
- Ces façades connaissent en Belgique, une faible exposition aux pluies. La zone de coupure pourra être totalement remplie d'isolant. L'isolant le plus approprié sera un isolant semi-rigide de type laine minérale présenté en panneaux adéquats.

- En façade sud-ouest

- Les pluies sont en général plus fortes. La zone de coupure sera plutôt réalisée avec un isolant bien fixé contre la paroi intérieure, en continu et laissant une coulisse d'une largeur minimale de l'ordre de 3 cm, qui permettra un écoulement d'eau rapide et favorisera l'assèchement du parement.

L'utilisation de blocs de béton lourd pour la partie intérieure du mur creux dispense de toute précaution supplémentaire en matière de vapeur.

L'isolant pourra être en laine minérale (panneaux semi-rigides), en mousse synthétique (panneaux rigides à emboîtement) ou encore en mousse de verre (panneaux rigides).



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

HYPOTHÈSES			CHOIX POSSIBLES		
Exposition aux pluies	Peau extérieure		$\Sigma \mu.d$ du sous-ensemble [peau int. + partie int. + pare-vapeur] [m] ⁽¹⁾	Remplissage de la zone de coupure	Isolant compatible
	Perméabilité à la vapeur d'eau	Perméabilité à l'eau			
Faible exposition aux pluies	Perméable à la vapeur d'eau	Perméable à l'eau ou imperméable à l'eau	Non classé $\mu.d \leq 2$ m	Partiel	MW ou CG
				Complet	MW ⁽⁴⁾
			Classe E1 $2 \text{ m} < \mu.d \leq 5$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
				Complet	MW ⁽⁴⁾
			Classe E2 $5 \text{ m} < \mu.d \leq 25$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS
				Complet	MW ⁽⁴⁾
	Imperméable à la vapeur d'eau ^{(2) (3)}	Imperméable à l'eau ⁽³⁾	Non classé $\mu.d \leq 2$ m	Partiel	MW ou CG
				Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
			Classe E1 $2 \text{ m} < \mu.d \leq 5$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
Classe E2 $5 \text{ m} < \mu.d \leq 25$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS			

(1) Voir tableau p. 35 et p.71

(2) Le remplissage complet de la zone de coupure est déconseillé dans ce cas.

(3) L'imperméabilité à la vapeur d'eau et l'imperméabilité à l'eau peuvent être conférées par la pose d'une membrane de drainage au dos du parement.

(4) Seule la laine minérale offre les propriétés de perméabilité à la vapeur d'eau et de non capillarité, qui permettent le remplissage de la zone de coupure du mur creux, dans toute son épaisseur.

PROPOSITIONS DE CHOIX EN FAÇADES NORD-EST ET SUD-EST

HYPOTHÈSES			CHOIX POSSIBLES		
Exposition aux pluies	Peau extérieure		$\Sigma \mu.d$ du sous-ensemble [peau int. + partie int. + pare-vapeur] [m] ⁽¹⁾	Remplissage de la zone de coupure	Isolant comptable
	Perméabilité à la vapeur d'eau	Perméabilité à l'eau			
Forte exposition aux pluies ⁽²⁾	Perméable à la vapeur d'eau	Perméable à l'eau	Non classé $\mu.d \leq 2$ m	Partiel	MW ou CG
				Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
			Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS	
		Imperméable à l'eau ⁽⁴⁾	Non classé $\mu.d \leq 2$ m	Partiel	MW ou CG
				Complet	MW ⁽⁴⁾
			Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR	
	Classe E1 $2 \text{ m} < \mu.d \leq 5$ m	Partiel	MW ⁽⁴⁾		
		Complet	MW ⁽⁴⁾		
	Classe E2 $5 \text{ m} < \mu.d \leq 25$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS		
		Complet	MW ⁽⁴⁾		
	Imperméable à la vapeur d'eau ^{(2) (3)}	Imperméable à l'eau ⁽³⁾	Non classé $\mu.d \leq 2$ m	Partiel	MW ou CG
				Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
Classe E1 $2 \text{ m} < \mu.d \leq 5$ m			Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR	
Classe E2 $5 \text{ m} < \mu.d \leq 25$ m	Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS			

(1) Voir tableau p. 35 et p.71

(2) Le remplissage complet de la zone de coupure est déconseillé dans ce cas.

(3) L'imperméabilité à la vapeur d'eau et l'imperméabilité à l'eau peuvent être conférées par la pose d'une membrane de drainage au dos du parement.

(4) Seule la laine minérale offre les propriétés de perméabilité à la vapeur d'eau et de non capillarité, qui permettent le remplissage de la zone de coupure du mur creux, dans toute son épaisseur.

PROPOSITIONS DE CHOIX EN FAÇADES SUD-OUEST

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE



Épaisseur totale

Sous l'angle thermique, nous voici donc à devoir calculer 2 types de parois.

Cependant, il faudrait essayer d'obtenir une même épaisseur totale pour toutes les façades, pour faciliter le travail de réalisation et éviter des erreurs d'inattention de la part du chef de chantier dans l'implantation et des maçons lors de la mise en oeuvre. Il en va de même vis-à-vis du travail du menuisier.

CHOIX : Le coefficient U maximal de 0,24 W/m²K est considéré comme un objectif. On peut évidemment être plus performant.

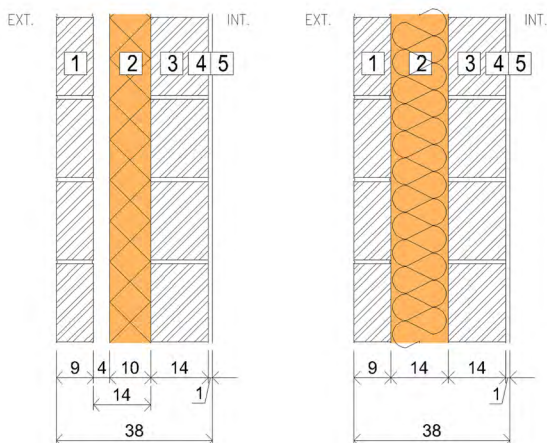
On se retrouve donc, selon le tableau de prédimensionnement p. 88 :

- murs nord-est et sud-est : remplissage complet de 14 cm de MW ($\lambda = 0,034$ W/mK) au moins;
- mur sud-ouest : pour se rapprocher autant que possible de la largeur des 14 cm du cas 1, choix d'un remplissage partiel par 10 cm de PUR ($\lambda = 0,023$ W/mK) + coulisse ventilée de 4 cm. Ceci nous donne l'épaisseur totale de ce type de paroi verticale extérieure.

En conclusion, dans le but d'obtenir une même épaisseur totale du même type de mur, quelle que soit son exposition, la largeur de la zone de coupure sera prise égale à 19 cm.

En conséquence, en façades nord-ouest et sud-ouest, l'épaisseur du polyuréthane de 13 cm, mais considérée comme un minimum, sera portée à 16 cm.

Ceci nous donne l'épaisseur totale de ce type de paroi verticale extérieure.



PRÉDIMENSIONNEMENT DES MURS CREUX DE LA PARTIE ANNEXE DU BÂTIMENT PRINCIPAL

Choix des matériaux

- Peau extérieure :

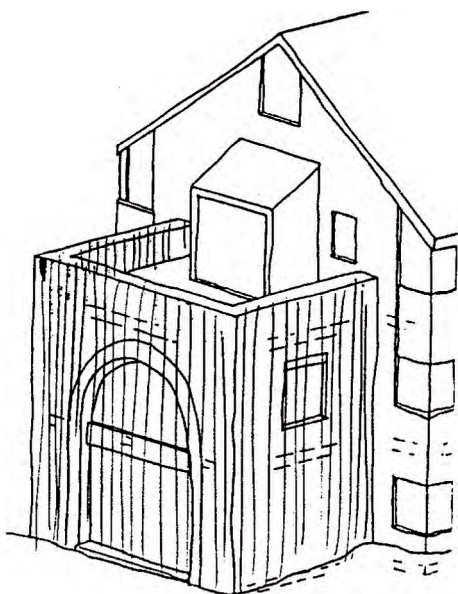
- CHOIX : Pour se différencier du bâtiment principal, la partie annexe est réalisée avec un parement de pierres du pays en moellons tout venant légèrement dégrossis;
- épaisseur minimum $e = \pm 20$ cm. Peau extérieure irrégulière (variations de ± 1 cm).

- Partie extérieure : maçonnerie de pierres du pays avec :

- assises réglées tous les 80 cm, en moellons tout venant légèrement dégrossis ;
- épaisseur de l'ordre de 20 cm ;
- ce mur n'est pas autostable et doit être fortement accroché au mur porteur intérieur ;

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE



- le rejointoyage sera un point très important pour éviter une trop grande pénétration d'eau ;
- la face intérieure de la partie extérieure est peu régulière.

Le mur extérieur et son parement sont très perméables à l'eau de pluie. Les façades de la partie annexe étant fortement exposées à la pluie, il y a lieu de prévoir un dispositif qui, quelle que soit l'orientation :

- sera capable d'empêcher l'eau d'atteindre l'isolant et le mur intérieur ;
- sera capable de transmettre la poussée d'adossement de la paroi extérieure en pierres vers la paroi intérieure.

Vu l'irrégularité intrinsèque de la maçonnerie du mur extérieur, on va prévoir à son dos une feuille à la fois étanche à l'eau mais ouverte à la vapeur d'eau, drainante et permettant la création d'une coulisse de ventilation : voir figure ci-contre.

Le cas présent correspond à la remarque (3) du tableau de choix des matériaux en fonction de l'exposition aux eaux de pluie et aux caractéristiques de perméabilité des peaux extérieure et intérieure, rappelé ci-après.

La membrane de drainage confère en effet, à la partie extérieure, une imperméabilité à l'eau de l'extérieur au travers du parement et une perméabilité, à la vapeur venant de l'intérieur.

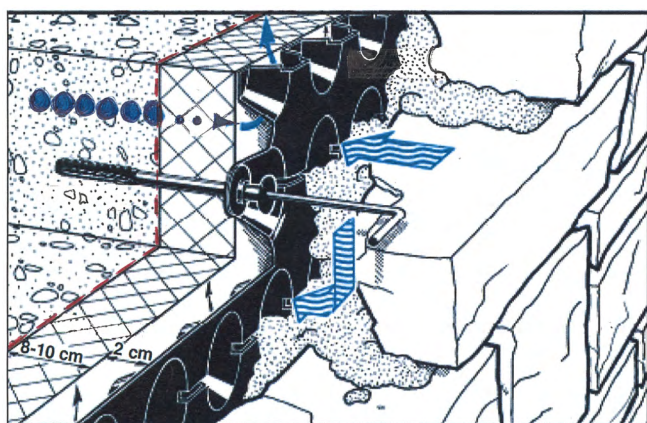
- Partie intérieure :

On souhaite avoir un mur en blocs de béton apparents. Le choix du bloc va donc fortement dépendre de cette apparence. Cependant, la fonction porteuse est toujours présente; le choix devra aussi tenir compte de la résistance à la compression de ce bloc apparent : $e = 14 \text{ cm}$, par exemple.

Le tubage électrique sera fixé de manière apparente.

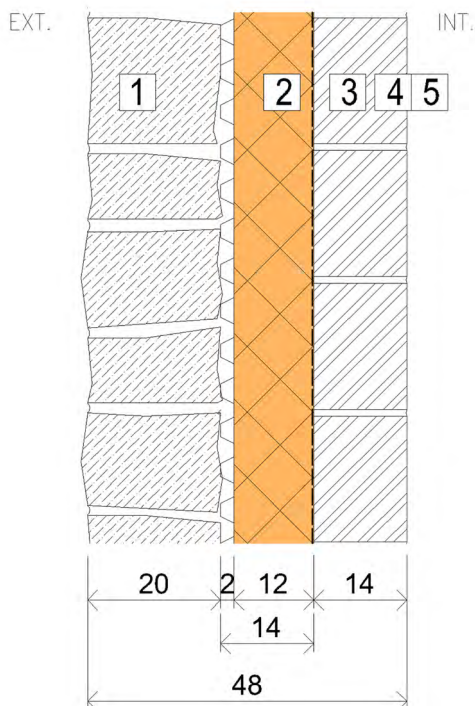
La peau du bloc intérieur apparent et le rejointoyage devront être soignés. Ce parement et le bloc sont assez perméables à la vapeur. La membrane étanche placée au-delà de l'isolant peut entraver le passage de la vapeur. On a donc intérêt à interposer une membrane pare-vapeur contre la face externe du mur porteur.

La réalisation du mur en plusieurs étapes est préférable, voire obligatoire, dans le cas du parement en pierre, parce que maçonner le parement en pierre sans perdre des déchets de mortier est moins aisé qu'avec un matériau calibré. L'apposition d'un pare-vapeur complémentaire, par exemple un pare-vapeur de classe E2, ne poserait donc aucun problème.



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE



Choix de la zone de coupure :

L'isolant sera donc un panneau rigide de mousse synthétique à emboîtements, de façon à obtenir une résistance à la poussée d'adossement évoquée plus haut.

On pourra se référer au tableau précédent pour le choix du type et de l'épaisseur d'isolant, car le parement en pierre n'intervient guère dans la résistance thermique du mur et l'épaisseur totale est évidemment la même pour tous les murs extérieurs à parement en pierre.

Le mur intérieur reste un mur en bloc de béton comme le reste du bâtiment ; la seule particularité est la finition apparente des blocs parfaitement rejointoyés avec les équipements fixés de manière apparente.

Le choix s'oriente donc vers un isolant en XPS de 12 cm d'épaisseur ($\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$).

Avec 12 cm de XPS, nous obtenons une valeur $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. La membrane drainante et perméable à la vapeur d'eau prend facilement une largeur de 2 cm, considérée comme suffisante dans le cas précis de l'utilisation d'une membrane de drainage apposée au dos du parement.

Au cas où une condensation accidentelle apparaîtrait sur la face interne de la membrane drainante, celle-ci effectuera son office en ramenant ces eaux vers les chantepleurs.

Ceci nous donne ainsi tous les composants de cette paroi.

Épaisseur totale :

La paroi représente une épaisseur totale de 48 cm.

HYPOTHÈSES			CHOIX POSSIBLES		
Exposition aux pluies	Peau extérieure		$\sum \mu.d$ du sous-ensemble [peau int. + partie int. + pare-vapeur] [m] (1)	Remplissage de la zone de coupure (2)	Isolant compatible
	Perméabilité à la vapeur d'eau	Perméabilité à l'eau			
Faible exposition aux pluies (2)	Imperméable à la vapeur d'eau (2) (3)	Imperméable à l'eau (3)	Non classé $\mu.d \leq 2 \text{ m}$	Partiel	MW ou CG
			Classe E1 $2 \text{ m} < \mu.d \leq 5 \text{ m}$	Partiel	MW, CG, XPS, PUR ou PIR
			Classe E2 $5 \text{ m} < \mu.d \leq 25 \text{ m}$	Partiel	MW, CG, XPS, PUR, PIR ou EPS

(1) Voir tableau p. 35 et p.71
(2) Le remplissage complet de la zone de coupure est déconseillé dans ce cas.
(3) L'imperméabilité à la vapeur d'eau et l'imperméabilité à l'eau peuvent être conférées par la pose d'une membrane de drainage au dos du parement.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STAGE DE L'AVANT-PROJET

ETUDE DE L'ESQUISSE

CHOIX, pour tous les éléments de peau extérieure :

- "peau" extérieure et intérieure (matériau, teinte, texture)

- zone de coupure : prédimensionnement
- encombrement total

SELON :

- esthétique
- contraintes urbanistiques
- durabilité, entretien
- structure
- cohérence mutuelle et compatibilité de jonction
- etc.

TEST DE COHÉRENCE

ET DE COMPATIBILITÉ

=> **SOLUTION 1**

IDENTIFICATION ET CONCEPTION DES NOEUDS

Le premier choix des types de parois extérieures verticales ayant été réalisé au stade de l'esquisse, nous pouvons passer à l'avant-projet, en tenant compte de problèmes liés à l'épaisseur réelle des parois.

Ceci permet déjà d'étudier un plan correct, mais aussi de visualiser les jonctions entre les diverses parois et de détecter les endroits où les problèmes techniques vont devoir être résolus.

Nous revenons à la détection des points cruciaux de rencontre des parois.

Il est évident qu'à ce stade, au même titre que les parois verticales, les parois horizontales et inclinées de l'enveloppe externe ont été choisies dans leur principe constitutif et, par voie de conséquence, leur épaisseur.

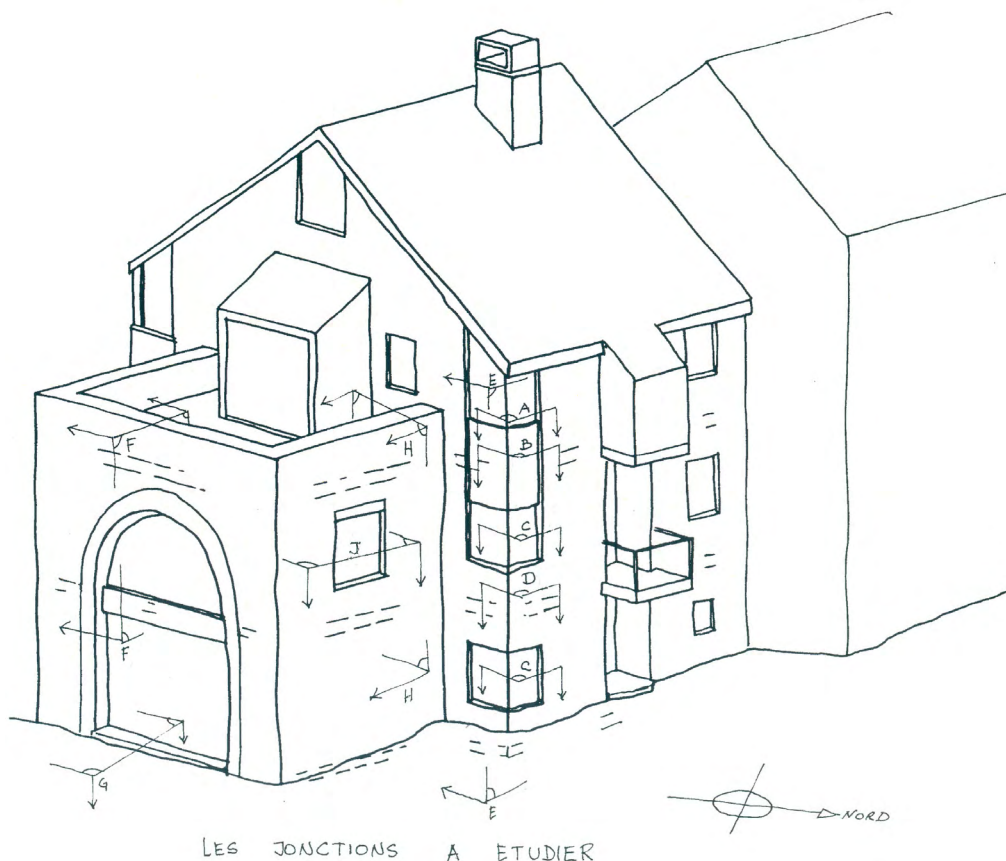
Nous pouvons ainsi étudier les grandes lignes des principaux détails, tout en avançant dans l'avant-projet.

ETUDE DE L'AVANT-PROJET

Identification et conception des noeuds

ADAPTATION DES CHOIX

=> **SOLUTION 1'**



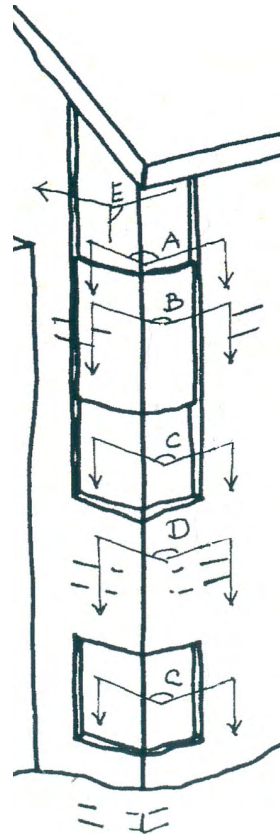
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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

A titre d'exemple, nous allons étudier un détail où le principe de la continuité de la barrière thermique est toujours délicat à respecter.

Ce détail est repris en coupe verticale et en coupes horizontales, dans les pages suivantes.

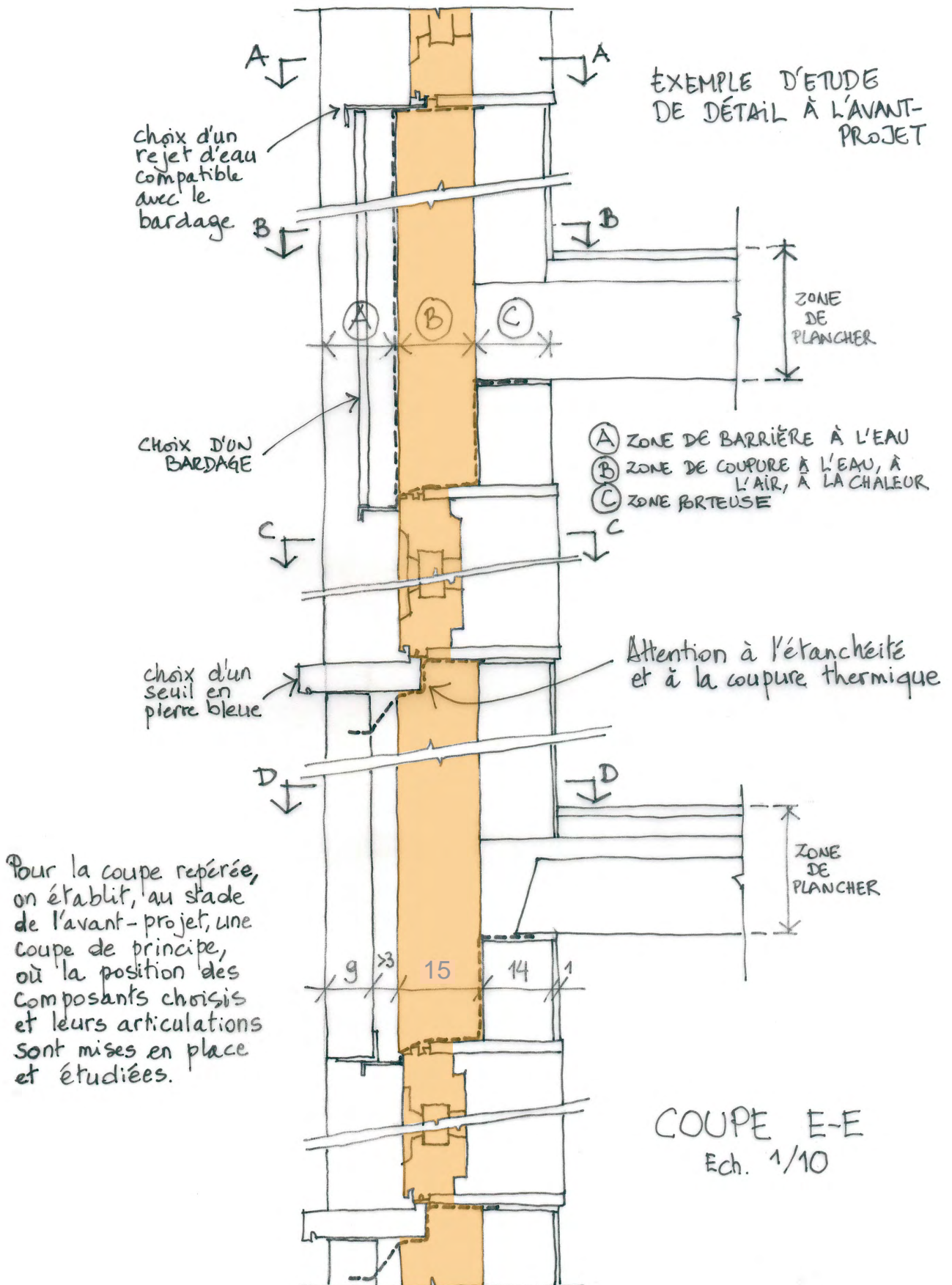
Il récapitule, à lui seul, plusieurs jonctions délicates à résoudre.



Repérage des détails à étudier à l'angle du bâtiment dès le stade de l'avant-projet.

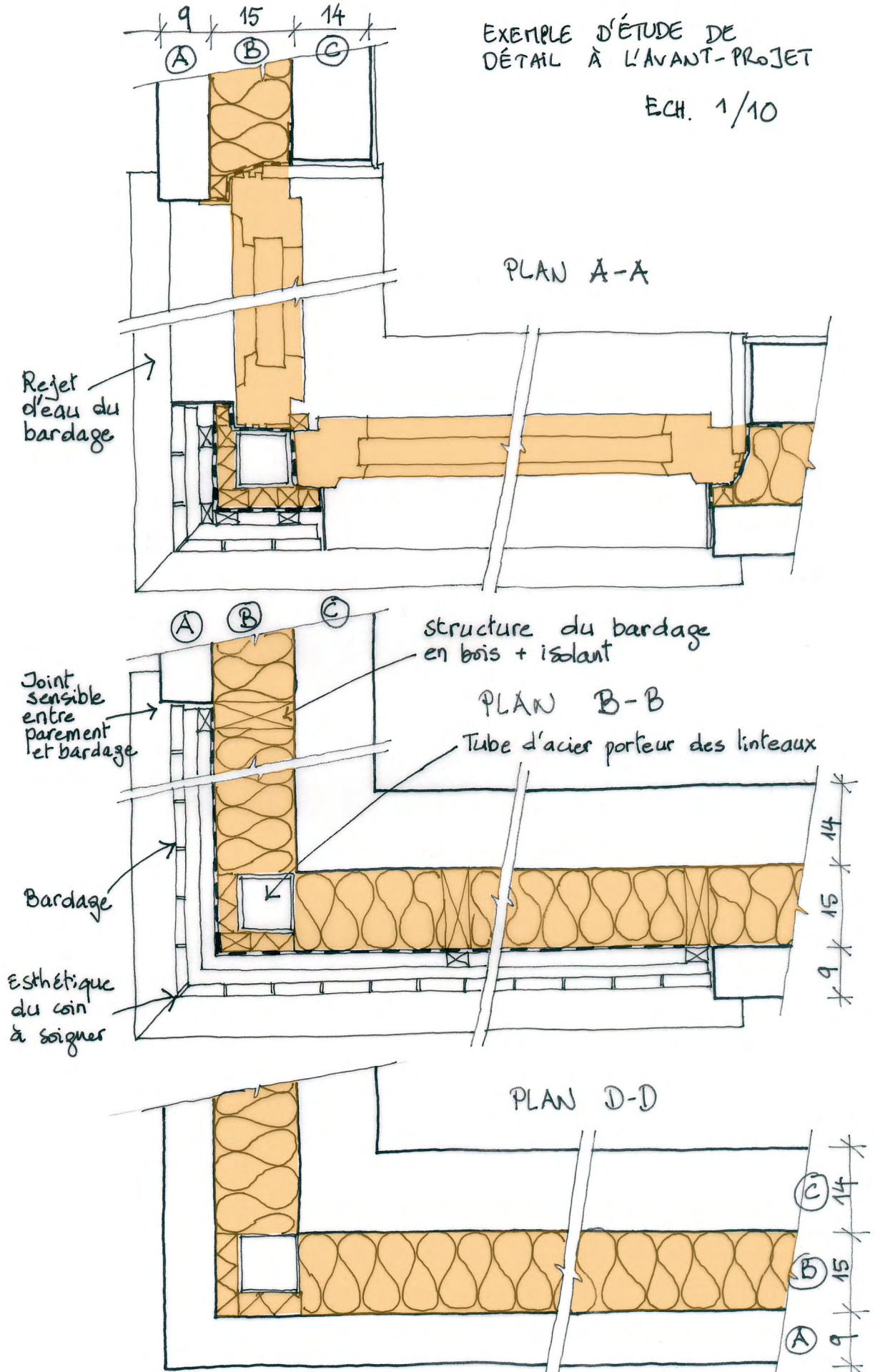
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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



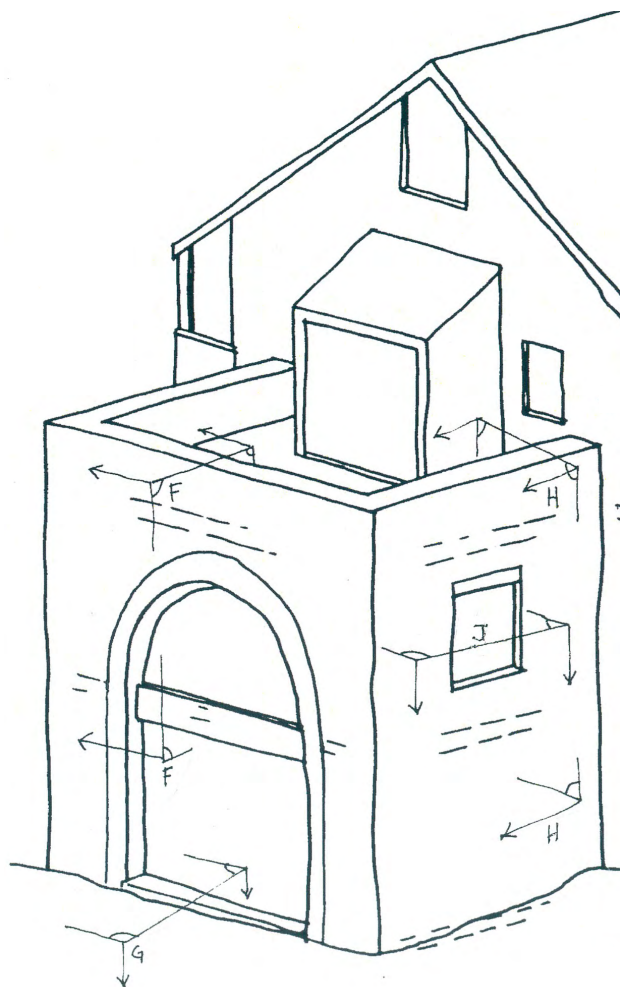
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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



Le traitement architectural différencié de la partie annexe fournit un second exemple d'étude de détail au stade de l'avant-projet qui est abordé ci-après.

L'idée architecturale est de donner de la "masse" à l'arcade, vu son ampleur.

Cela correspond d'ailleurs à une nécessité, pour stabiliser transversalement un tel ouvrage.

Premier aspect : donner une profondeur à l'ébrasement de la baie.

- Comme on se trouve dans la partie du bâtiment que l'on a déjà choisie de réaliser en parement en pierre, il faut tenir compte des caractéristiques dimensionnelles de taille et de mise en oeuvre des moellons.

Prenons une profondeur d'ébrasement de 1,5 fois l'épaisseur du parement, soit 30 cm.

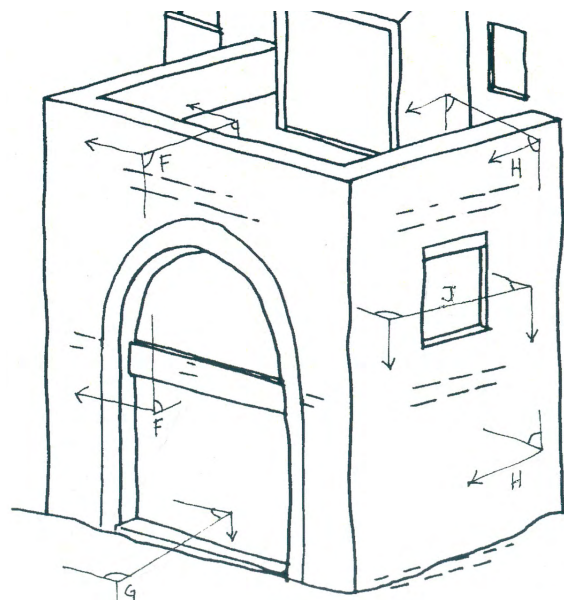
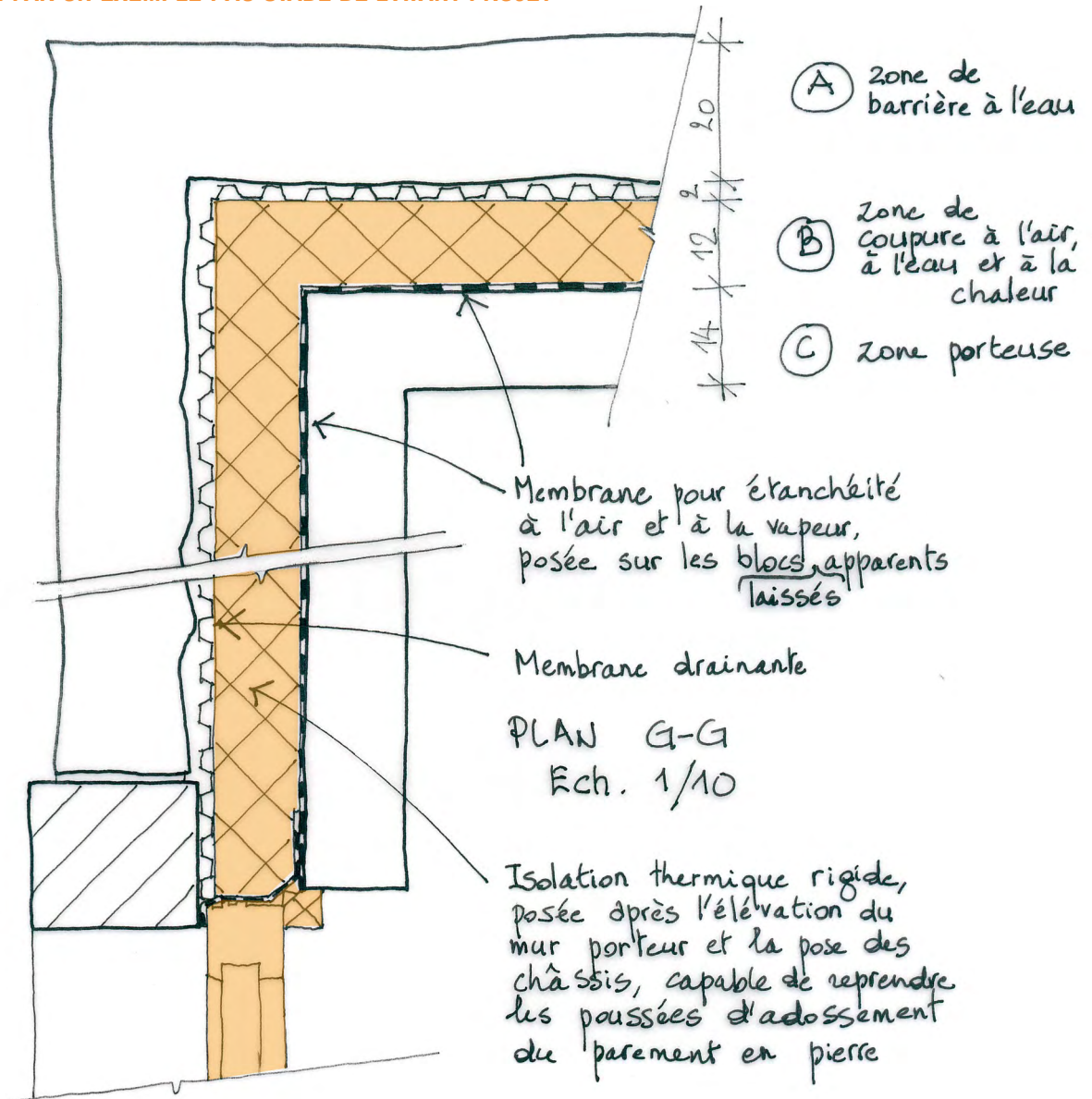
- Le tirant de l'arcade pourra être réalisé en béton armé brut de décoffrage. On lui donnera une épaisseur de 13 cm pour faciliter sa réalisation et l'exécution de la maçonnerie d'angle de l'ébrasement, sur la hauteur du tirant.

- De plus, ce tirant peut servir de seuil au châssis supérieur. On lui ajoute ainsi une forme débordante, vers l'intérieur, de 3,5 cm.

- La continuité de la zone de coupure à l'eau, à l'air et à la chaleur va devoir être adaptée, ainsi que la forme du mur porteur.

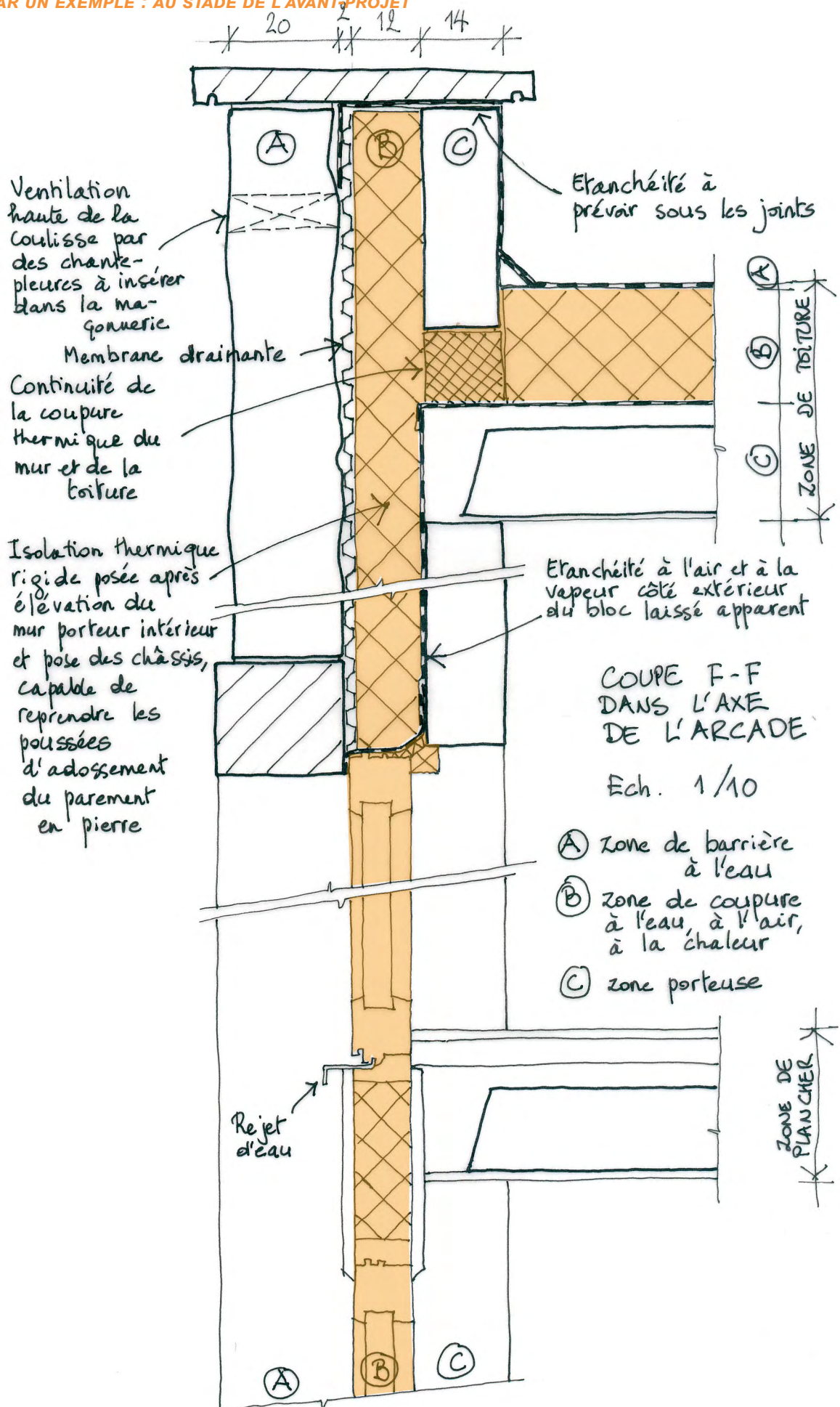
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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



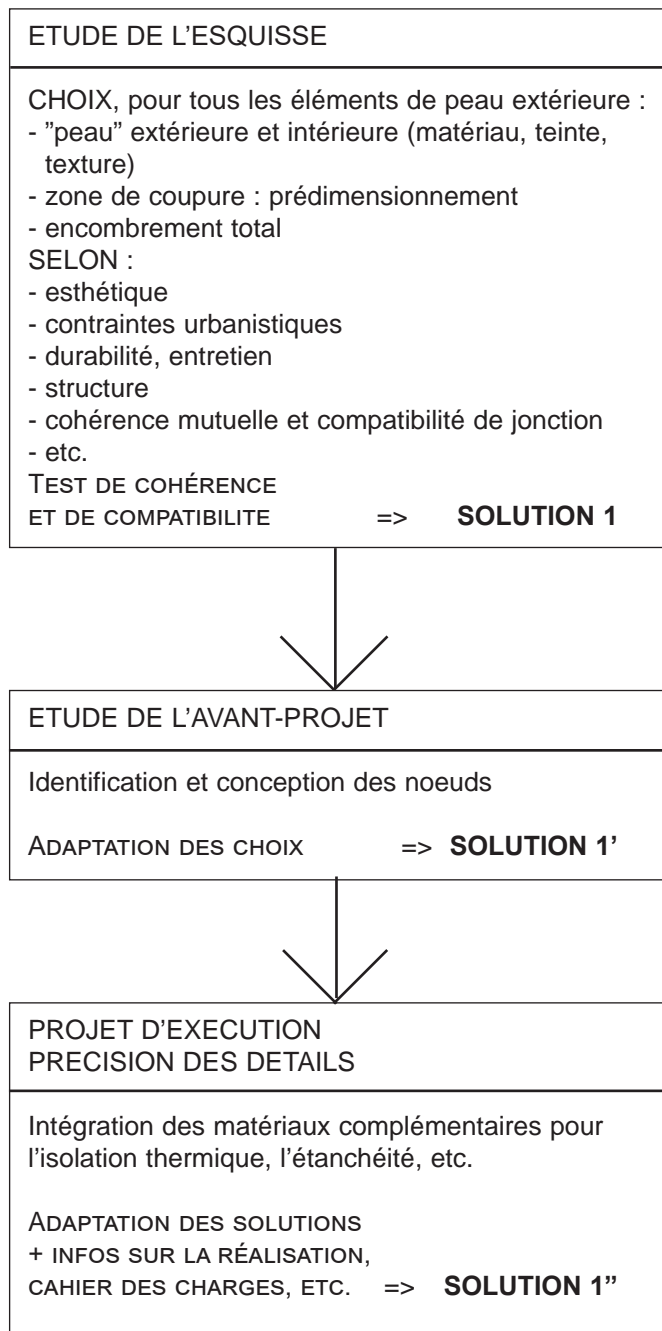
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

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



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STAGE DU PROJET



Sur la base de l'évolution des plans eux-mêmes en rapport avec l'architecture générale du projet, les détails de principe vus ci-avant sont suffisamment élaborés pour servir :

- à bien dimensionner les parois;
- à bien réfléchir à la conception, mais aussi à l'exécution du bâtiment;
- à bien choisir les matériaux complémentaires qui devront assurer l'isolation thermique, l'étanchéité, etc.

Si ce travail de mise au point aboutit à modifier des options de base, il est aussi préférable de reconsidérer les détails de principe.

A ce stade, l' "enveloppe" et la configuration des parois et de leurs jonctions sont définies et intégrées dans les plans d'exécution au 1:50.

Les détails eux-mêmes peuvent être dessinés avec toutes les informations de matériaux, de réalisation, voire de phase d'exécution.

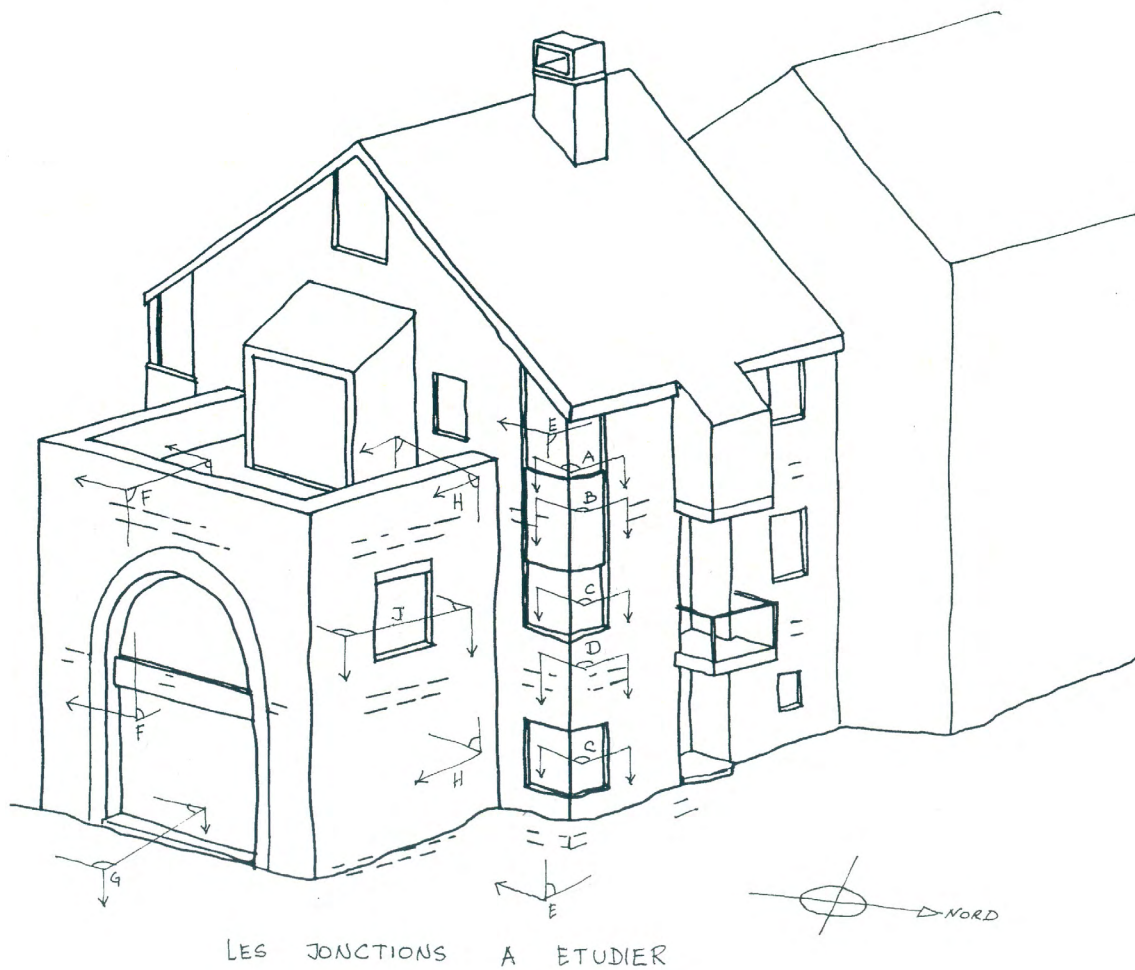
Les premières illustrations ci-après décrivent la mise au point, au moment du projet, des détails déjà abordés en phase d'avant-projet.

Chaque exemple découle donc de la méthode exposée précédemment et comporte une fiche d'étude du détail qui complète les plans généraux et le descriptif du cahier spécial des charges. Les fiches mentionnent des points à ne pas oublier dans le cahier spécial des charges (indiqués par des chiffres), ainsi que des points à vérifier en priorité lors de l'exécution, sur chantier (indiqués par des lettres). L'attention est uniquement attirée sur les aspects d'isolation thermique et d'étanchéité.

Ces fiches de détails sont suivies d'un carnet reprenant des jonctions considérées comme essentielles lors de l'identification des noeuds (voir carnet de détails). Ce carnet résulte de l'application de la méthode exposée. Le croquis ci-dessous les repère suivant leur page.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET



LÉGENDE DES HACHURES

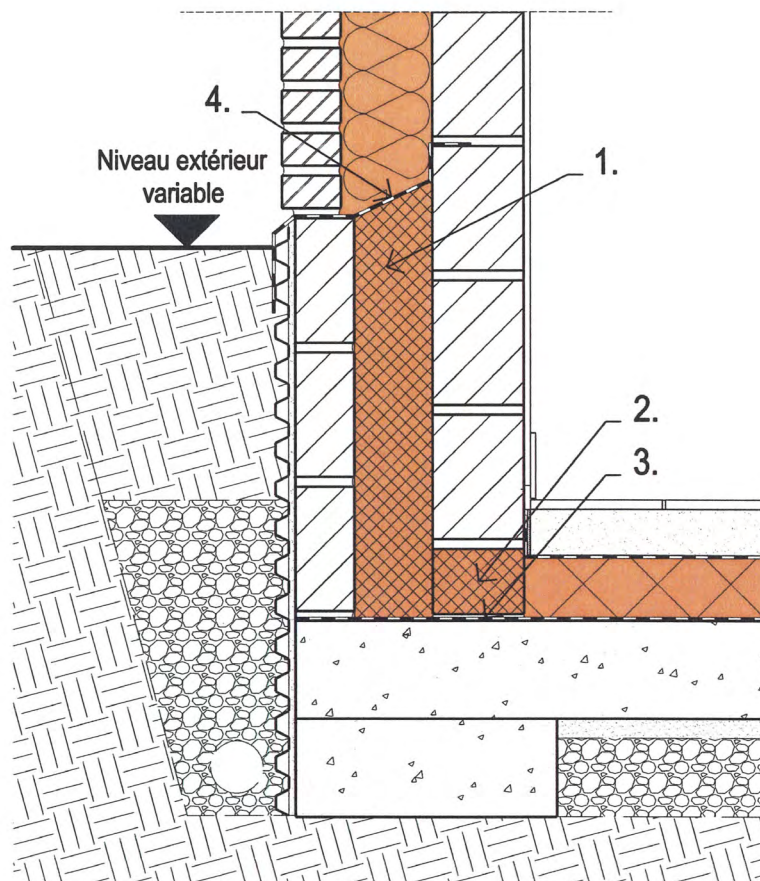
	Bois de menuiserie
	Bois de charpenterie
	Bloc béton
	Briques
	Pierres de parement
	Pierres bleues
	Béton
	CG, PUR projeté
	Isolation semi-rigide
	Isolation rigide
	Terre
	Chape
	Sable
	Empierrement

Les détails dessinés ci-après n'ont pour seul but que d'illustrer la méthodologie de conception proposée. Ils sont donnés à titre indicatif et ne constituent pas les seuls choix possibles.

La responsabilité des auteurs ne peut en aucun cas être engagée en lieu et place des auteurs de projet, qui ont la totale liberté de s'en inspirer, avec discernement.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET



MUR CREUX ET BAIES DES FACES SUD-EST ET NORD-EST :
COUPE E - E (PARTIE ENTERRÉE)
Ech. 1:10

POINTS À NOTER AU CAHIER SPÉCIAL DES CHARGES

Isolation thermique :

1. Prescrire un isolant rigide (CG, XPS, EPS ou PUR) en partie enterrée.
2. Prescrire un bloc isolant en pied de mur pour garantir la continuité entre les couches d'isolation thermique sous la chape et dans le mur.

Étanchéité :

3. Prévoir une étanchéité entre les fondations et le volume isolé.
4. Prescrire une étanchéité à l'interface entre le mur isolé enterré et le mur creux isolé en contact avec l'ambiance extérieure.

VÉRIFICATIONS SUR LE CHANTIER

Isolation thermique :

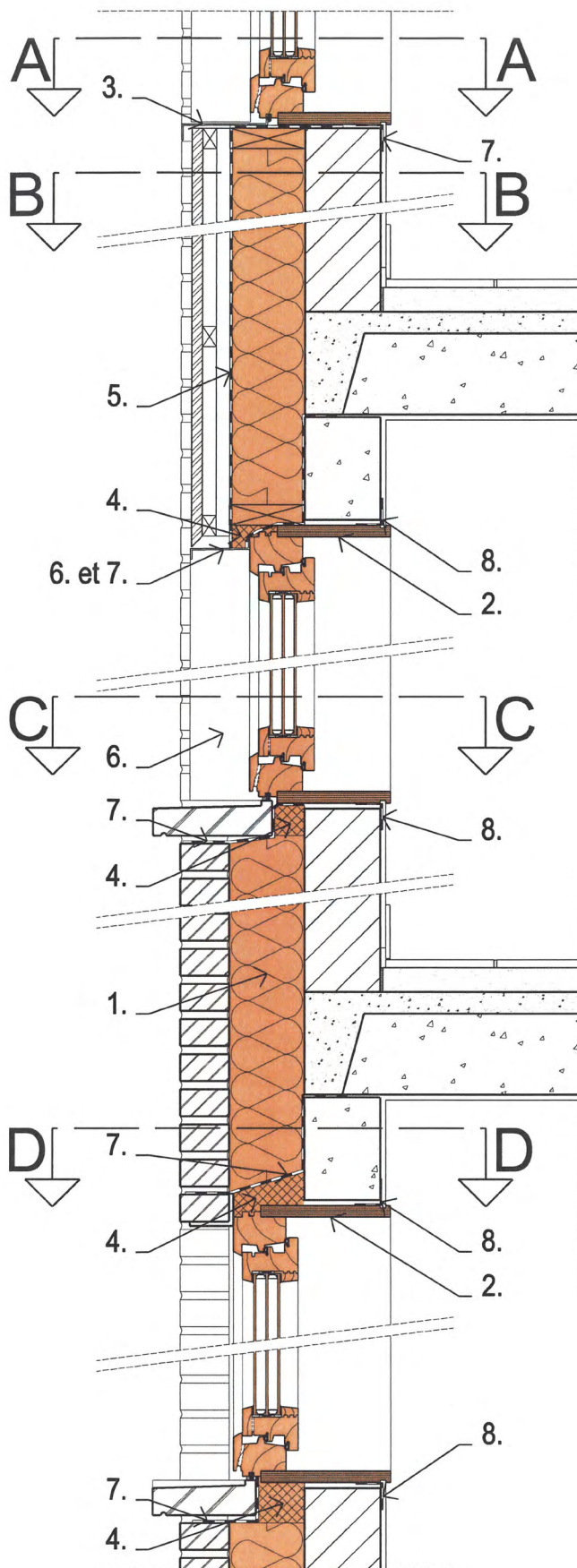
- A. Vérifier les caractéristiques de tous les isolants mis en oeuvre, ainsi que leur épaisseur.
- B. Vérifier la continuité de l'isolation au niveau des membranes d'étanchéité.

Étanchéité :

- C. Vérifier la pose correcte des différentes membranes d'étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur d'eau.
- D. Vérifier la mise en place de la plinthe en béton enterrée de niveau avec le sol naturel extérieur.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET



COUPE E - E

MUR CREUX ET BAIES DES FACES SUD-EST ET NORD-EST :
COUPE E - E (PARTIE NON ENTERRÉE)
Ech. 1:10

POINTS À NOTER AU CAHIER SPÉCIAL DES CHARGES

Isolation thermique :

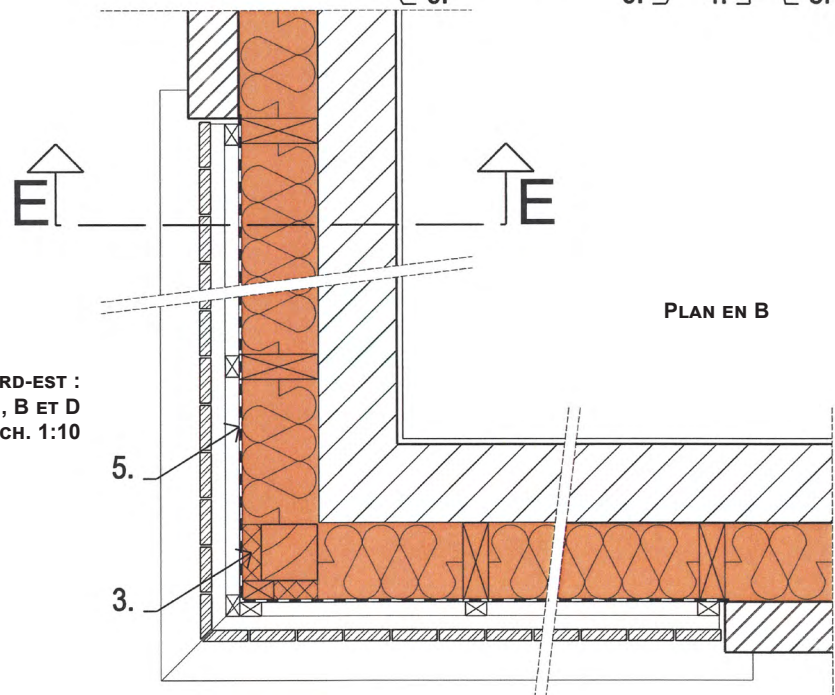
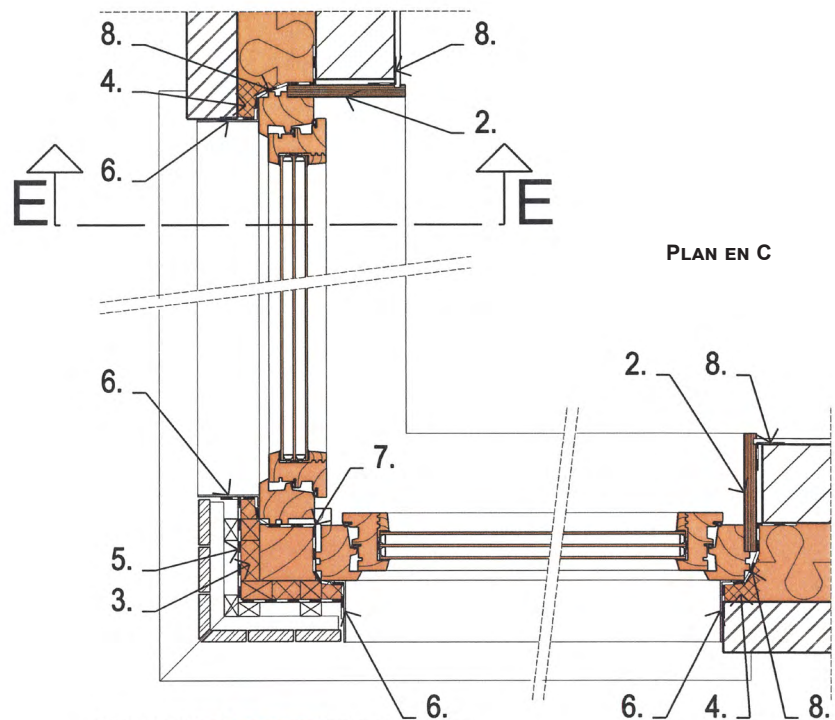
1. Remplir complètement la coulisse (SE-NE).
2. Prévoir des cadres pour suspendre les châssis dans l'épaisseur de l'isolation.
3. Isoler la partie extérieure du montant d'angle.
4. Isoler le périmètre des châssis (injecter de la mousse de PUR) .

Étanchéité :

5. Prévoir une membrane pare-pluie devant l'isolation semi-rigide de la partie bardée.
6. Prévoir des cadres métalliques autour des châssis pour combler l'espace entre l'isolant et les briques de parement.
7. Prévoir différents rejets d'eau en matière étanche souple (EPDM).
8. Prévoir les étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur d'eau.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET



MUR CREUX ET BAIES DES FACES SUD-EST ET NORD-EST :
PLANS EN C, B ET D
ECH. 1:10

VÉRIFICATIONS SUR LE CHANTIER

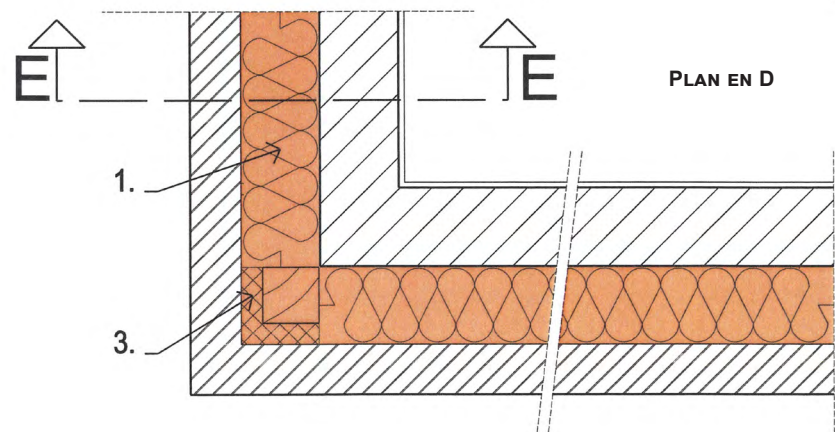
Isolation thermique :

A. Vérifier les caractéristiques de tous les isolants mis en oeuvre, ainsi que leur épaisseur.

B. Vérifier la continuité de l'isolation au niveau des membranes d'étanchéité.

Etanchéité :

C. Vérifier la pose correcte des différentes membranes d'étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur d'eau.



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET

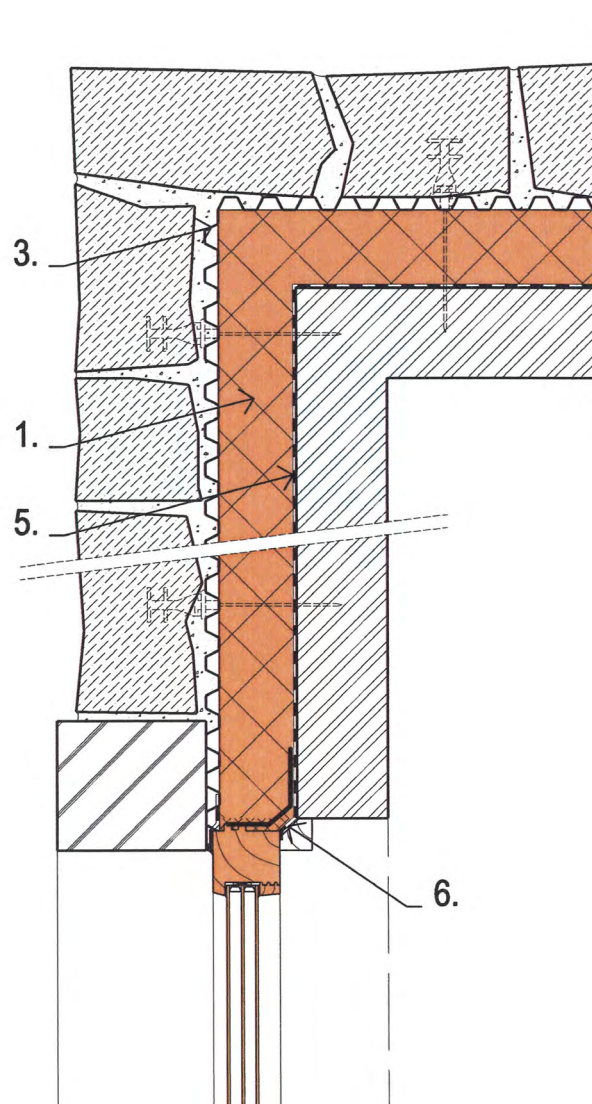
POINTS À NOTER AU CAHIER SPÉCIAL DES CHARGES

Isolation thermique :

1. L'isolation rigide sera posée bien jointive et après élévation du mur porteur intérieur et la pose des châssis, et sera capable de reprendre les poussées d'adossement du parement en pierre.
2. Attirer l'attention sur la continuité des zones de coupures thermiques du mur et de la toiture plate.

Étanchéité :

3. Vu le caractère perméable à l'eau du parement en pierre, prescrire une membrane drainante, étanche à l'eau et permettant une ventilation à son dos.
4. Evacuation des eaux drainées et ventilation haute de la coulisse, par des chantepleures à insérer dans la maçonnerie.
5. Étanchéité à l'air et à la vapeur à placer sur la face extérieure du mur porteur avant la pose de l'isolant pour permettre le montage du mur intérieur en blocs de béton apparents.
6. Prévoir les étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur d'eau.



GRANDE BAIE SUD-EST DE L'ANNEXE : PLAN EN G
ECH. 1:10

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET

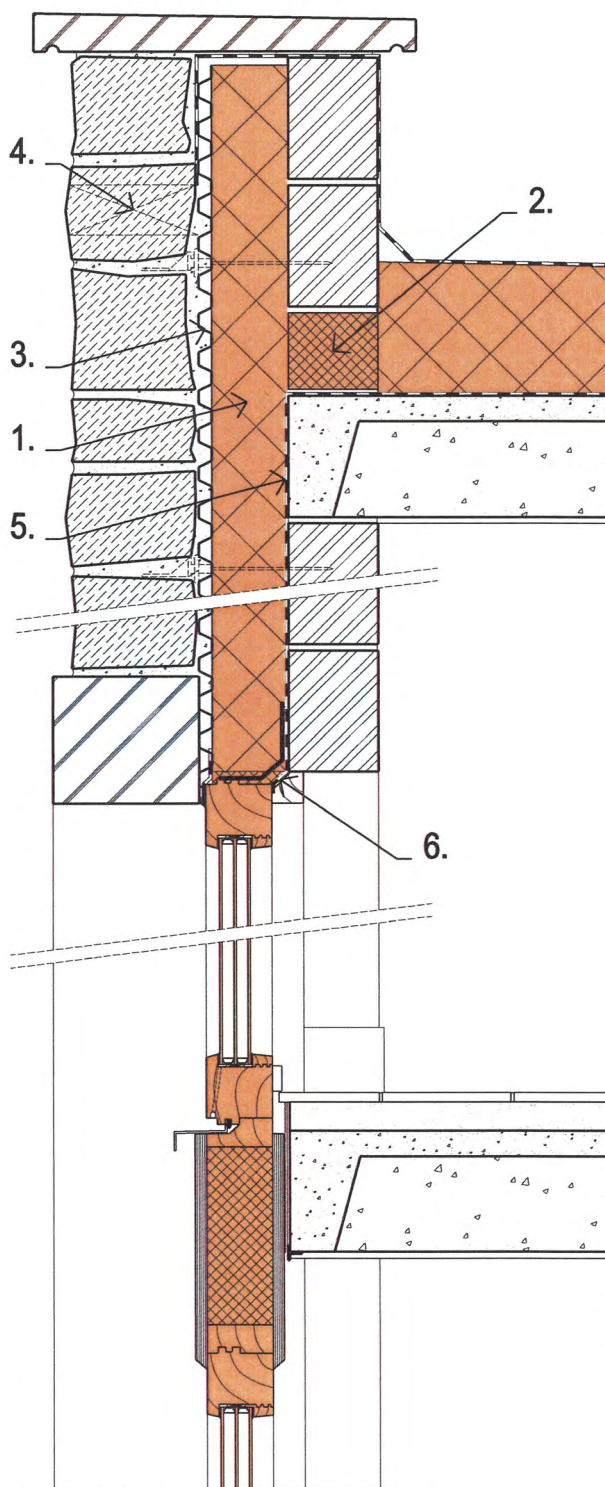
VÉRIFICATIONS SUR LE CHANTIER

Isolation thermique :

- A. Vérifier les caractéristiques de tous les isolants mis en oeuvre, ainsi que leur épaisseur.
- B. Vérifier la pose jointive et continue des panneaux rigides languettés, à toutes les étapes de la réalisation de la coupure thermique.
- C. Vérifier la continuité de l'isolation aux membranes d'étanchéité et au pourtour des châssis.

Etanchéité :

- D. Vérifier la pose correcte des différentes membranes d'étanchéité à l'eau, à l'air et à la vapeur d'eau.
- E. Vérifier le resserrage des joints entre les châssis et le parement en pierre.
- F. Contrôler, lors de la réalisation de l'étanchéité de la terrasse, la pose du solin sur le périmètre de l'acrotère.



GRANDE BAIE SUD-EST DE L'ANNEXE : COUPE VERTICALE F - F
ECH. 1:10

CONCLUSION

Pour concevoir un mur multicouche, 6 critères apparaissent comme éléments décisifs dans la conception d'un mur multicouche :

- L'**isolation thermique**, le **transfert de vapeur d'eau** et l'**étanchéité à l'air** : ces trois éléments sont intimement liés dans le processus de conception d'un mur multicouche et plus particulièrement si l'isolation est placée sur la face intérieure du mur porteur.
- L'**étanchéité à l'eau** apparaît également comme étant un critère important de choix de la finition extérieure du mur multicouche. Toutes infiltrations d'eau est préjudiciable pour la durabilité de l'isolant. Ce choix dépend des critères suivants : esthétique, contraintes urbanistiques, durabilité, entretien et structure d'accroche du parement.
- La **mise en œuvre** reste un point important dans le mur multicouche car c'est une étape qui prend un certain temps et est de ce fait très dépendante du climat. Certaines couches du mur ne peuvent pas être soumises aux intempéries. Le planning de la mise en œuvre est primordial pour assurer la durabilité et l'efficacité d'un mur multicouche.
- La **réalisation de baies** est également un point à étudier minutieusement pour le placement des linteaux spécifiques mais également les problèmes liés à l'accrochage du parement au niveau de ces linteaux. En outre, si beaucoup de grandes baies sont projetées, il est important de conserver la stabilité globale de l'ouvrage et, éventuellement, avoir recours à des poteaux et poutres métalliques pour franchir certaines portées et ce, sans oublier le contreventement global de l'ouvrage.

Deux autres critères sont moins décisifs dans la conception d'un mur multicouche car :

- Pour la **transmission structurelle**, les murs multicouches présentent un élément porteur assez homogène qui permet de reprendre les charges de manière répartie.
- Pour l'**encombrement**, c'est l'épaisseur de la couche isolante et celle du parement qui déterminent l'encombrement car le mur porteur conserve généralement une épaisseur constante de l'ordre de 14 cm, voire moins quand il est constitué de panneaux en bois.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

INTRODUCTION.....	116
TPOLOGIES DES MURS À OSSATURE.....	117
LA MAÎTRISE DU CLIMAT	117
LA MAÎTRISE DU CLIMAT EXTÉRIEUR.....	117
<i>L'eau et le vent.....</i>	117
<i>Étanchéité à l'air.....</i>	118
<i>La neige.....</i>	118
LA MAÎTRISE DU CLIMAT INTÉRIEUR	118
<i>L'humidité relative.....</i>	118
<i>La gestion de la chaleur et des apports solaires</i>	119
<i>Le type d'isolant.....</i>	120
<i>Le type de pare-vapeur en fonction du climat intérieur.....</i>	120
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE MÉTALLIQUE	121
HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION EN ACIER.....	121
L'ACIER, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT.....	122
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	123
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE BOIS	134
HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION BOIS	134
LE BOIS, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT	135
<i>Un matériau de construction naturel.....</i>	135
<i>Un matériau peu conducteur de chaleur</i>	136
<i>Un matériau chaleureux agissant sur le sensoriel.....</i>	136
<i>Un matériau bio-sourcé.....</i>	137
<i>Un matériau ayant une bonne tenue au feu.....</i>	137
<i>Un matériau compatible avec d'autres matériaux</i>	138
<i>Les différents systèmes de murs à ossature bois</i>	138
<i>Comportement d'une paroi ossaturée isolée.....</i>	139
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	140
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE AU STAGE DE L'ESQUISSE	140
<i>Parti et choix préalable.....</i>	140
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE AU STAGE DE L'AVANT-PROJET	141
<i>Zone 1 : choix de la zone de parement et d'étanchéité à l'eau et à l'air.....</i>	141
<i>Zone 4 : choix de la zone de finition et d'équipement.....</i>	141
<i>Zone 2 et zone 3 : choix des zone de structure et d'isolation.....</i>	141
<i>Repérage des détails concernant la continuité de l'isolation thermique.....</i>	142
<i>Exemple d'étude de détails au stade de l'avant-projet.....</i>	143
LES PERFORMANCES DU MUR À OSSATURE.....	147

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR À OSSATURE	149
LES CHOIX DE L'AUTEUR DU PROJET	149
ZONE 1 : CHOIX DE LA ZONE DE PAREMENT ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR	149
<i>Les peaux extérieurs en bois massif.....</i>	<i>149</i>
<i>Les peaux extérieurs en bardage de clins, de bardeaux de bois, de panneaux, etc.....</i>	<i>150</i>
<i>Les peaux extérieurs en bardage légers autres que le bois.....</i>	<i>150</i>
<i>Les peaux extérieurs en maçonnerie.....</i>	<i>150</i>
<i>Les peaux extérieurs collées ou en crépi.....</i>	<i>150</i>
ZONES 4 ET 5 : CHOIX DE LA ZONE DE FINITION ET D'ÉQUIPEMENT.....	151
ZONE 2 + ZONE 3 : CHOIX DES ZONES DE STRUCTURE ET D'ISOLATION	151
EN RÉSUMÉ	152
<i>Type C1 : paroi à ossature métallique isolée.....</i>	<i>152</i>
<i>Type C2 : paroi à ossature bois isolée.....</i>	<i>157</i>
CHRONOLOGIE DE POSE	161
CONCLUSION	162

INTRODUCTION

La technique du mur à ossature est très ancienne. Elle présente toujours une structure portante ouverte qui est refermée par des éléments non porteurs et ce, soit pour simplement la fermer, soit de manière plus performante pour l'isoler. La seule fonction structurelle de ce remplissage est le contreventement éventuel de la paroi. L'exemple le plus ancien est sans doute le tipi indien.

L'ossature bois est également très présente dans les constructions asiatiques et, plus proche de chez nous, dans les bâtiments à colombages. Avec la révolution industrielle, l'utilisation du métal et l'invention du béton armé permettent la réalisation d'édifice prestigieux et de grandes envergures en ossature métallique et en ossature en béton armé.

En Europe, l'ossature en bois n'est à cette époque pas en vogue et subsiste seulement dans les édifices pauvres, temporaires, de faibles dimensions et dans les pays nordiques où la matière première n'a pas été dévastée par l'industrie.

Par contre, en Amérique du Nord, l'ossature bois est le système constructif utilisé dans l'habitat et, à la fin du XX^e siècle, les constructeurs européens s'inspireront grandement du système dit de « maison canadienne » pour construire les premières maisons en ossature bois sur le Vieux Continent. Très vite, les européens feront évoluer cette technique afin de répondre aux exigences de plus en plus sévères en termes d'isolation.

Les pays nordiques et germaniques seront les premiers à proposer des ossatures bien isolées et ce, principalement à cause de la rudesse du climat et des exigences de confort grandissantes des populations.

Par rapport à la problématique du développement durable, l'ossature 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 et par un traitement spécifique en façade extérieure.

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.

TYPLOGIES DE MURS À OSSATURE

Ossature en béton armé :

L'ossature en béton armé a été énormément utilisée après la seconde guerre mondiale dans la reconstruction rapide de certaines villes. Cette technique rapide de construction présente le désavantage de ne pas pouvoir être comblée avec de l'isolation pour la simple raison que le béton est présent en trop grande quantité pour satisfaire aux exigences thermiques actuelles et présente dès lors un pont thermique trop important. Il est dès lors utilisé comme support de murs multicouches ou de façades rideaux. Ces deux types de murs sont développés ailleurs dans ce guide.

Ossatures métalliques et en bois :

Les ossatures métalliques et en bois sont par contre utilisées comme squelette à combler d'isolation dans certains cas (principalement dans les bâtiments de petites envergures) et comme structure portante visible dans les bâtiments publics de grandes envergures. Elles deviennent à l'instar des ossatures en béton armé des supports de façades rideaux. Cette technique est présentée dans un chapitre séparé de ce guide.

Nous proposons ici une méthodologie de conception de paroi extérieure verticale thermiquement performante dont le matériau de structure est l'acier ou le bois, après en avoir rappelé brièvement les fonctions principales.

LA MAÎTRISE DU CLIMAT

LA MAÎTRISE DU CLIMAT EXTÉRIEUR

Nous ne donnerons ici que les particularités liées aux constructions en ossature bois et métalliques, étant donné que le comportement de l'enveloppe face aux éléments climatiques doit au moins être comparable à toute autre enveloppe.

L'EAU ET LE VENT

Dans une construction à ossature, une barrière à l'eau et une barrière au vent sont à réaliser avec le plus grand soin côté extérieur. Les vêtements et/ou les joints des parements doivent être conçus pour rejeter l'eau de pluie vers l'extérieur.

Si c'est possible, un voile pare-vent perméable à la vapeur d'eau doit être associé à ce système.

Dans le cas des structures à ossature, il est nécessaire de constituer une zone ventilée devant un pare-pluie perméable à la vapeur.

L'étanchéité de la paroi au vent peut être obtenue par un pare-pluie en panneaux à joints étanches.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

La barrière d'étanchéité à l'air peut être réalisée par le pare-vapeur. Il faut utiliser des bandes adhésives pour souder les lés et colmater les éventuels défauts ponctuels plus efficacement. On prévoit généralement un vide technique entre la finition intérieure et le pare-vapeur, afin d'intégrer les gaines et conduites sans percer le pare-vapeur.

Les réseaux d'eau et d'électricité peuvent aussi être conçus de façon à ne pas faire courir de câbles ni de conduites le long des façades et toitures, en exploitant uniquement les parois intérieures.

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

L'étanchéité à l'air de la paroi peut être réalisée par les différentes couches mais la présence d'une couche d'étanchéité à l'air continue côté intérieur est préférable. Elle peut se confondre avec le pare-vapeur éventuel.

Dans les parois ossaturées, 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.

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

LA NEIGE

Une neige fondante accumulée en pied de paroi peut humidifier celle-ci. Poudreuse, elle peut s'infiltrer dans les bardages. Il est dès lors très important d'assurer la ventilation et le drainage sur la face intérieure de n'importe quel bardage.

Un bardage en permanence humide présentera rapidement des traces de mousses et, dans le cas des bardages en bois, une formation de champignons noirâtres au lieu d'un grisonnement uniforme. D'autre part, le détail apporté aux pieds des parements doit être soigné afin de permettre l'assèchement rapide des soubassements.

LA MAÎTRISE DU CLIMAT INTÉRIEUR

L'HUMIDITÉ RELATIVE

Dans le cadre d'une ossature, on est en présence de deux matériaux dans une même couche, à savoir l'isolant et le montant. En fonction des données hygroscopiques des matériaux, l'un ou l'autre aura plus ou moins tendance à absorber l'humidité présente dans la couche.

Dans une ossature métallique, l'humidité sera généralement absorbée par l'isolant mais en présence de beaucoup d'humidité, le métal pourrait présenter des traces de corrosion et, à terme, une faiblesse d'un point de vue structurel.

Dans le cas de l'ossature en bois, le bois permet d'absorber et puis de restituer l'humidité. S'il est bien ventilé en finition intérieure, cette propriété ne pose pas de problème. Par contre, si la vapeur pénètre dans la cloison et y trouve les conditions de condensation d'une façon trop intense et permanente, des champignons peuvent se développer et attaquer les bois. Il en est de même pour l'isolant si celui-ci n'est pas répulsif aux attaques des champignons. Actuellement, la majorité des matériaux utilisés en fibres naturelles sont traités de manière à ne pas pouvoir présenter de moisissures.

LA GESTION DE LA CHALEUR ET DES APPORTS SOLAIRES

Pour une bonne gestion de l'énergie, une enveloppe extérieure bien conçue doit :

- limiter les pertes de chaleur en hiver ;
- permettre de tirer parti de l'énergie solaire passive en périodes de chauffe ;
- protéger de la radiation solaire en été.

L'ensemble de ces dispositions ne sera efficace que si l'étanchéité à l'air est assurée.

L'ISOLATION THERMIQUE

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

Dans le cas des parois ossaturées, 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.

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.

On placera si nécessaire un pare-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 structures, au minimum.

Le bois est le seul matériau de structure qui présente une conductivité thermique moyenne à faible ($\lambda_i = 0,13 \text{ W/mK}$). On lui associera volontiers divers isolants thermiques végétaux, alliant les mêmes propriétés éco-énergétiques, mais les isolants thermiques minéraux ou de synthèse sont également utilisés.

L'acier est un bon conducteur de chaleur et, dès lors, un mauvais isolant (profilés en aluminium : $\lambda = 160 \text{ W/mK}$).

Par contre, la section nécessaire des éléments d'ossature est beaucoup plus faible que celle en bois ; le pont thermique créé par les montants métalliques devient minime, voire nul, si les différentes couches de l'ossature sont bien réparties (voir le chapitre « La technologie particulière des ossatures métalliques » plus loin dans cet ouvrage).

LES APPORTS SOLAIRES ET LEUR GESTION

Les notions de gain de chaleur et les grands principes de contrôle et de gestion des gains solaires sont détaillés dans le guide pratique pour les architectes consacré à la fenêtre et la gestion de l'énergie [HAUG-16-4].

Nous rappellerons ici les quelques grandes lignes.

L'ensoleillement, comme source d'énergie, est le facteur climatique dont il faut tirer parti.

Une disposition judicieuse des locaux est nécessaire mais il faut utiliser des matériaux intérieurs qui puissent jouer un rôle significatif dans l'absorption, le stockage et la distribution de l'énergie apportée par l'ensoleillement.

En ce qui concerne les constructions en ossature, puisque la capacité thermique de ce système constructif est généralement très faible, il faut tenir compte de son effusivité thermique.

Un complément par des matériaux lourds dans les parois intérieures et dans les planchers est souhaitable.

LE TYPE D'ISOLANT

Dans les ossatures, il faut impérativement remplir l'intégralité des caissons. Les isolants préconisés pour satisfaire à cette contrainte sont les suivants :

- Les panneaux d'isolation semi-rigides tels que les panneaux de laines minérale, végétale ou animale ;
- Les isolants en vrac à insuffler tels que la laine minérale et la cellulose en vrac ou les billes de polystyrène ;
- Les isolants projetés tels que le polyuréthane (PUR), le polyisocyanurate (PIR) ou la cellulose projetés.

Les différents types d'isolant sont repris en pp. 37 à 40 de cet ouvrage.

LE TYPE DE PARE-VAPEUR EN FONCTION DU CLIMAT INTÉRIEUR

Le classement des pare-vapeur se fait en fonction de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ_d (voir tableau p. 42). Lors de la conception d'une paroi, il faudra toujours veiller à utiliser des matériaux de moins en moins résistants à la vapeur d'eau depuis l'intérieur vers l'extérieur de la paroi. Dans le cas des ossatures, il faudra être particulièrement vigilant aux couches en contact direct avec la couche composée que forment l'ossature et son isolant.

• 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.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

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 la formation de ponts thermiques.

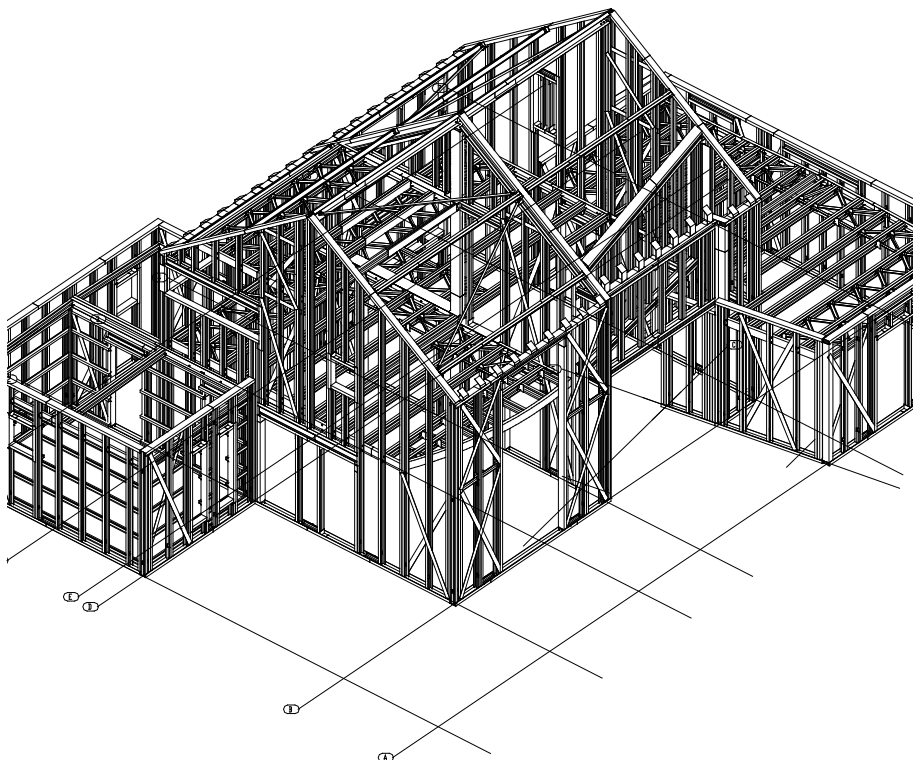
Lorsqu'elles sont métalliques, par contre, la discontinuité du matériau entre l'ossature et l'isolant thermique doit être prise en compte.

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.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DES MURS À OSSATURE MÉTALLIQUE

HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION EN ACIER

Au début du XIX^e siècle, l'essor de la production industrielle du matériau acier a fondamentalement modifié l'évolution de l'architecture dans son ensemble.



L'architecte, autrefois contraint dans son art d'employer du bois et de matériaux exclusivement sollicités à la compression, ne pouvaient projeter de grandes portées. Il s'est vu soudainement offrir un champ de possibilités dans le domaine des portées et des hauteurs de bâtiments. D'un point de vue technique, le matériau acier a affranchi la construction de presque toutes les limites.

Au niveau du logement unifamilial, les premières habitations métalliques sont fabriquées en Angleterre pour être utilisées comme maisons transportables dans les colonies. La solidité de chacun des éléments et la simplicité des assemblages rendaient ces bâtiments aptes à résister aux tremblements de terre, mais également à l'attaque des vers dans les pays chauds.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

Malheureusement, ces bâtiments aux parois simples et légères présentaient l'inconvénient de se réchauffer trop rapidement sous les rayons du soleil [SCHU-03].

Avec la réglementation PEB actuelle, ce sont les deux grands inconvénients de l'acier que l'architecte devra gérer dans les bâtiments isolés :

- Son manque de stabilité face aux différences de température ;
- Sa conductivité thermique qui peut être à l'origine de ponts thermiques.

L'ACIER, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT

Une structure en acier est composée de lisses et de montants qui reprennent les charges. Cette structure devra être conçue de façon à éviter tout pont thermique grâce à une gestion efficace des noeuds constructifs.

Le remplissage isolant entre les lisses et les montants sera complété par une couche isolante extérieure à l'ossature porteuse. Le métal est un bon conducteur thermique, il est étanche à la vapeur d'eau, est recyclable et durable.

Utilisé dans la construction sous forme de profilés, il présente de nombreux avantages :

- une préfabrication en atelier et une flexibilité de conception tant à l'élaboration qu'à l'usage ;
- une grande modularité ;
- une construction en filière sèche ;
- un faible poids et une rapidité de construction ;
- un recyclage quasiment intégral des éléments en fin de vie.

Le plus grand inconvénient du métal reste sa grande conductivité thermique ; ce désavantage est fortement réduit par les faibles sections mises en œuvre et ce, à l'inverse du bois par exemple. Il faut dès lors être vigilant lors de la conception des bâtiments en acier et éviter les ponts thermiques qu'il pourrait créer.

	DENSITÉ ρ [kg/m ³]	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE λ [W/mK]	CHALEUR SPÉCIFIQUE C [J/kgK]	CAPACITÉ THERMIQUE ρC [kJ/m ³ K]	INERTIE		VAPEUR D'EAU		DURÉE DE VIE [an]
					DIFFUSIVITÉ $\lambda/\rho C$ [m ² /s]	EFFUSIVITÉ $(\lambda \cdot \rho C)^{1/2}$ [J/m ² Ks ^{1/2}]	RÉSISTANCE À LA DIFFUSION DE VAPEUR D'EAU μ_{sec} [-]	μ_{humide} [-]	
METAUX									
acier d'armatures	7 800	50	450	3 510	14	13 248	∞	∞	> 50
profilé d'acier	7 800	50	450	3 510	14	13 248	∞	∞	> 50
profilé d'acier inoxydable	7 900	17	460	3 634	5	7 860	∞	∞	> 50
profilé d'aluminium	2 800	160	880	2 464	65	19 855	∞	∞	> 50
tôle d'aluminium	2 800	160	880	2 464	65	19 855	∞	∞	> 50
tôle de cuivre	8 900	380	380	3 382	112	35 849	∞	∞	> 50
tôle de zinc	7 200	110	380	2 736	40	17 348	∞	∞	> 50

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE

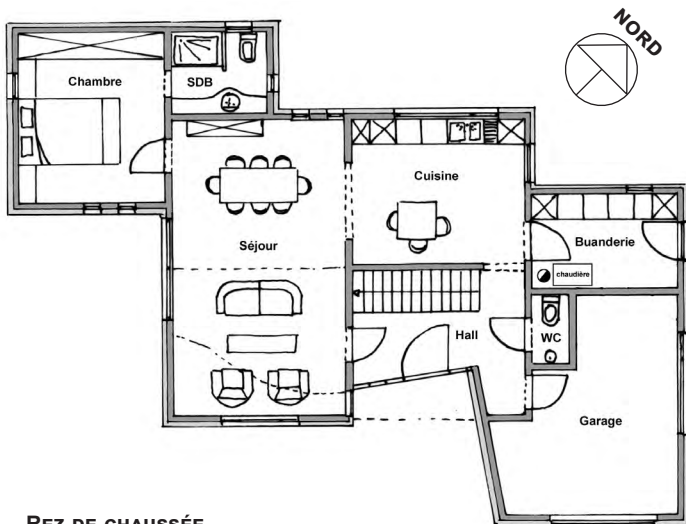


L'exemple ci-contre traite d'une maison à ossature acier avec différents types de revêtement de façade.

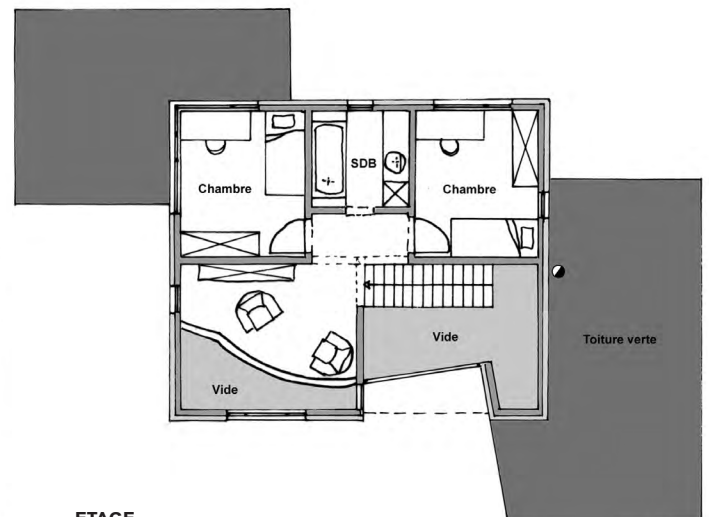
Les typologies A et B de façade ont déjà été abordées précédemment :

- le mur plein (typologie A) aux pp. 58 à 65 ;
- les parois multicouches (typologie B) aux pp. 66 à 114 ;

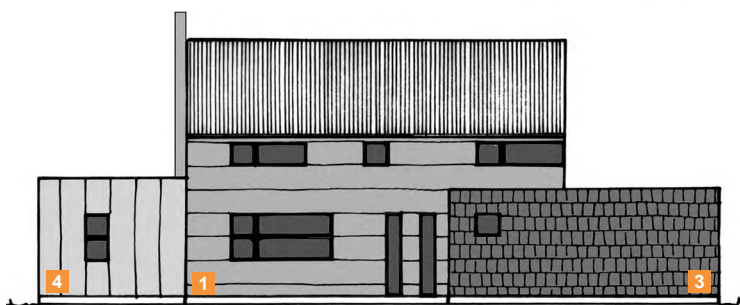
Les typologies C (parois ossaturées en bois) et D (murs-rideaux) font chacune l'objet d'un chapitre détaillé plus loin dans ce guide.



REZ-DE-CHAUSSÉE



ÉTAGE



FAÇADE NORD-OUEST



FAÇADE NORD-EST

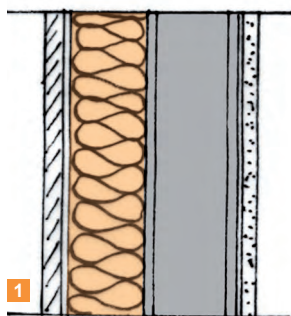


FAÇADE SUD-EST

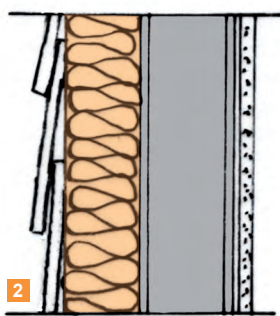


FAÇADE SUD-OUEST

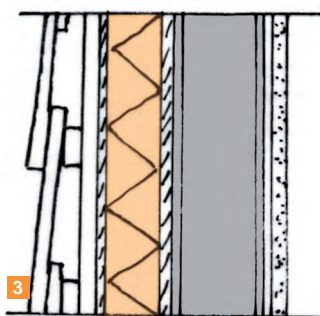
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



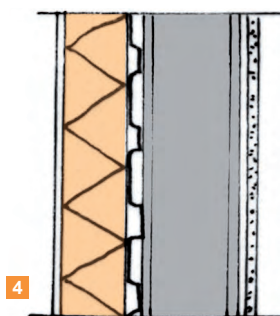
1
BARDAGE RAPPORTÉ EN PANNEAUX À BASE DE RÉSINE RENFORCÉE PAR DES FIBRES DE BOIS



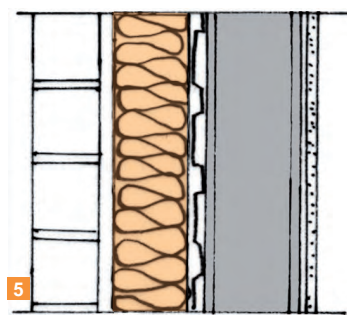
2
BARDAGE RAPPORTÉ EN PLANCHES DE FIBRES-CIMENT



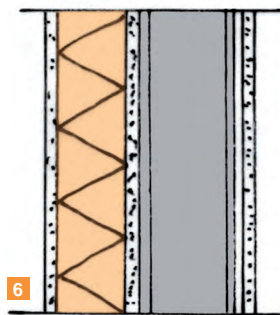
3
BARDAGE RAPPORTÉ EN TUILES DE TERRE CUITE PLACÉES SUR DES PANNEAUX SANDWICHES BOIS-PSE-BOIS



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

Soit, donc 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 d'une contre-cloison technique fermée par des plaques de plâtre. Les parements extérieurs sont les suivants (voir ci-contre :

- un bardage rapporté en panneaux à base de résine renforcée par des fibres de bois **1** ;
- un bardage rapporté en planches en fibrociment imitation bois **2** ;
- un bardage rapporté en tuiles de terre cuite placées sur des panneaux sandwichs bois - XPS - bois **3** ;
- un parement maçonné **4** ;
- un parement en enduit sur isolant de type EPS **5**.

Pour tous ces parements, l'isolation thermique de l'enveloppe, est répartie entre les montants et le côté extérieur de l'ossature, 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.

La ventilation est réalisée par un système double flux avec récupération de chaleur.

Afin d'éviter d'éventuels 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.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

Deux types de murs à ossature acier sont étudiées ci-après :

- l'un comporte une ossature métallique remplie de laine minérale et, pour finition extérieure, un crépi sur isolant ;
- l'autre comporte une ossature métallique remplie de mousse PUR projetée et un bardage extérieur recouvrant une couche de laine minérale.

Dans le cadre de la PEB, il n'est pas possible d'encoder, dans le logiciel fourni par la Région wallonne, les parois à ossature métallique car la méthode simplifiée employée par ce logiciel ne s'applique pas lorsque la couche d'isolation thermique est traversée par du métal. La réglementation impose, dans ce cas, un calcul numérique détaillé suivant la norme NBN EN ISO 10077-2.

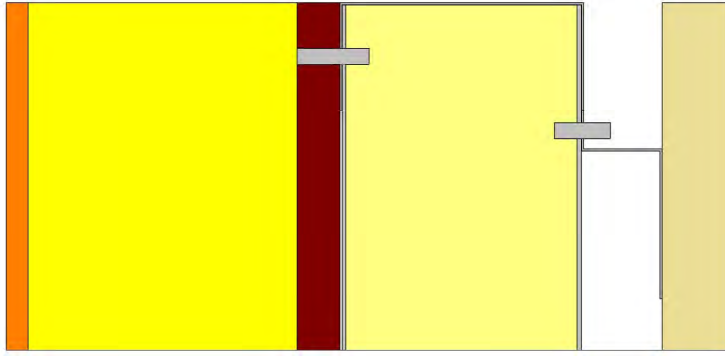
Il faut dès lors avoir recours à un logiciel externe pour calculer les déperditions thermiques. Dans ces deux cas précis, le logiciel TRISCO – 3D de Physibel, reconnu suivant la norme NBN EN ISO 10077-2, a été utilisé pour modéliser les parois. Il s'agit d'un logiciel de calcul et de modélisation de transfert de chaleur en 3 dimensions. Un logiciel similaire permet d'évaluer les noeuds constructifs.

Pour ce faire, des paramètres spécifiques et conformes aux exigences des calculs de la PEB ont dû être spécifiés lors du calcul :

- Une ambiance intérieure à 20°C
 $h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Une ambiance extérieure à 0°C
avec $h_e = h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ pour les parois couvertes par un bardage ou le parement en brique et $h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ pour les parois crépies
- Une convection réduite dans l'espace technique
 $h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow R_{eq} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Une surface de déperdition modélisée de 9 m²
3 m de longueur x 3 m de hauteur.

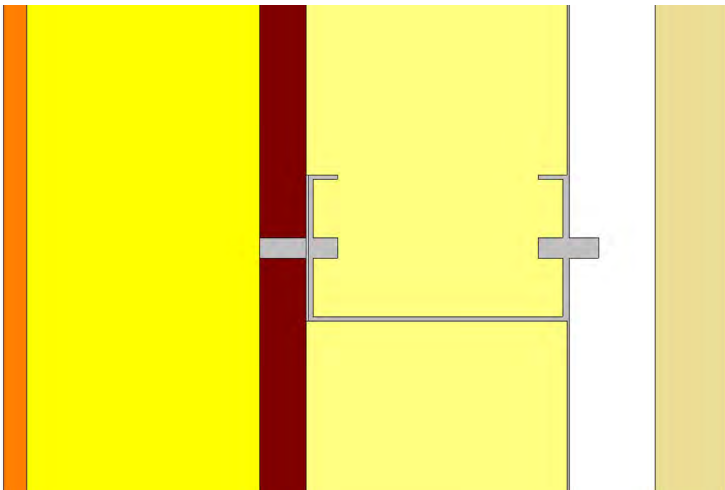
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

A



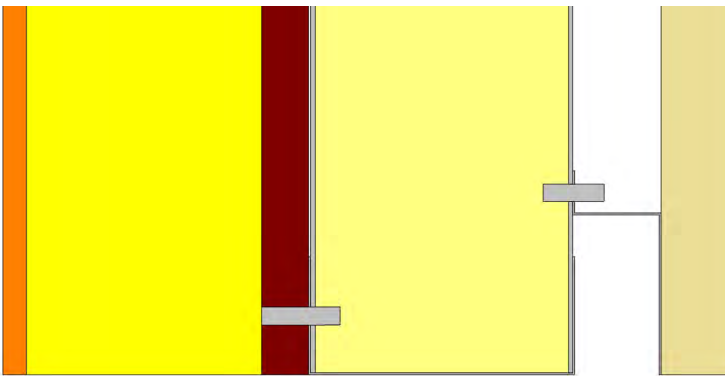
COUPE VERTICALE DE DÉTAIL EN A

C

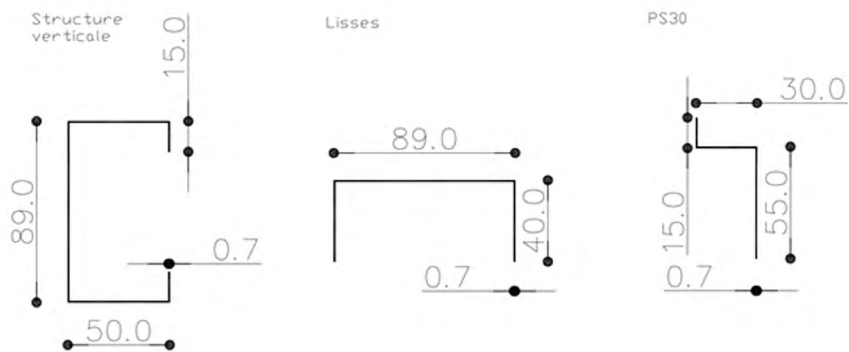


COUPE HORIZONTALE DE DÉTAIL EN C

B

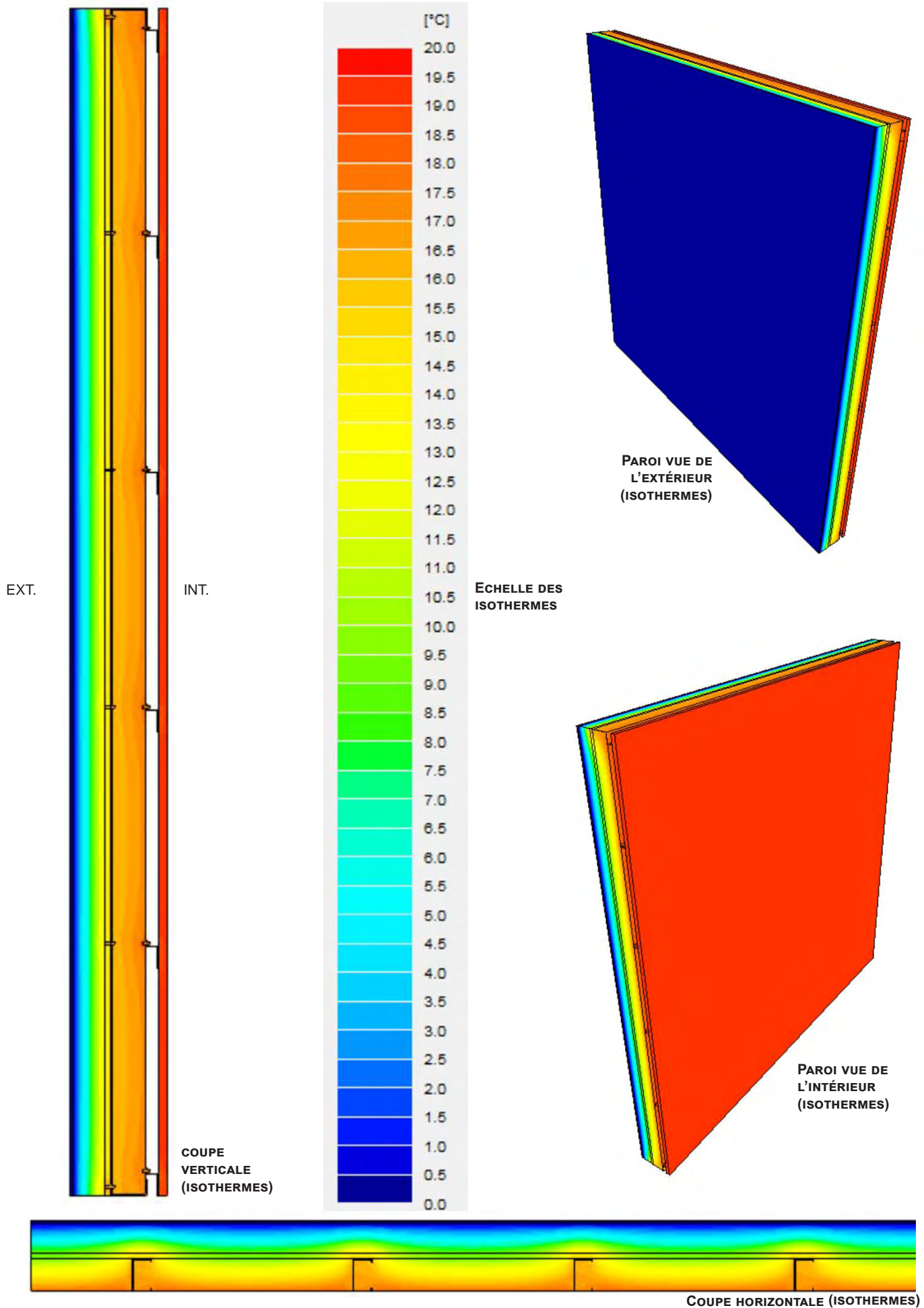


COUPE VERTICALE DE DÉTAIL EN B

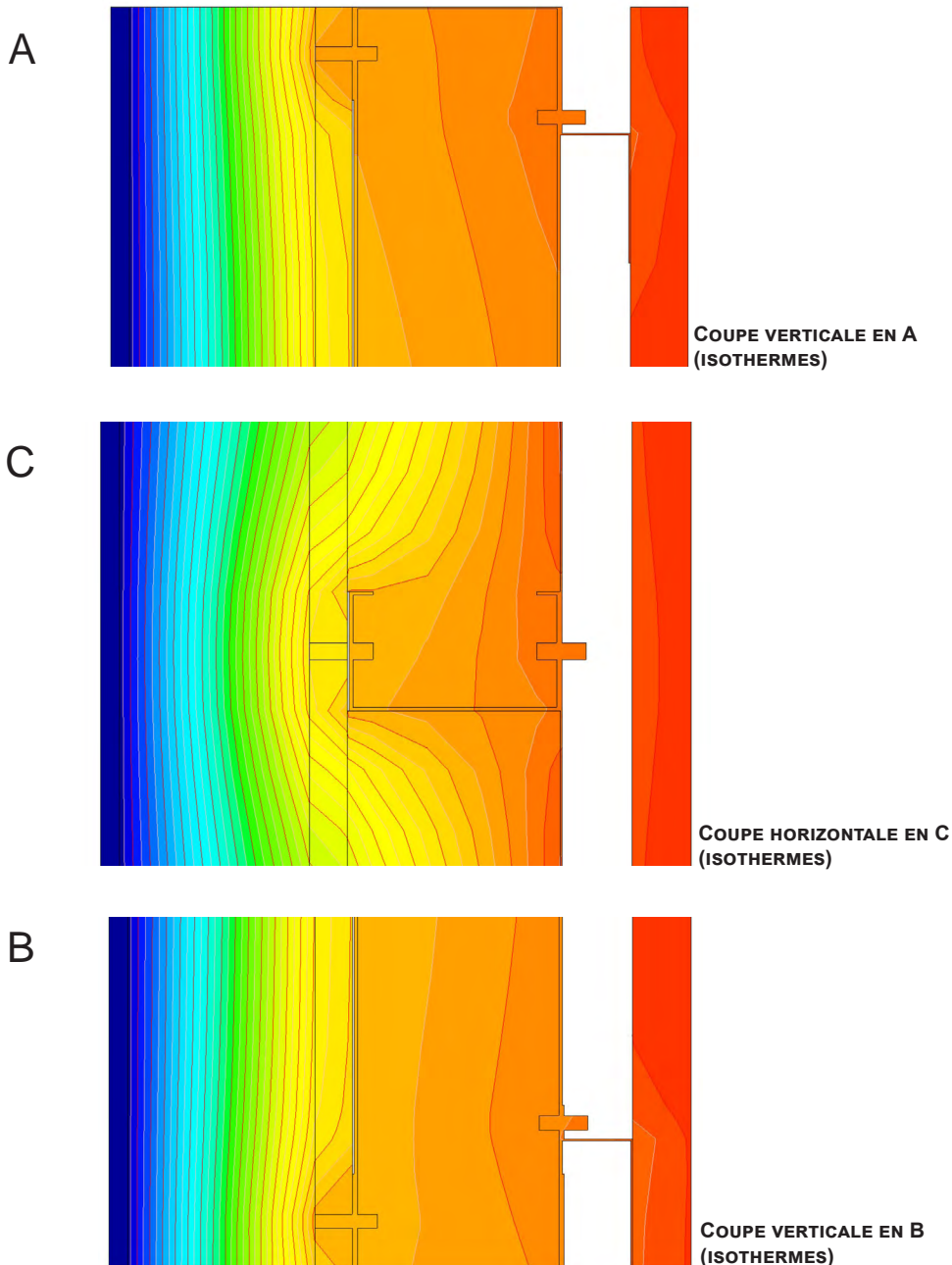


**DIMENSIONS DES
STRUCTURES
MÉTALLIQUES**

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Sur la coupe horizontale, on constate que la structure métallique verticale perturbe l'allure des isothermes, mais presque sans conséquence sur la température en surface intérieure de la paroi.

Sur ces trois coupes de détails, les isothermes permettent de constater qu'il n'y a pas d'hétérogénéité sur la surface intérieure, même au droit de la structure métallique.

La couche continue d'isolation thermique derrière le crépi évite en effet que la structure métallique constitue un pont thermique.

Le logiciel de modélisation numérique détermine que le flux total de chaleur Φ traversant la paroi = 37,88 W. On peut dès lors déterminer le coefficient de transmission thermique U de la paroi, en sachant que le flux total Φ traversant la paroi résulte de l'équation :

$$\Phi = U \cdot S \cdot \Delta T \quad [W]$$

où :

- U = coefficient de transmission thermique [W/m^2K]
- S = superficie de déperdition modélisée [m^2] = 9 m^2
- ΔT = différence de température de part et d'autre de la paroi [$^{\circ}C$] = 20 $^{\circ}C$.

On en déduit donc que le coefficient U est de :

$$\rightarrow U = 37,88 W / (9 m^2 \cdot 20 K) = 0,21 W/m^2K$$

SI ON AVAIT UTILISÉ LA MÉTHODE SIMPLIFIÉE DU CALCUL DU U PRÉVUE DANS LA PEB, CELA AURAIT DONNÉ...

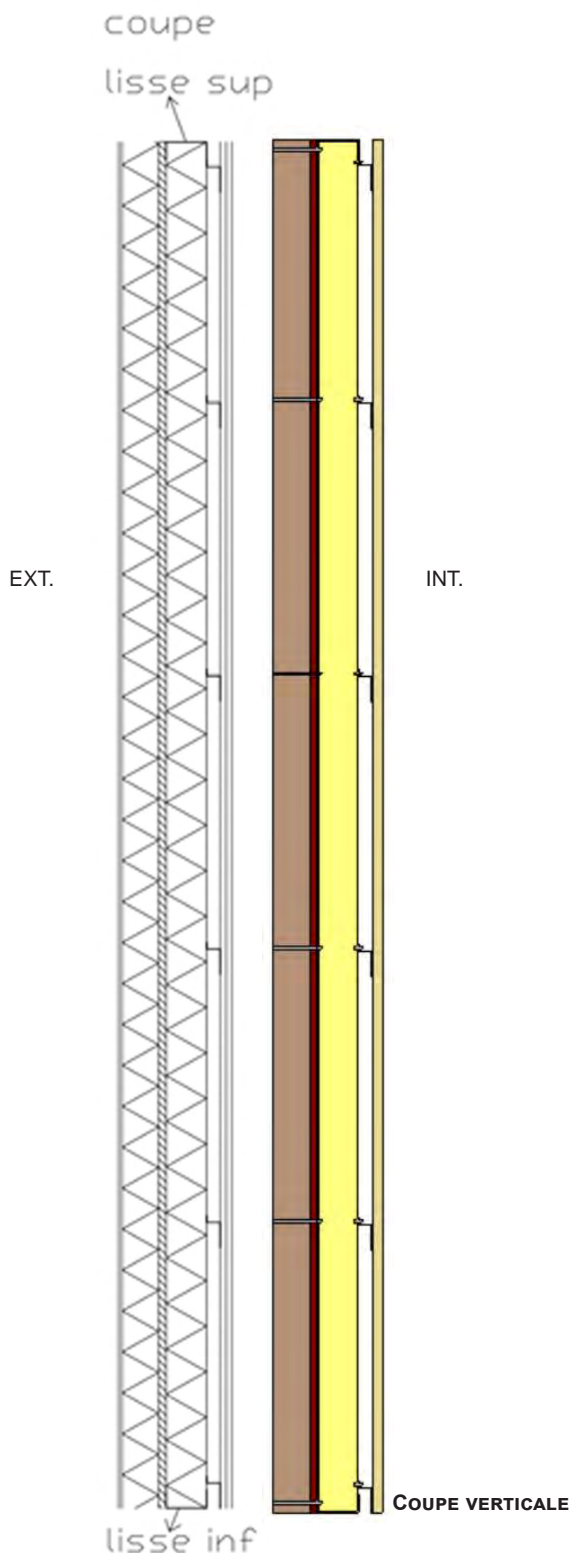
Sans tenir compte de la structure métallique :
 $\rightarrow U = 0,18 W/m^2K$

Avec une structure introduite en couche composée (comme on le ferait avec une structure bois) :

$\rightarrow U = 0,29 W/m^2K$ au lieu de 0,21 W/m^2K , soit une erreur de 38 %.

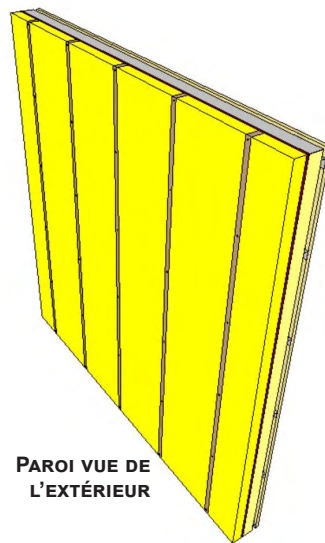
On comprend pourquoi la PEB impose de recourir à un calcul numérique détaillé pour évaluer le coefficient U d'une paroi contenant une structure métallique.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

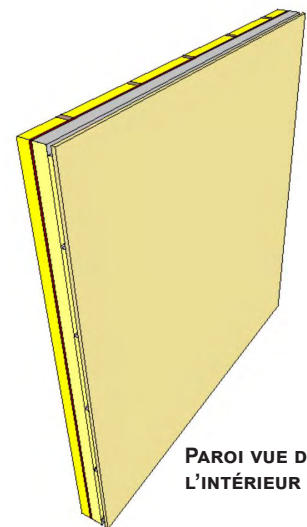


Le deuxième cas (bardage extérieur et structure métallique remplie de mousse PUR projetée) est composé comme suit :

- Bardage bois, lattage et contre-lattage (non modélisés dans le logiciel, donc non représenté dans les figures)
=> $R_{se} = R_{si}$
- Pare-pluie parfaitement continu (non modélisé dans le logiciel)
- Isolant MW – $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ – dans une structure bois (38/80 mm, entre axe 60 cm) – épaisseur 8 cm
- Panneau de contreventement en fibre de bois – $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$ – épaisseur 16 mm
- Structure métallique verticale :
 - Profilé en acier galvanisé tous les 60 cm – $\lambda = 50 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 mm
 - Remplissage en mousse de PUR projetée – $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 mm
- Pare-vapeur parfaitement continu
- Contre-cloison technique en structure métallique horizontale (profilés PS30)
 - Acier galvanisé – $\lambda = 50 \text{ W/mK}$ – épaisseur 30 mm
 - Vide technique
- Double plaque de plâtre de 12,5 mm chacune
 - $R = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ – épaisseur totale 25 mm

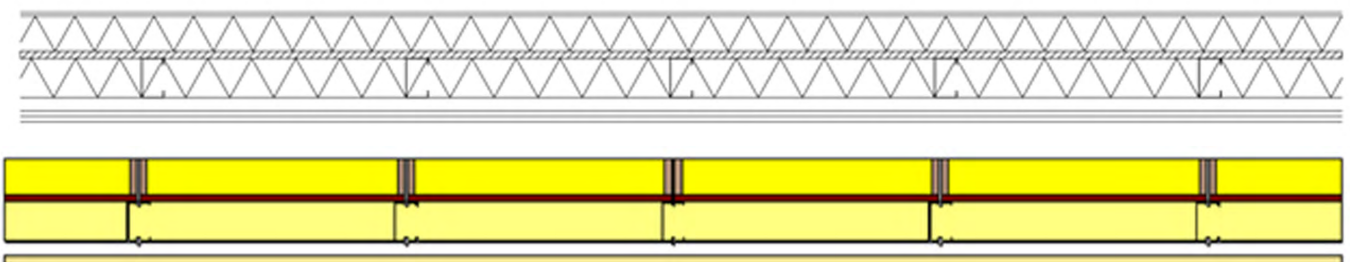


PAROI VUE DE L'EXTÉRIEUR



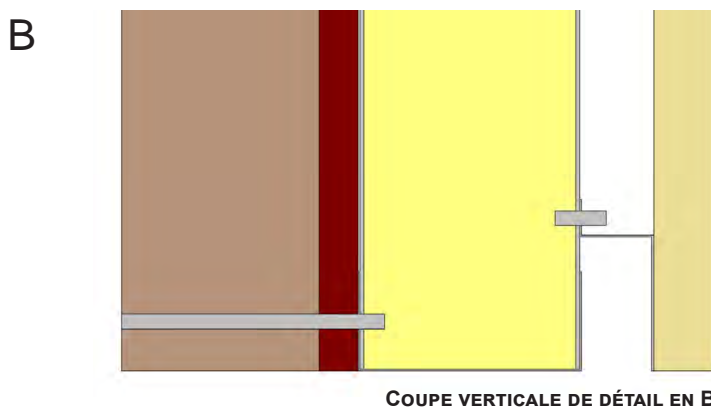
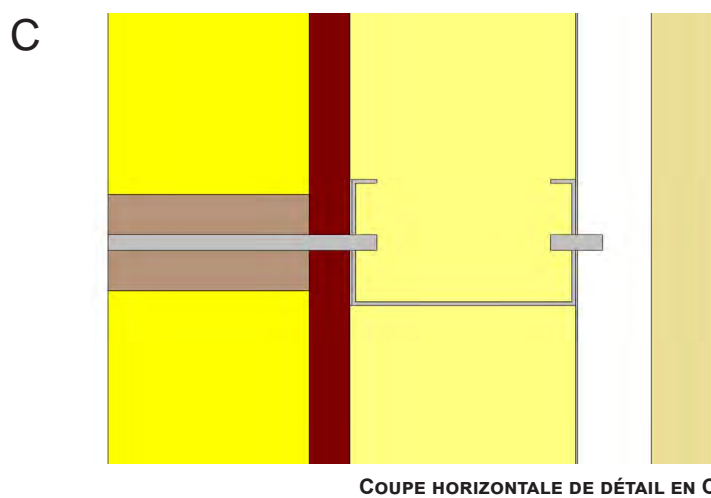
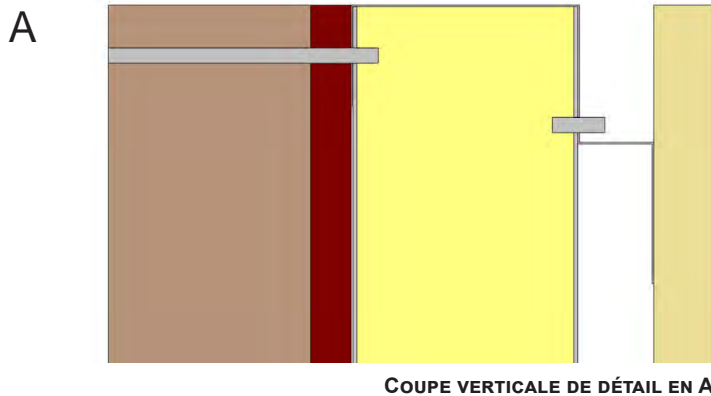
PAROI VUE DE L'INTÉRIEUR

plan



COUPE HORIZONTALE

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

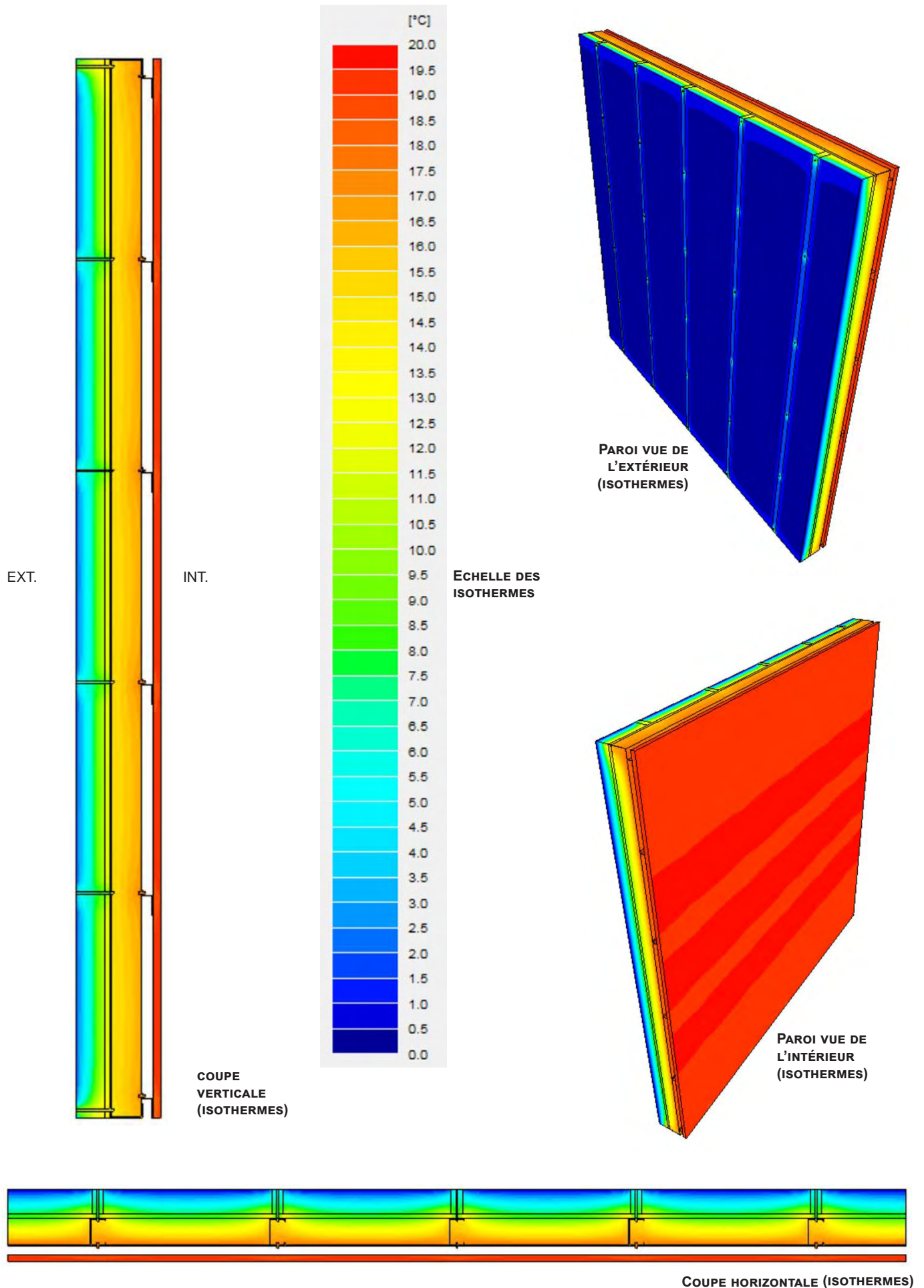


Les structures métalliques sont à nouveau composées de trois types de profilés.

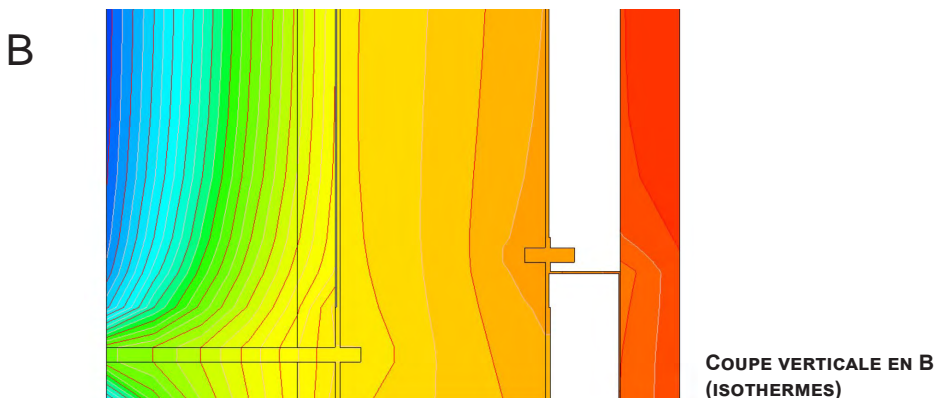
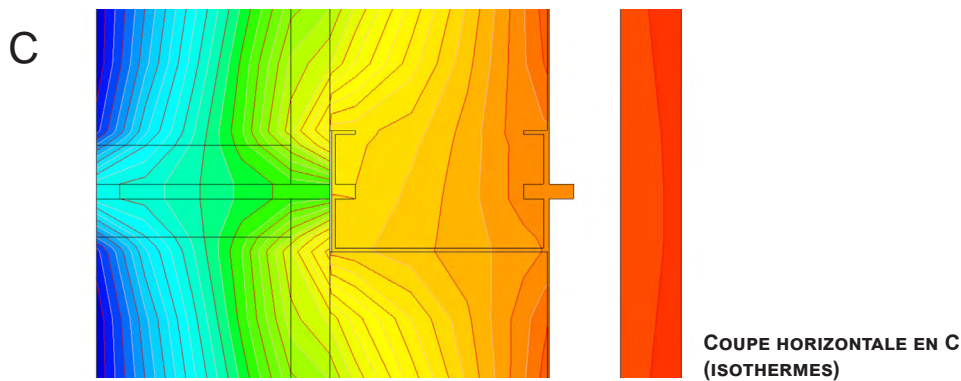
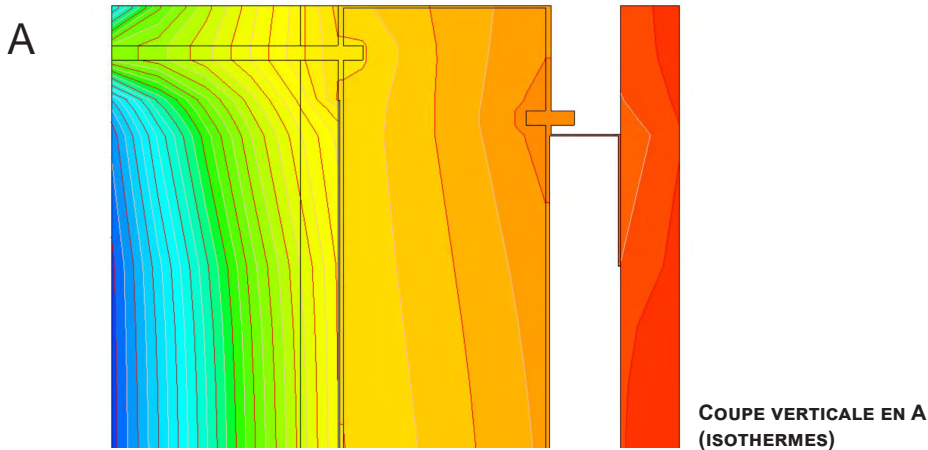
Contrairement au premier cas, la mise en oeuvre du revêtement extérieur nécessite un support qui traversera la couche d'isolation thermique extérieure.

La modélisation numérique de cette paroi permettra de déterminer l'influence, sur le coefficient U, de ces interruptions au sein de la couche d'isolation thermique extérieure.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Comme dans le premier cas, on constate, sur la coupe horizontale, que la structure métallique verticale perturbe l'allure des isothermes, mais aussi presque sans conséquence sur la température en surface intérieure de la paroi.

Sur ces trois coupes de détails, les isothermes permettent de constater qu'il n'y a pas d'hétérogénéité sur la surface intérieure, même au droit de la structure métallique.

Toutefois, l'appui du bardage extérieur traversant la coupe d'isolation thermique extérieure, entraîne une perturbation, des isothermes qui aura une conséquence sur le coefficient de transmission U.

SI ON AVAIT UTILISÉ LA MÉTHODE SIMPLIFIÉE DU CALCUL DU U PRÉVUE DANS LA PEB, CELA AURAIT DONNÉ...

Sans tenir compte de la structure métallique :
→ $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Avec une structure introduite en couche composée (comme on le ferait avec une structure bois) :

→ $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ au lieu de $0,236 \text{ W/m}^2\text{K}$, soit une erreur de 23 %.

Le logiciel de modélisation numérique détermine que le flux total de chaleur Φ traversant la paroi = 42,46 W.

En utilisant la même équation que dans le premier cas, on en déduit donc que le coefficient U est de :

$$\rightarrow U = 42,46 \text{ W} / (9 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ K}) = \mathbf{0,236 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE BOIS

HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION BOIS

Matériau naturel renouvelable et très largement répandu dans nos régions, le bois est resté jusqu'à l'aube du 18^{ème} siècle le seul matériau de construction capable de résister à des contraintes de flexion.

Cette propriété, vite découverte par les hommes, en a fait un des matériaux essentiels de l'édification de l'habitat humain.

Depuis toujours, le bois a été utilisé comme matériau de construction influençant au passage d'autres modes constructifs qui conservent souvent une esthétique "bois".

L'habitat celtique a laissé dans nos régions (Aubechies, Samara (Amiens), Eindhoven, Heuneburg) des traces telles que l'on a pu reconstituer quelques exemples de fermes. La technique utilisée consiste en un squelette en poteaux- poutres en bois, sommairement équarris ou non, complétés par des tressages de branchages servant de support à un torchis ou à un bardage de chaume ou de végétaux divers. Un socle en pierres séparait les parois extérieures du contact du sol humide.

Par ailleurs, dans les régions forestières à forts peuplements résineux et de climat froid (le Centre et l'Est européens et la Scandinavie), une des techniques les plus anciennes est l'habitation en rondins empilés horizontalement ou juxtaposés verticalement ; les parois remplissent alors les trois fonctions suivantes : portante, protectrice et isolante.

Ces constructions, généralement à caractère rural et de plan rectangulaire, ne favorisaient guère l'élévation sur plusieurs niveaux (sauf quelques exceptions en Suisse).

L'étanchéité entre les rondins ou madriers était assurée par de la bouse, de la filasse, du torchis, du mortier, de la chaux, etc.

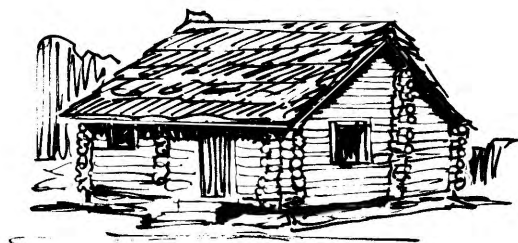
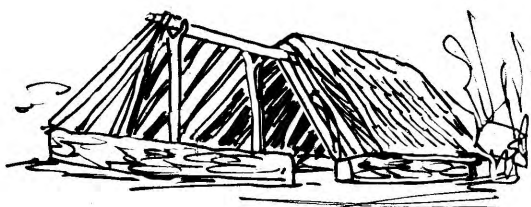
Selon les régions, l'intérieur et/ou l'extérieur pouvait être recouvert d'enduit, de bardage ou de lambris.

Ce type de construction est resté très limité en Europe occidentale sauf en pays montagneux.

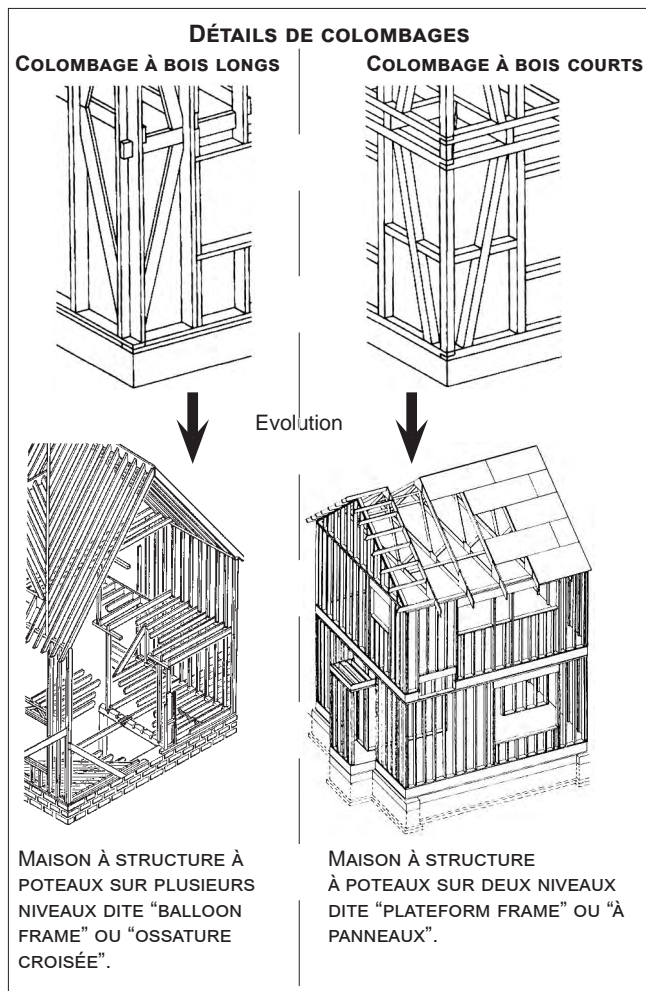
Dans nos régions, bien avant l'Empire Romain et au cours du Moyen-Age, les techniques d'équarrissage et d'assemblage bois/métal évoluant, sont apparues les maisons à pans de bois ou colombages, systèmes de colonnes porteuses en éléments de bois assemblés par tenons et mortaises et chevillés.

Les vides étaient remplis de torchis, briques ou terre pour une meilleure isolation thermique.

La méthode la plus ancienne, dite des bois longs ou maisons à poteaux, utilise des poteaux corniers continus sur toute la hauteur du bâtiment.



TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE BOIS



REMARQUE

Le terme "platform frame" provient du fait que le premier plancher posé sur les parois devient "plate-form" pour la pose des étages suivants.

LA QUALITÉ D'UNE STRUCTURE EN BOIS [GAUZ-99]

La qualité d'une construction en bois se mesure essentiellement par :

- le choix judicieux des essences ;
- la technique d'assemblage et les détails architectoniques assurant l'essentiel de la durabilité ;
- la conception des éléments fonctionnels, de leurs formes et de leurs détails ;
- l'utilisation rationnelle du bois suivant les sollicitations en :
 - privilégiant les contraintes d'efforts normaux (compression),
 - réduisant les fortes contraintes dues aux moments,
 - empêchant les efforts excentrés et de torsion,
 - évitant les tractions transversales dues à la charge ou au retrait.

Ensuite, la méthode dite des bois courts où les poteaux de coin sont limités à un étage de hauteur, est apparue.

La révolution industrielle, avec le développement du sciage et du clouage a vu l'apparition de constructions à ossature à section mince dont les principes constructifs sont dérivés des deux techniques de colombage.

De même, les systèmes à "gros" bois ont continué leur évolution pour mener aux constructions à poteaux poutres actuelles.

De nos jours, on voit se développer différentes techniques dérivées de celles-là mais à base de multiples composants en bois reconstitué : panneaux multiplis contrecollés ou cloués ou composants lamellés-collés.

Dans ce chapitre, nous développons la technique issue de la méthode dite des bois courts qui consiste à monter une ossature comblée par un matériau isolant ; c'est la technique de l'ossature bois qui est actuellement en pleine expansion dans nos régions.

LE BOIS, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT

Au-delà du fait que le bois soit un matériau d'origine végétale, il remplit naturellement plusieurs fonctions.

Avec le bambou, le bois est, pour la construction, le seul matériau naturel capable de résister tant en traction qu'en compression dans le sens de ses fibres.

Quelle que soit la technique de construction utilisée, les performances de l'enveloppe extérieure en bois doivent être équivalentes à celles de toutes les autres enveloppes. Matériau souple, léger et résistant mécaniquement et chimiquement, le bois possède de nombreuses qualités qui en font un excellent matériau de construction.

Il allie des performances structurales, écologiques et éco-énergétiques, sans omettre de remplir d'autres fonctions telles que visuelles, esthétiques et même olfactives.

UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION NATUREL

Son origine végétale rend le bois sensible aux alternances d'humidité et de sécheresse, ainsi qu'aux dégradations causées par les champignons et les insectes : le bois n'est donc jamais tout à fait inerte.

Les variations dimensionnelles (principalement dans le sens radial et transversal) auxquelles il est soumis pendant sa durée de vie à partir de sa coupe, s'amortissent peu à peu sans jamais disparaître entièrement.

Il se présente dans une grande variété d'essences riches de propriétés très diverses. On le classe donc suivant divers critères, notamment en fonction de sa résistance mécanique et de ses autres qualités.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

LA PROTECTION DU BOIS [GAUZ-99]

La protection constructive des bois est une solution efficace, mais elle suppose la formation de maîtres d'oeuvre et d'entreprises sur les caractéristiques spécifiques du matériau.

Protéger les bois contre les agents biologiques de dégradation exige :

- le choix d'essences adaptées ;
- la mise en oeuvre à un taux d'humidité du bois inférieur à 18 % ;
- une bonne aération de l'ouvrage ;
- des détails de construction pour éviter la stagnation d'eau ;
- un contrôle régulier des pièces porteuses.

Dans certaines régions, même en Europe, des mesures spécifiques doivent être envisagées contre les termites qui attaquent le bois à partir du sol ; on peut, par exemple, installer une protection autour des bâtiments.

Il existe plusieurs types de barrières :

- des barrières chimiques (injection de termiticides dans le sol et dans les murs) ;
- des barrières physico-chimiques ;
- des barrières physiques (grillage d'acier inoxydable ou particules de granit).

REMARQUE

La Belgique est à ce jour épargnée par ce fléau.

Pour plus d'informations, consulter également :

- Annexe 1 : Tableaux des caractéristiques des matériaux.
- Annexe 3 : Traitements et protections du bois.

TYPES	ρ [kg/m ³]	λ_i [W/mK]	λ_e [W/mK]
Bois de charpente en bois feuillus durs et bois résineux	≤ 600	0,13	0,15
	> 600	0,18	0,20

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES PRINCIPAUX BOIS
UTILISÉS EN CONSTRUCTION, SELON L'ANNEXE 3
DE L'AGW PEB DU 15/12/16 [GW -16-2]

On définit également les moyens propres pour le protéger contre l'humidité et les insectes.

Son utilisation en structure, en revêtement ou en parement, pour les aménagements intérieurs et extérieurs, présente de multiples avantages écologiques, esthétiques, techniques et économiques qui attirent de plus en plus de maîtres d'ouvrage, de maîtres d'oeuvre et d'entreprises.

De plus, que ce soit à l'usine ou sur le chantier, le bois est un matériau léger facile à travailler et à assembler.

Il se distingue des autres matériaux de construction par sa rapidité de mise en oeuvre et les possibilités qu'il offre pour développer des éléments préfabriqués.

De nouveaux produits dérivés très performants l'ont placé au rang des autres matériaux de construction industriels et ouvrent des perspectives pour la réalisation d'une architecture contemporaine en bois [GAUZ-99] et [web 3].

UN MATÉRIAU PEU CONDUCTEUR DE CHALEUR

Grâce à sa structure cellulaire, le bois est un matériau peu conducteur de chaleur.

Sa conductivité thermique varie en fonction de sa masse volumique. (voir tableau ci-contre).

La conductivité moyenne d'un résineux ($\lambda = 0,13$ à $0,18$ W/mK) est environ 15 fois plus faible que celle du béton et 400 fois plus faible que celle de l'acier, mais seulement 2 fois plus grande que celle d'un matériau classé comme isolant thermique ($\lambda \leq 0,065$ W/mK).

Vu la capacité thermique réduite du fait de sa faible masse volumique, il faudra compléter les ouvrages en bois par des matériaux lourds capables d'emmagasiner de la chaleur pour éviter les surchauffes en été. On peut par exemple combiner une ossature bois en parois extérieures avec des parois intérieures et planchers lourds. Il faut également prévoir des protections solaires et une forte ventilation nocturne estivale pour limiter les surchauffes.

Son hygroscopicité fait que le bois, laissé naturel, absorbe la condensation superficielle lorsqu'elle reste réduite et de courte durée.

UN MATÉRIAU CHALEUREUX AGISSANT SUR LE SENSORIEL

Par rapport à beaucoup d'autres éléments de construction, le bois, comme élément naturel, apporte un plus à l'ambiance intérieure d'une construction.

Matériau sain, naturel et chaleureux, le bois apparent crée une ambiance différente par ses odeurs, ses couleurs et sa texture.

De plus, selon les traitements qui lui sont apportés, le bois change d'aspect au cours du temps.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

UN MATÉRIAU BIO-SOURCÉ

• Un bio matériau

Le bois est un matériau qui se développe et se renouvelle sur terre depuis des centaines de millions d'années. Il contribue à limiter le renforcement de l'effet de serre et participe activement au développement durable.

En effet, un arbre connaît une croissance continue grâce au processus de photosynthèse.

Une fois l'arbre coupé, le bois dont il est issu stocke le CO₂ qu'il a fixé durant sa croissance, limitant ainsi le taux de ce gaz dans l'atmosphère.

Pour que le matériau bois soit renouvelable et non épuisable, les forêts dont il est issu, doivent être gérées de façon "durable", c'est-à-dire de manière à rester "vivantes", en activité, tout en veillant à ne pas épuiser leurs ressources.

Tant le bois tropical que le bois des pays tempérés doivent être issus de forêts entretenues ; seule une forêt entretenue est intéressante du point de vue écologique.

En effet, si les arbres vieillissent, puis meurent et se décomposent sur place, ils rendent à l'environnement le CO₂ qu'ils ont stocké lors de leur croissance. Le bilan est donc neutre.

Par contre, l'emploi du bois dans la construction est un moyen efficace pour stocker le CO₂ durant la vie du bâtiment : lorsqu'on transforme un arbre en matériau de construction, on retarde le moment où le carbone sera rejeté dans l'atmosphère par décomposition ou combustion.

Ce phénomène aide donc à limiter le renforcement de l'effet de serre à l'échelle planétaire, coupable du réchauffement du climat.

• Un matériau léger et facile à mettre en oeuvre

Le bois est un matériau de construction qui présente de nombreux avantages pour sa mise en oeuvre :

- poids relativement faible (masse volumique faible), comparativement aux autres matériaux de construction ;
- résistance mécanique importante (tension admissible à la compression comparable à celle du béton armé pour une masse volumique cinq fois inférieure) ;
- facilité d'assemblage grâce à des techniques simples tels le clouage, le vissage, le forage, etc. ;
- débitage et menuiserie variés, permettant diverses formes d'utilisations ;
- valorisation complète de la matière première en panneaux, poutres reconstituées, pellets, écorces décoratives, papier, etc ;
- transformation et mise en oeuvre sans apport d'eau.

UN MATÉRIAU AYANT UNE BONNE TENUE AU FEU [GAUZ-99]

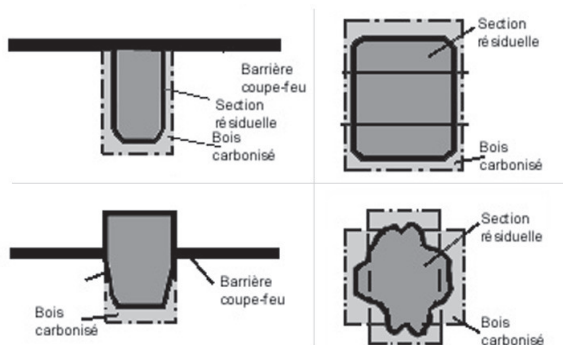
Soumis à l'action directe ou indirecte du feu (forte chaleur)

POTEAUX-POUTRES AVANT ET APRÈS EXPOSITION AU FEU [LANG-02]

ÉPAISSEUR DE MAJORATION

Pour le dimensionnement d'une poutre ou d'une colonne soumise au feu, on ajoutera à la section calculée, une épaisseur de bois considérée comme carbonisée suivant la durée de résistance au feu (Rf) demandée et cela, sur chaque face soumise au feu.

Il existe une relation linéaire entre la profondeur de bois carbonisé et le temps d'exposition au feu.



nisé et le temps d'exposition au feu.

Pour le calcul de la résistance au feu d'une section, une vitesse de combustion doit être déterminée.

Les vitesses de combustion β_0 du tableau suivant sont utilisables pour une méthode simplifiée où la section résiduelle est considérée comme rectangulaire.

En moyenne, si on demande une résistance au feu de

- 30 minutes (Rf 30), on augmentera la section de 18 mm sur chaque face soumise au feu.
- 60 minutes (Rf 60), on augmentera la section de 36 mm sur chaque face soumise au feu.

TABLEAU REPRENANT LA VITESSE DE COMBUSTION DE CERTAINS BOIS [LANG-02]

Matériau		β_0 [mm/min]
Bois feuillus massifs	($\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$)	0,5
Bois feuillus massifs	($\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$)	0,7
Bois feuillus lamellés-collés	($\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$)	0,5
Bois feuillus lamellés-collés	($\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$)	0,7
Bois résineux massif	($\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ et $a \geq 35 \text{ mm}$)	0,8
Bois résineux lamellés-collés	($\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$)	0,7
Panneaux de bois	($\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$ et $t_p = 20 \text{ mm}$)	0,9
Panneaux à base de bois	($\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$ et $t_p = 20 \text{ mm}$)	0,9
Contreplaqués	($\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$ et $t_p = 20 \text{ mm}$)	1,0

où a = largeur / épaisseur de la section

β_0 = vitesse de combustion [mm/min]

t_p = épaisseur du bois et des panneaux à base de bois [mm]

ρ_k = masse volumique [kg/m^3]

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

la présence de flamme n'est pas obligatoire pour que le bois s'enflamme, le bois se décompose chimiquement en produisant du charbon de bois et en dégageant des gaz combustibles.

Le laps de temps qui s'écoule jusqu'à l'inflammation de ces gaz dépend de nombreux facteurs tels que l'arrivée d'oxygène, la teneur en humidité, la masse volumique ou la contrainte thermique.

La tenue au feu des éléments en bois dépend aussi de leur forme.

Ainsi, à volume égal, la résistance au feu diminue avec l'augmentation de la surface soumise à des flammes.

Les grandes fentes de retrait que l'on trouve régulièrement sur les éléments en bois massif ont, de ce fait, un effet néfaste.

En conséquence, les lamellés-collés exempts de fentes résistent plus longtemps au feu ; la durée de cette résistance peut être calculée avec plus de précision que celle du bois massif.

Dans le cas d'assemblages d'éléments en bois avec des éléments métalliques, il est impératif de les recouvrir d'une épaisseur suffisante de bois ou de les protéger avec des produits adéquats (intumescents par exemple).

Les grosses pièces de charpente présentent une résistance au feu très efficace car le charbon de bois qui se forme en périphérie sous l'action des flammes devient isolant.

On estime que la section diminue en moyenne de 0,6 mm par minute d'action du feu (voir encadré de la page précédente).

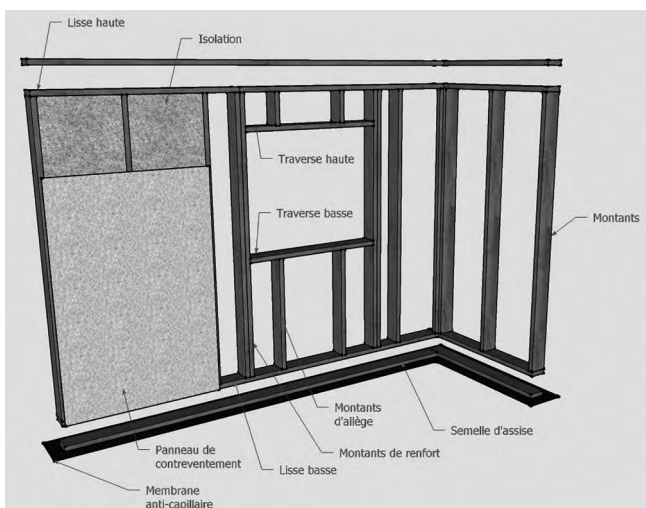
UN MATÉRIAU COMPATIBLE AVEC D'AUTRES MATÉRIEAUX [HOUT-14]

L'association du bois avec d'autres matériaux de construction permet d'optimiser techniquement et économiquement les projets architecturaux tout en leur apportant de nouvelles qualités esthétiques.

La qualité des bâtiments durables réside dans une mixité des matériaux optimisant les capacités de chacun d'entre eux et limitant au strict nécessaire la quantité de matière mise en oeuvre.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE MURS À OSSATURE BOIS

L'encadré ci-après donne les principaux systèmes des parois à ossature isolées.



TERMINOLOGIE SPÉCIFIQUE À LA CONSTRUCTION EN OSSATURE BOIS [CSTC-15-3]

REMARQUE

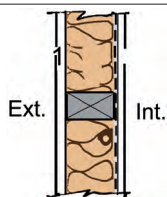
La préfabrication : une autre possibilité d'économiser le bois en construction.

Pour optimiser écologiquement et économiquement les constructions, la tendance est à la préfabrication.

En effet, la standardisation est adaptée à l'architecture minimaliste et aux formes simples et compactes de l'habitat à faible consommation d'énergie.

La répétitivité facilite l'optimisation de la matière et des détails de construction. Elle a généralement une répercussion positive sur la qualité et sur la maîtrise des coûts.

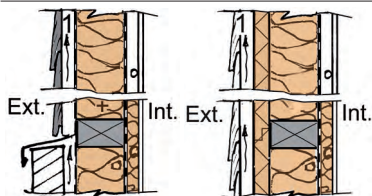
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



PAROI À COMPOSANTS DE FAÇADE FERMÉE - OSSATURE BOIS

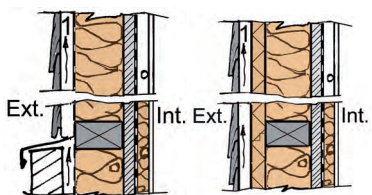
Ce système de composants sandwichs (ou à panneaux fermés) peut être l'objet d'une préfabrication en usine et un système de joints y est associé.

Le parement doit être parfaitement étanche à l'eau et au vent et l'épaisseur minimale conseillée des montants de la structure est de 16 cm pour des questions de stabilité et d'isolation.



PAROI À OSSATURE SANS PANNEAUX - OSSATURE BOIS

La peau extérieure protège contre la pluie et le soleil. Un pare-pluie est nécessaire, il doit être perméable à la vapeur d'eau.



PAROI À OSSATURE AVEC PANNEAUX - OSSATURE BOIS

Ce type de paroi peut utiliser un ou deux panneaux dont les fonctions peuvent être :

- la stabilisation aux poussées du vent pour les OSB (à mettre côté intérieur) et les multiplis ;
- l'étanchéité au vent, à l'air extérieur ;
- le pare-vapeur en face intérieure et étanchéité à l'air en face intérieure ;
- la participation à l'isolation thermique.

La résistance à la migration de vapeur μ des panneaux devra être choisie selon leur position dans la paroi :

- placé en face extérieure, μ doit être faible sinon un pare-vapeur est nécessaire côté intérieur ;
- placé en face intérieure, μ doit être moyen à important, sinon un pare-vapeur peut être nécessaire en complément.

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, μ : 0,08 m).

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 contre-ventement) et dont le μ satisfait au climat intérieur (μ : 1,12 m).

PANNEAU CÔTÉ INTÉRIEUR

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

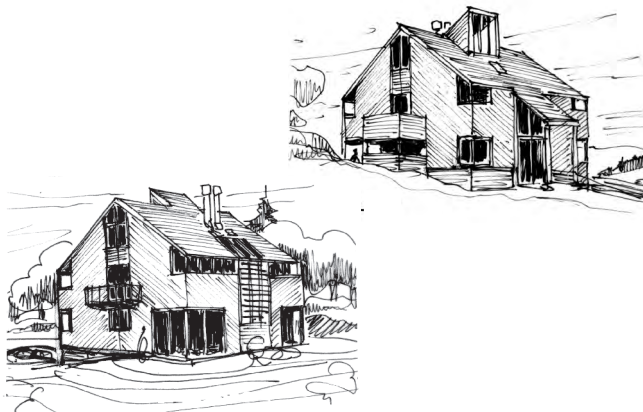
Hormis un matériau lourd en finition intérieure, les parois ossaturées n'apportent pas d'inertie thermique au bâtiment, ce qui peut être préjudiciable à un bon confort d'été.

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).

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STAGE DE L'ESQUISSE



L'intention est de concevoir une maison utilisant au mieux le bois comme matériau de structure, de parement et de finition avec des qualités thermiques intéressantes, y compris une inertie suffisante.

Les plans d'esquisse ci-contre en reprennent les éléments essentiels; à savoir :

- noyau central en maçonnerie lourde ;
- structure intérieure poteaux poutres ;
- parois ossaturées.

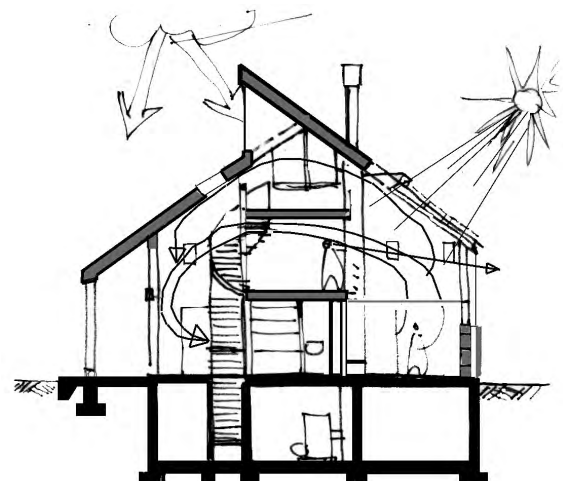
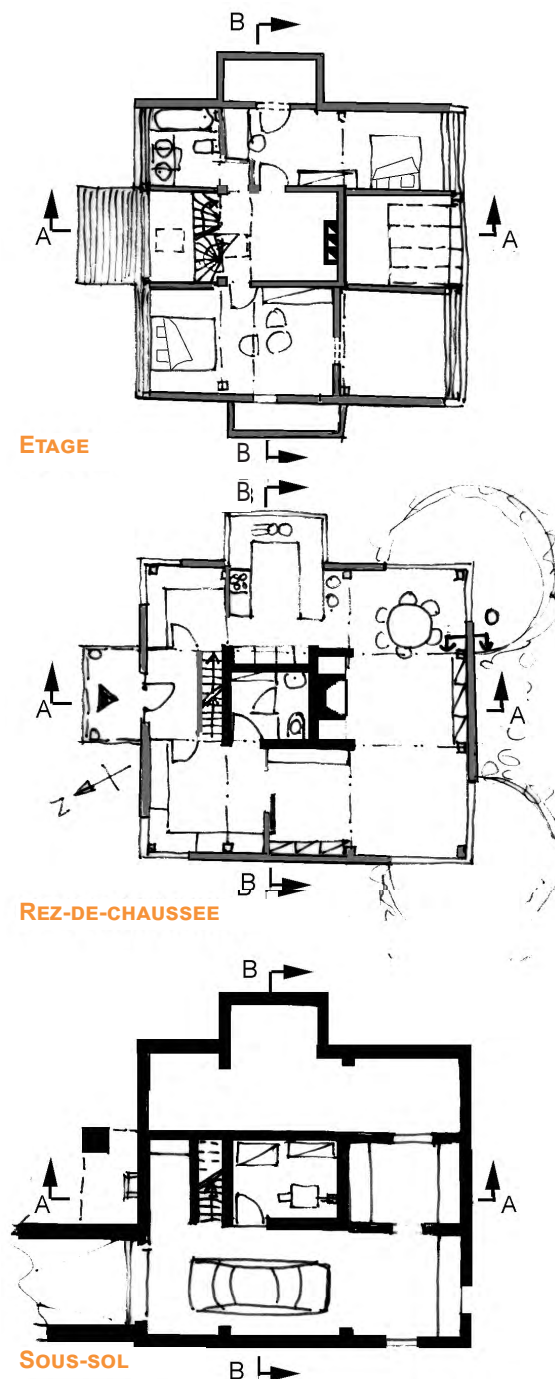
Le principe des types de parois extérieures est posé au stade de l'esquisse : il s'agira de parois ossaturées.

L'idée de la peau extérieure en bardage de bois mis en oeuvre obliquement est retenue.

PARTI ET CHOIX PRÉALABLES

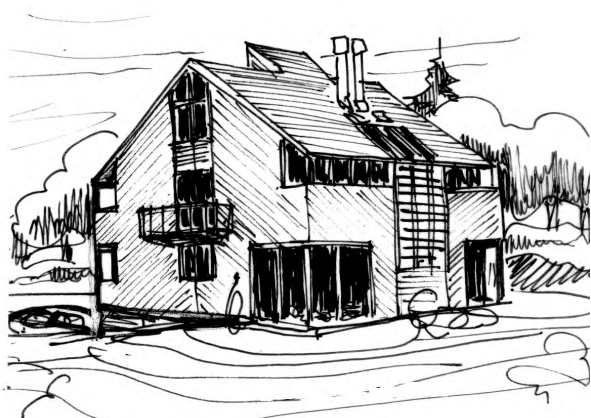
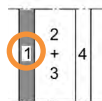
L'esquisse proposée prend les partis suivants :

- utilisation d'une grosse partie des planchers sur caves et de parois centrales du rez-de-chaussée, ainsi que le massif des cheminées comme masse de stockage de chaleur apportant une bonne inertie thermique au bâtiment ;
- système principal de structure en poteaux-poutres en douglas, combiné avec des parois extérieures à ossature en épicéa traité, sauf les lisses basses en pin sylvestre traité à l'autoclave ;
- isolation thermique intégrée dans ces parois ;
- distribution de la chaleur captée par les baies sud/sud-ouest par thermocirculation naturelle ;
- utilisation de la lumière pour faire vivre les espaces, notamment le coin jeu central et l'atelier d'artiste sous le comble central.



COUPE A-A

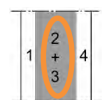
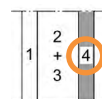
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STAGE DE L'AVANT-PROJET



VUE DE L'OUEST



VUE DE L'EST



ZONE 1 : CHOIX DE LA ZONE DE PAREMENT ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR

• Bardage en mélèze

Le parti architectural et le facteur entretien induisent de laisser le bois du bardage griser pour s'intégrer au paysage. Ce bardage est donc destiné à se délayer et à griser sous l'effet des UV. Il sera non raboté et non poncé.

Le mélèze est classé moyennement durable (classe de durabilité III) ; il peut rester sans protection mais doit être bien ventilé.

En alternative, nous retiendrons également la possibilité d'emploi d'un résineux traité à haute température sans oxygène (bois rétifé) puisque ce bois est rendu tout à fait durable.

Ce bardage sera posé obliquement pour un choix esthétique et dynamique des façades rejoignant les effets des toitures ; ceci le distingue aussi, en vue éloignée, d'un effet "maçonnerie" à joints horizontaux.

Seul le contour du volume supérieur de la cuisine créant le garde-corps de la terrasse d'une des chambres sera en lames horizontales.

• Maçonnerie de pierre

La partie visible de la maison contre le talus et sous le rez-de-chaussée sera en maçonnerie de pierre côté garage mais en mur multicouche isolé côté est (contre le talus).

Il faut donc étudier la rencontre entre les deux types de parois.

Ici, le parti de l'architecte est, dans ce projet, de faire dépasser le bardage par rapport au mur de parement en pierre de soubassement.

ZONE 4 : CHOIX DE LA ZONE DE FINITION ET D'ÉQUIPEMENT

Toutes les parois intérieures des espaces de vie, excepté dans la cuisine, seront couvertes de pin sylvestre raboté pour exprimer le bois.

Les parois de la cuisine seront couvertes de plaques rigides à base de plâtre et de fibres de cellulose ($\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$, $\mu = 11$, $\mu_d = 0,165 \text{ m}$, réaction au feu M0) et finies par un enduit à base de plâtre.

Une finition claire permettra de diffuser la lumière.

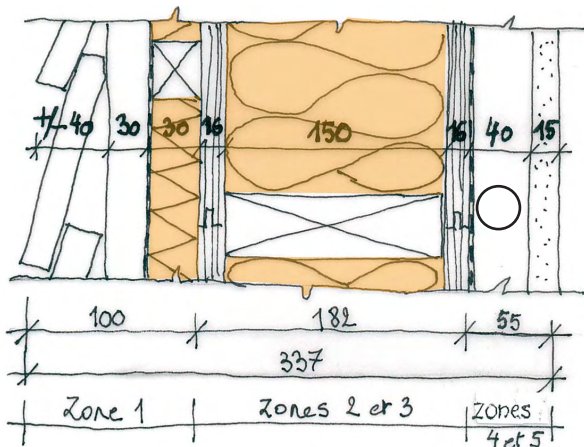
Les parois extérieures seront pourvues d'une contre-cloison située derrière la finition intérieure ; dans laquelle on pourra disposer les conduites d'électricité, d'eau éventuelle, etc. et ce, afin de ne pas percer le pare-vapeur situé contre l'ossature.

ZONE 2 ET ZONE 3 : CHOIX DES ZONES DE STRUCTURE ET D'ISOLATION

Dès l'esquisse, le principe de la paroi isolée portante à

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

COMPOSITION D'UNE PAROI



ZONE 1

- Bardage en mélèze non traité, non rabotté, en pose oblique, 20 mm x 145 mm
- Coulisserie ventilée
- Pare-pluie éventuel perméable à la vapeur d'eau ($\mu_d = 0,02$ m)
- Coulisserie complémentaire permettant une isolation thermique en PUR ($\lambda_i = 0,028$ W/mK)

ZONE 2+3

- Panneau en fibres de bois d'épaisseur 16 mm ($\lambda_i = 0,05$ W/mK, $\mu_d = 0,08$ m)
- Structure 60 x 150 mm tous les 60 cm, en épicéa traité sauf lisse basse en pin sylvestre traité à l'autoclave, avec un remplissage en laine de cellulose (densité 70 kg/m³, $\lambda_i = 0,039$ W/mK)
- Panneau OSB ép. 16 mm de contreventement et d'étanchéité à l'air ($\mu_d = 1,12$ m)
- Pare-vapeur éventuel (feuille de polyéthylène de 0,2 mm d'épaisseur ($\mu_d = 7,50$ m))

ZONE 4

- Coulisserie pour équipement et isolation thermique complémentaire éventuelle
- Plaque rigide en fibres de cellulose et plâtre
- Finition intérieure éventuelle

U_{paroi} avec isolation complémentaire = 0,23 W/m²K calculé avec le logiciel PEB

ossature a été retenu. Il faut aussi que la peau extérieure en mélèze soit bien ventilée.

Pour une plus grande stabilité (contreventement) et une meilleure étanchéité à l'air et au vent, nous optons pour une paroi, comprenant une ossature avec un panneau de contreventement du côté intérieur assurant l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau et un panneau de fibre pare-pluie et pare-vent du côté extérieur de l'ossature.

Vu la thermocirculation et la ventilation des locaux, le climat II sera celui de tous les espaces. Seule la salle de bain pourra présenter un climat III par moments.

Suivant le principe de conception concernant la diffusion de vapeur énoncée plus haut (voir pp. 120 et 121), nous envisageons la constitution suivant un climat II.

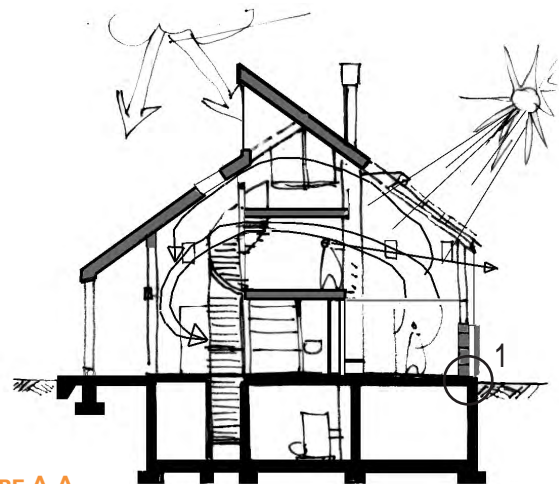
REPÉRAGE DES DÉTAILS CONCERNANT LA CONTINUITÉ DE L'ISOLATION THERMIQUE

A ce stade de l'avant-projet et avant d'entamer les plans du projet à plus grande échelle, il est intéressant de réaliser les quelques croquis préparatoires pour les points clés de l'enveloppe.

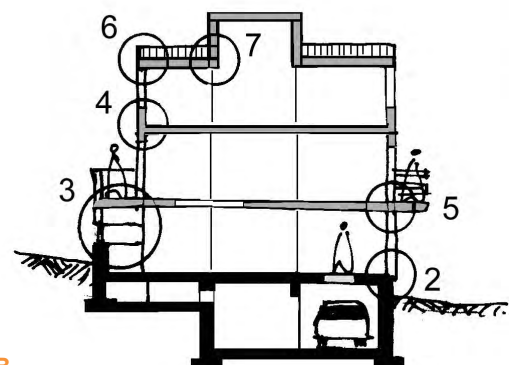
Ceci permet de bien gérer l'épaisseur des parois extérieures et surtout les points de jonctions entre elles et avec les divers planchers.

Nous n'étudions ici que les points où la continuité de la zone d'isolation thermique est à bien mettre en place.

Sept endroits sont repérés sur les deux coupes et sur le plan du rez-de-chaussée :



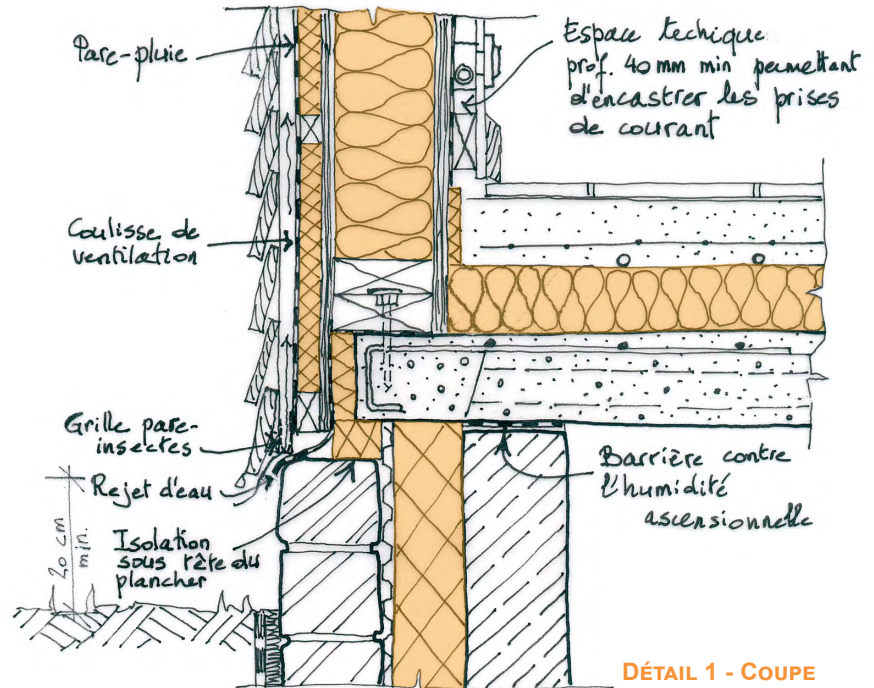
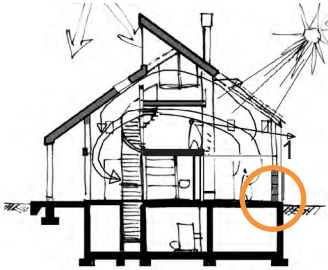
COUPE A-A



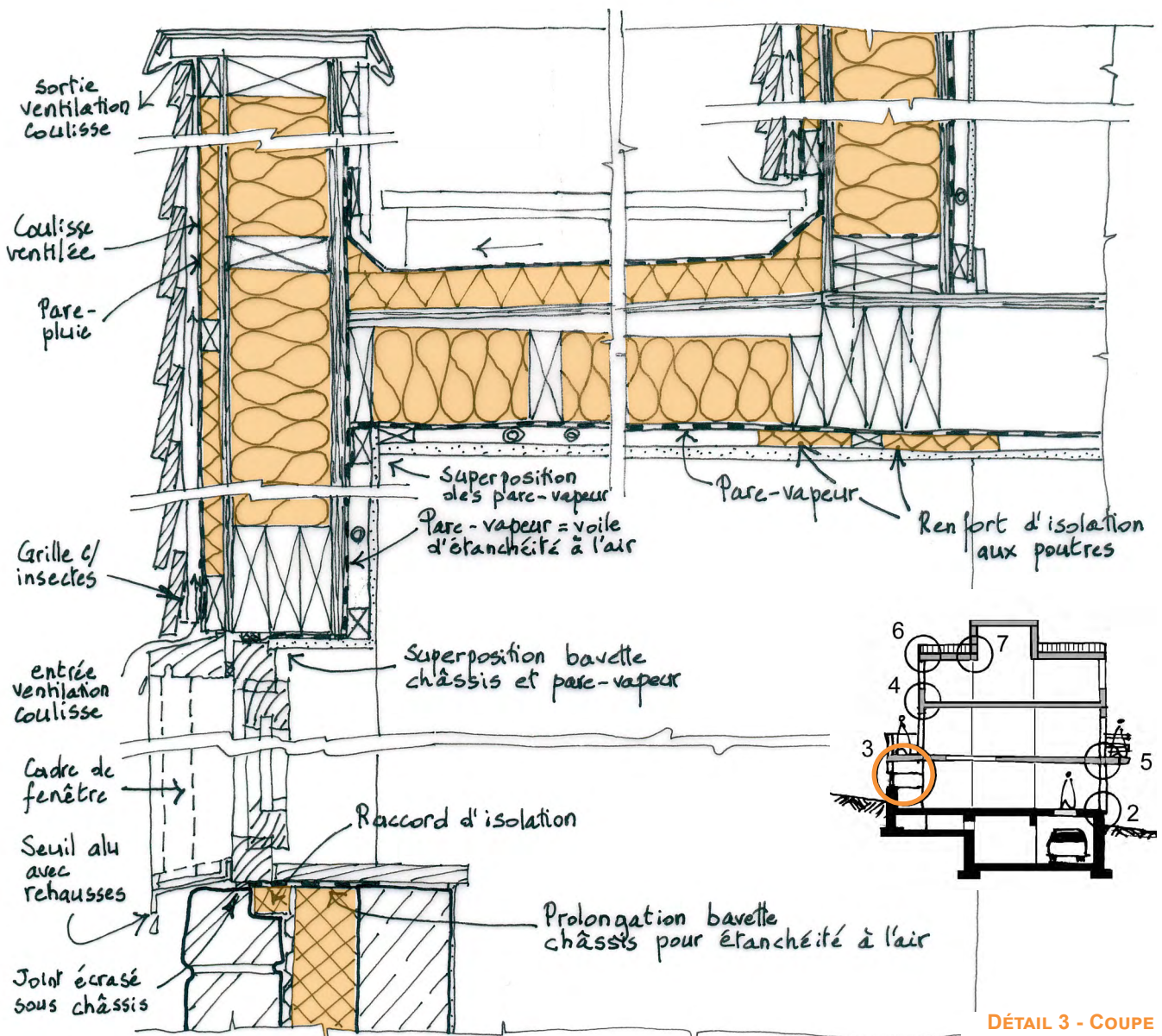
COUPE B-B

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

EXEMPLE D'ÉTUDE DE DÉTAILS AU STADE DE L'AVANT-PROJET

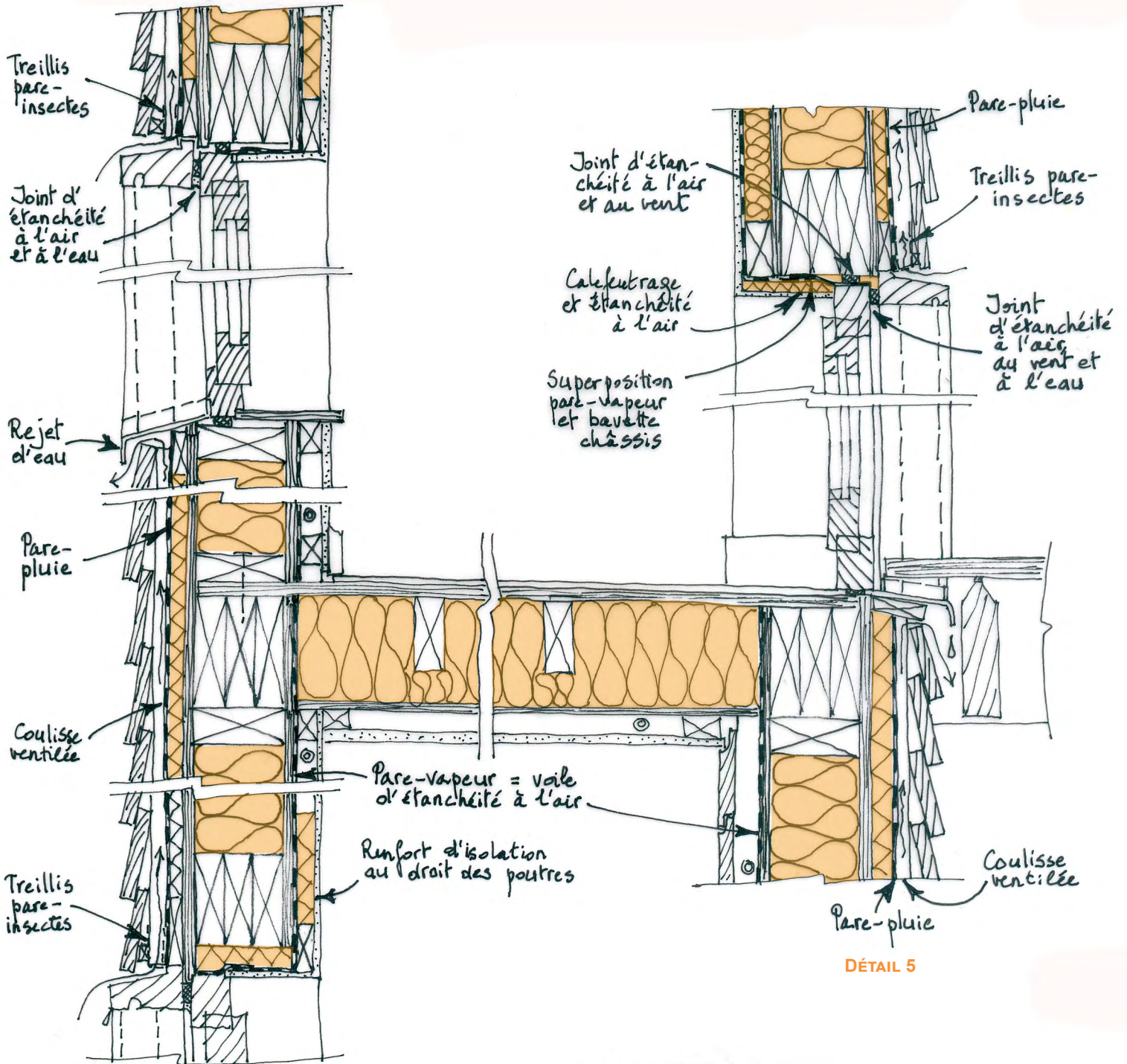


DÉTAIL 1 - COUPE



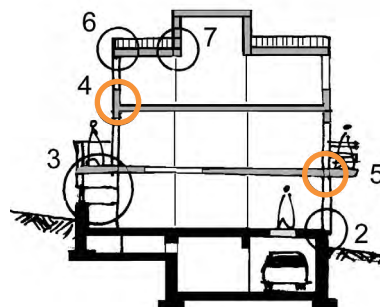
DÉTAIL 3 - COUPE

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

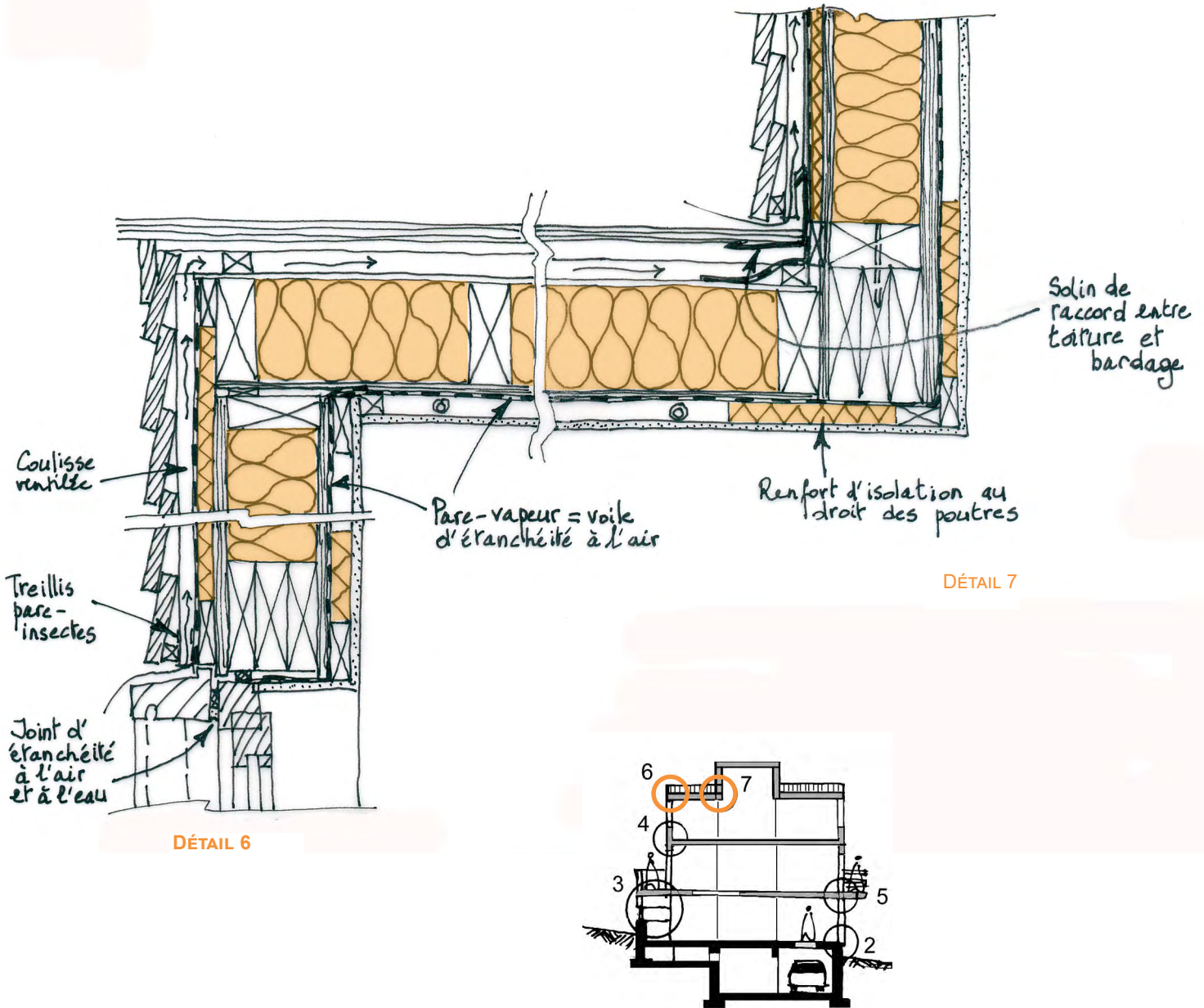


DÉTAIL 4

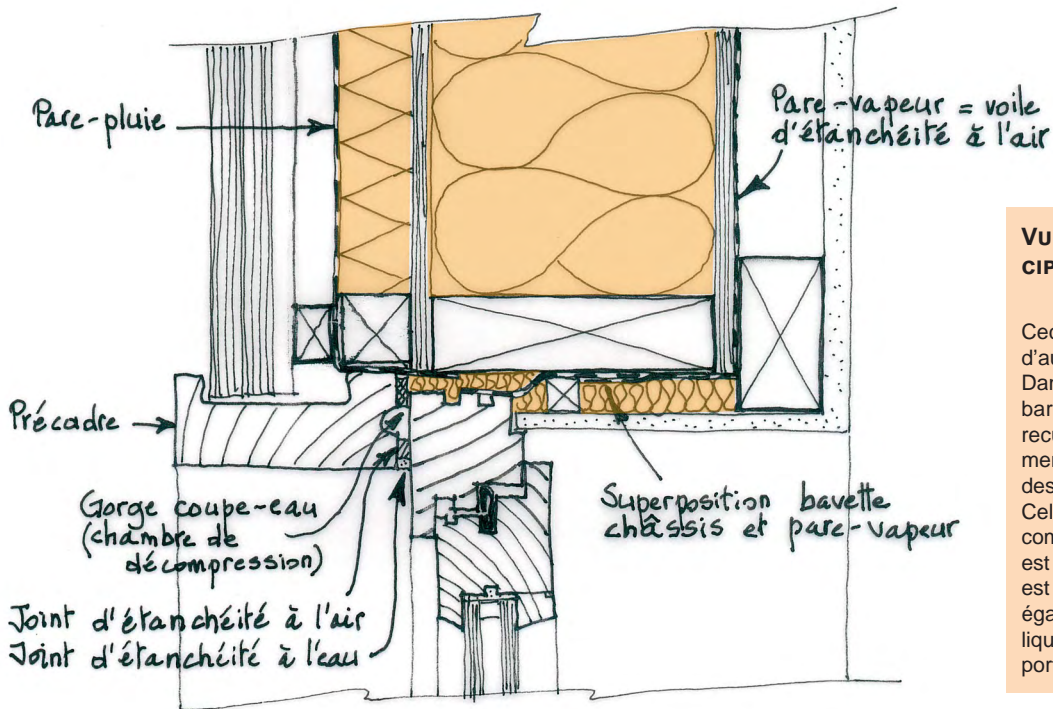
DÉTAIL 5



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

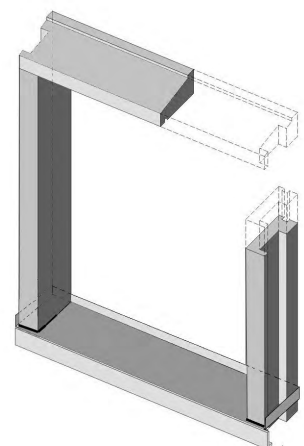
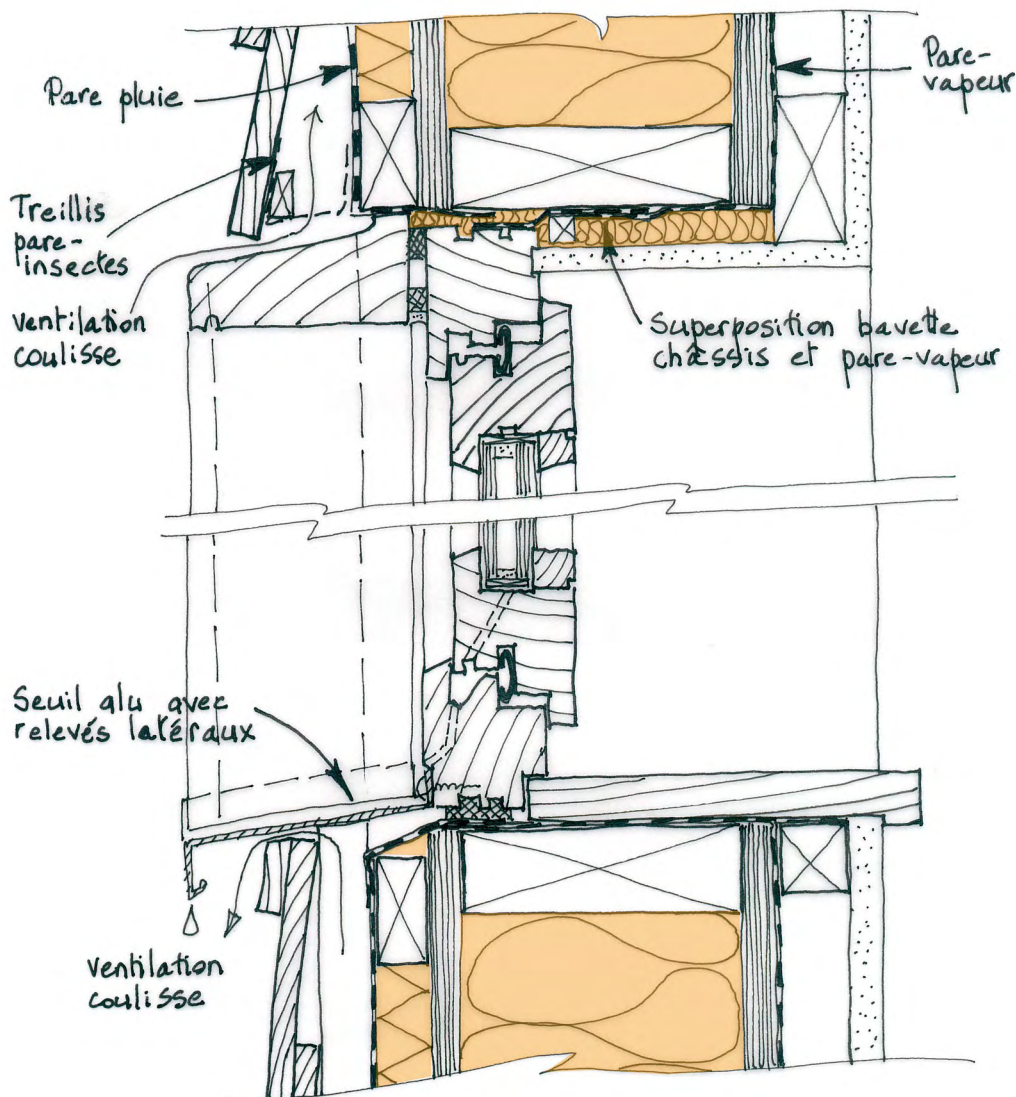


LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



VUE EN PLAN ET COUPE DE PRIN- CIPALE DANS UNE BAIE (RACCORD PAROI-BAIE)

Ceci est un exemple ; il y a bien d'autres solutions. Dans ce cas de pose oblique des bardages, nous estimons que le recueil des eaux ruisselant obliquement et la qualité de la finition du tour des baies nécessite un précadre. Celui-ci n'est pas toujours nécessaire comme tel mais la finition des baies est toujours à soigner. Si le châssis est en bois ou aluminium, on pourrait également imaginer un cadre métallique, placé extérieurement par rapport à l'isolation thermique.



VUE AXONOMÉTRIQUE
DU PRÉCADRE

Ces détails étant préparés, le projet peut être entamé, quitte à revoir certains détails ou avoir d'autres solutions compatibles avec les performances à atteindre.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

LES PERFORMANCES DU MUR À OSSATURE

Pour avancer dans le choix de la structure porteuse, un tableau reprenant les performances des deux systèmes des parois ossaturées est présenté ci-après. Celui-ci peut aider dans le choix du système.

On remarque malgré tout que les deux systèmes présentent des performances assez similaires et le choix sera plus généralement une question d'affinité des intervenants dans l'acte de bâtir que réellement un choix par rapport à des performances spécifiques.

PERFORMANCES DES MURS À OSSATURE		MURS À OSSATURE MÉTALLIQUE	MURS À OSSATURE BOIS
FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT			
EAU	Eau	Zone 1 : soit la peau est devant une coulisse ventilée (un pare-pluie assure l'étanchéité à l'eau). La coulisse doit être drainée de manière à rejeter l'eau. Si la peau est en bois, les choix des essences, des traitements et des détails architectoniques seront imaginés pour bien ventiler le bois sur ses deux faces. Si la peau est un enduit, il doit impérativement être étanche à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau.	
	Neige		
	Gel		
VAPEUR / AIR	Migration de l'intérieur vers l'extérieur	La connaissance du type de climat intérieur (au point de vue hygrométrique) est essentielle pour la conception et le choix du type de paroi. Plus la pression de vapeur est grande à l'intérieure, plus l'étanchéité à la vapeur et à l'air de la paroi devra être grande. Cette mission est impartie aux zones 2 + 3 et 5.	
	Pénétration de l'air extérieur humide	L'air extérieur peut, dans certains cas, circuler dans la zone 1. Le parement ayant rayonné vers le firmament peut être plus froid que l'air extérieur (surtout dans le cas d'un revêtement métallique), ce qui entraîne la formation de condensation sur sa face intérieure voire dans sa masse. C'est le phénomène de sur-refroidissement. Cette condensation peut geler, peut ruisseler : une évacuation d'eau est alors nécessaire. Les matériaux de parement à face extérieure non perméable à la vapeur, dont la masse peut s'imprégner d'eau de condensation, sont à éviter.	
AIR	Pénétration de l'air extérieur vers l'intérieur	Le pare-pluie ou l'étanchéité à l'eau doit être étanche à l'air pour éviter toute infiltration d'air.	
CHALEUR	Fonction d'isolation thermique $U_{max} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	La zone 2 combinée à la zone 3 réalisent la partie principale de l'isolation thermique. La discontinuité de matériau entre l'ossature (zone 3) et l'isolant (zone 2) demande de tenir compte des surfaces relatives de métal et d'isolant. Le complément par une isolation continue recouvrant l'ossature métallique du côté extérieur est indispensable pour diminuer l'impact de différence de performance important au sein de la paroi.	La zone 2 combinée à la zone 3 réalisent la partie principale de l'isolation thermique. La discontinuité de matériau entre l'ossature (zone 3) et l'isolant (zone 2) demande de tenir compte des surfaces relatives de bois et d'isolant. Le complément par une isolation continue recouvrant l'ossature côté extérieur diminue l'impact de différence de performance au sein de la paroi. Le bois de structure possède une valeur $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$ et a donc un impact assez faible sur cette disparité. L'utilisation de poutre I en bois diminue encore l'impact du bois dans la paroi.
	Fonction d'inertie thermique	Hormis un matériau lourd en finition intérieure, les parois en ossature isolée n'apportent pas d'inertie thermique au bâtiment, ce qui peut être préjudiciable au confort d'été. On peut compenser ce manque d'inertie par l'utilisation de matériaux lourds en plancher ou en paroi intérieure.	

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

PERFORMANCES DES MURS À OSSATURE		MURS À OSSATURE MÉTALLIQUE	MURS À OSSATURE BOIS
FONCTION DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT			
LUMIÈRE	Ambiance lumineuse	Si le bois est apparent à l'intérieur, sa teinte naturelle n'est guère favorable à réfléchir la lumière. Cependant des laques ou des peintures claires peuvent améliorer cet inconvénient. En outre, le jeu des tonalités des diverses essences est un avantage à utiliser en composition architecturale.	
ACOUSTIQUE	Bruit aérien	La combinaison des masses des diverses zones et l'amortissement apporté par la zone 2 est essentiel pour diminuer la transmission du bruit à travers les parois.	
	Bruit d'impact	La combinaison des masses des diverses zones et l'amortissement apporté par la zone 2 est essentiel pour diminuer la transmission des bruits d'impact. Placer un isolant en pose continue sur la face extérieure de l'ossature diminue encore la transmission des bruits d'impact.	
SÉCURITÉ	Sécurité à l'effraction	Une "démontabilité" difficile et bruyante des zones 1 et 2+3 est efficace en guise de dissuasion. Les ouvertures restent le point faible de toute construction.	
	Résistance au feu	Les zones 1 et 4 apportent une protection au feu par des matériaux et produits ignifuges.	
	Réaction au feu	Les zones 1 et 5 apportent la protection par des matériaux de réaction au feu supérieure à celle du bois et l'acier. En cas de parement bois, une épaisseur supérieure à 18 mm est considérée comme difficilement inflammable.	
FONCTION STRUCTURALE			
FONCTION STRUCTURALE	Charges permanentes	Suivant leur fonction vis-à-vis des charges venant des étages et de la toiture, ces parois sont soumises à des charges permanentes importantes ou seulement à leur poids propre.	
	Dilatation et rétrécissement des matériaux	L'acier est un matériau présentant un coefficient de dilatation assez élevé ; il faut éviter les grandes différences de température au sein de la paroi.	Le bois présente des différences de dimensions en fonction de son taux d'humidité ; il faut conserver un taux d'humidité relative de 18% au sein du bois de charpente. Le bois utilisé en ossature est porteur dans le sens des fibres du bois ; c'est le sens dans lequel il présente le plus de stabilité dimensionnelle.
	Charges climatiques	La poussée du vent est toujours présente sur toutes les façades et un système de contreventement doit être en place. Les ossatures étant légères par essence, un ancrage solide aux fondations est nécessaire. Le contreventement est réalisé par : - soit par des panneaux de contreventement sur la face intérieure ou extérieure de l'ossature ; - soit par des feuillards métalliques.	Le contreventement est réalisé par : - soit par des panneaux de contreventement sur la face intérieure de l'ossature ; - soit par des feuillards métalliques ; - soit par des croix de saint-André en bois.
	Charges sismiques	Les ossatures sont des systèmes constructifs qui réagissent bien dans les régions sismiques. Pour améliorer la stabilité en cas de secousses, des renforts d'attaches aux fondations sont prévus afin de reprendre l'effet ressort.	
FONCTION VISUELLE ET TACTILE			
FONCTION VISUELLE ET TACTILE	Aspect intérieur	La zone 5 peut être réalisée avec quasiment tous les matériaux de finition existants sur le marché pour autant que l'on puisse les fixer sur le lattage ou les montants métalliques situés dans la contre-cloison technique (zone 4).	
	Aspect extérieur	La zone 1 peut être réalisée avec quasiment tous les matériaux de parement existants sur le marché pour autant que l'on puisse l'accrocher à l'ossature. Si le choix se porte sur du bois, celui-ci devient gris sous l'action des UV et de la pluie. Pour ralentir cette décoloration, il faut prévoir un traitement de protection anti-UV. Pour éviter cette décoloration, il peindre le bois avec une peinture couvrante colorée (Voir annexe 3).	

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR À OSSATURE

CONDITIONS EXTERNES AU PROJET

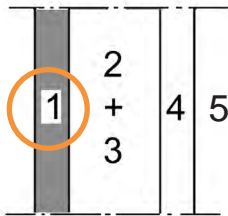
- Climat extérieur ;
- Matériaux disponibles (coût) et techniques de pose ;
- Texture, couleur ;
- Durabilité, entretien ;
- Contraintes urbanistiques d'intégration au site ;
- Contexte réglementaire.

CONDITIONS INTERNES AU PROJET

- Programme et budget ;
- Climat intérieur ;
- Parti architectural.

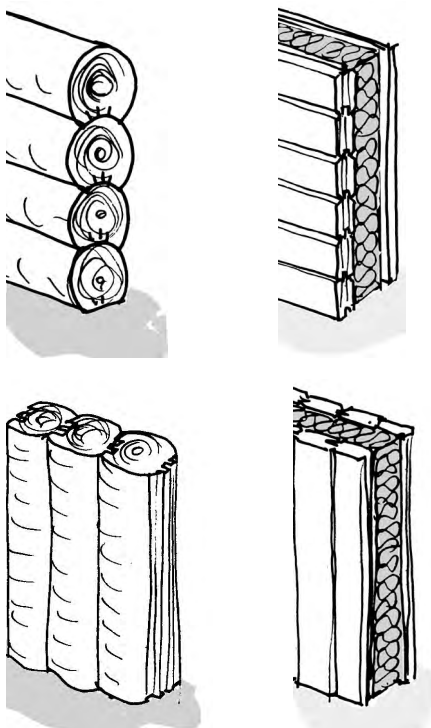
LE CHOIX DU MATÉRIAU BOIS VISIBLE À L'EXTÉRIEUR

- Ceci peut avoir une répercussion sur les choix de la typologie du système de paroi et implique :
- un choix d'essence, un système de protection, des détails architectoniques ;
 - un mode de pose.



LÉGENDE

- 1 Zone de parement extérieur et d'étanchéité à l'eau et au vent.
- 2 Zone isolante, d'étanchéité à l'air et pare-vapeur.
- 3 Zone de structure.
- 4 Zone d'équipement
- 5 Zone de finition extérieure



LE CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET

Nous proposons ici une méthodologie partant de deux options essentielles préalables :

- le système d'ossature est choisi pour réaliser les parois extérieures du bâtiment ;
- le bois est le matériau qui sera principalement vu côté paroi extérieure.

Il s'agit dès lors de choisir parmi les deux options suivantes concernant la structure porteuse du bâtiment :

- 1 La structure sera de type ossature métallique
- 2 La structure sera de type ossature en bois

On le voit, la priorité doit être donnée aux choix des peaux car ils peuvent être déterminants pour la définition des composants.

ZONE 1 : CHOIX DE LA ZONE DE PAREMENT ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR

Le choix de la peau extérieure se fait selon :

- l'aspect souhaité par l'expression architecturale ;
- la contribution à l'étanchéité à l'eau et au vent ;
- l'entretien ;
- la réaction au feu éventuelle ;
- la résistance au feu éventuelle.

LES PEAUX EXTÉRIEURES EN BOIS MASSIF

• BOIS EMPILÉS HORIZONTALEMENT VISIBLES À L'EXTÉRIEUR

Ceci entraîne un mode constructif aux angles, par enture (emboîtement) à mi-bois ou autres, ainsi que des joints étanches à l'eau et l'air entre les matériaux.

Le système à mi-bois par enture avec dépassant aux angles présente cependant comme inconvénient l'augmentation sensible des dimensions hors tout du bâtiment et donc de la toiture qui doit couvrir les assemblages et les abouts des madriers.

De plus, il correspond à une typologie d'habitat très marquée. Le choix de cette technique correspond aux systèmes A, B1 ou B3, sans zone 1.

Pour s'assembler à la zone 4 et aux châssis, des systèmes de coulisse permettant le tassement des madriers empilés doivent être prévus.

• BOIS JUXTAPOSÉS VERTICALEMENT

Des pièces spéciales aux angles solidarisent les parois mais n'ont pas de conséquences sur les dimensions extérieures. Une protection particulière de la base des madriers vis-à-vis de l'humidité ascendante, mais aussi de l'eau de pluie tombant sur le sol doit être prévue.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

Cette technique entraîne le choix des systèmes A, B1 ou B3 sans zone 1.

LES PEaux EXTÉRIEURES EN BARDAGE DE CLINS, DE BARDEAUX DE BOIS, DE PANNEAUX, ETC.

Le lattage sous-jacent à ces revêtements de façade dépend du mode de pose choisi et de leurs dimensions.

Pour ce type de peau extérieure, il faut :

- assurer une ventilation sur la face arrière ;
- prévoir un grillage anti-insectes au-dessous du bardage et sur toutes les ouvertures latérales autour de celui-ci ;
- placer un pare-pluie perméable à la vapeur en-dessous du contre-lattage évacuant les eaux vers l'extérieur.
- Si le bardage est ajouré, les grilles anti-insectes n'ont plus d'utilité. Par contre, le placement d'une membrane pare-pluie anti-UV est primordial.

Ce type de zone 1 est compatible avec tous les systèmes A, B, C ainsi qu'avec tout autre type de parois. Cependant, si on le combine avec A ou B (A + zone 1 et B + zone 1), il faut, dans les angles et aux liaisons avec les murs de refends, disposer de systèmes de jonctions par assemblage non débordant du plan de la paroi.

LES PEaux EXTÉRIEURES EN BARDAGES LÉGERS AUTRES QUE LE BOIS

Les matériaux sont variés. Il s'agit de :

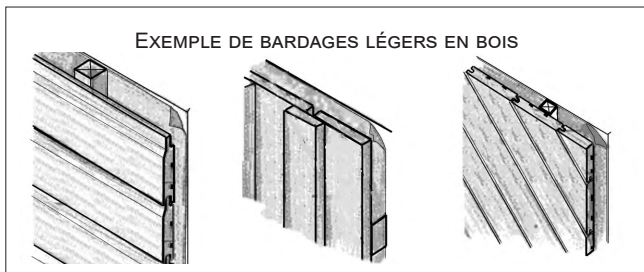
- fibres-ciment en plaques (planes ou ondulées), en clins ou en bardeaux ;
- tôles diverses : zinc, cuivre, acier inoxydable à agrafes (idem bois ou systèmes d'accrochage spécifiques) mais il faut prévoir l'évacuation d'une condensation éventuelle sur la face arrière du matériau. Dans le cas de bardages en métal, il faut privilégier l'accrochage par profilés métalliques adéquats afin d'éviter toute incompatibilité de matériaux ;
- matériaux composites légers.

LES PEaux EXTÉRIEURES EN MAÇONNERIE

Il s'agit de maçonneries diverses, de béton préfabriqué. Ces systèmes sont soit auto-portants mais accrochés régulièrement à la partie structurale en bois, soit attachés et supportés par la structure en bois.

LES PEaux EXTÉRIEURES COLLÉES OU EN CRÉPI

Il s'agit de tous les crépis et parements collés (pierres reconstituées, plaquettes de briques, etc.) généralement appliqués sur des panneaux d'isolation fixés de manière continue sur l'ossature. Ces parements demandent une grande rigueur de mise en œuvre afin d'éviter toutes fissurations et infiltrations d'eau dans le parement car celui-ci, contrairement aux autres parements décrits précédemment, est en contact direct avec la zone 2 + 3.

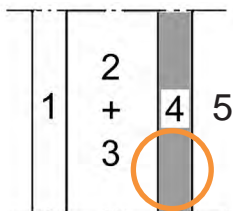


COMBINAISON DE DIFFÉRENTES PEaux EXTERNES

Une combinaison de différentes peaux externes est possible : une bonne étude architectonique est cependant nécessaire car les épaisseurs des parois sont souvent très différentes en fonction du type de peau choisi, ainsi que des systèmes porteur et isolant qui y sont combinés.

CAS DE MADRIERS HORIZONTAUX

Le tassement de ceux-ci doit être rendu possible entre la maçonnerie ou le bardage par des attaches à coulisse verticale entre la maçonnerie ou le bardage et la paroi bois et par des joints de tassement.



REMARQUES

- Une épaisseur (profondeur) suffisante de la zone 4 est nécessaire pour la pose des boîtes électriques classiques pour ne pas percer le pare vapeur (largeur de la coulisse : de 45 à 60 mm minimum) ;
- Dans le cas de bois massif apparent à l'intérieur, lorsque l'épaisseur des madriers le permet, on peut envisager d'intégrer des gaines forées dans la paroi ;
- La technique qui consiste à passer des gaines de l'extérieur vers l'intérieur et à établir une étanchéité à l'air efficace et durable à l'endroit des perforations est pensable pour tous les systèmes avec une zone 1 effective.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

En outre, la transmission de la vapeur d'eau doit être vérifiée afin de s'assurer que la zone 1 soit beaucoup plus ouverte (6 à 15 fois plus ouvert [CSTC-15-3]) à la vapeur d'eau que les zones 2, 3, 4 et 5.

REMARQUE :

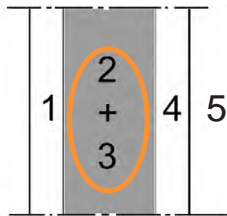
Il faut réaliser un calcul de sollicitation spécifique suivant chaque cas, notamment en ce qui concerne le danger de déversement ou de voilement des parements lourds.

ZONES 4 ET 5: CHOIX DE LA ZONE DE FINITION ET D'ÉQUIPEMENT

Ce choix se fait selon :

- l'aspect souhaité de la finition intérieure (zone 5) ;
- la nécessité de participer ou non à l'étanchéité à la vapeur d'eau et à l'air (zones 4 et 5) ;
- le type d'équipement à intégrer (zone 4) ;
- la performance acoustique souhaitée (zones 4 et 5) ;
- l'entretien (zone 5) ;
- la résistance au feu (zones 4 et 5) ;
- la réaction au feu (zones 4 et 5).

À noter que la zone 4 peut également être isolée et ce, pour autant que la zone 2 + 3 soit au moins deux fois plus isolante que la zone 4.



ZONE 2 + ZONE 3 : CHOIX DES ZONES DE STRUCTURE ET D'ISOLATION

Il existe une infinité de combinaisons pour satisfaire aux performances demandées à une paroi.

Les cinq zones définies dans les chapitres précédents y répondront par leurs fonctions respectives.

Les choix préalables des zones 1 et 5 influenceront pour une part les choix nécessaires pour déterminer la composition des zones 2+3 (c'est-à-dire ISOLATION + STRUCTURE).

Ces zones peuvent être amenées à compléter certaines fonctions des autres zones. La technologie de construction complétera le choix.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

EN RÉSUMÉ

Nous proposons ici des éléments d'appréciation permettant de comparer les deux grands types de parois ossaturées pour répondre à la performance thermique $U = \leq 0,24$ W/m²K (correspondant à la réglementation thermique dès 2017 : voir Annexe 3 de l'AGW PEB du 28 janvier 2016 [GW -16-1]).

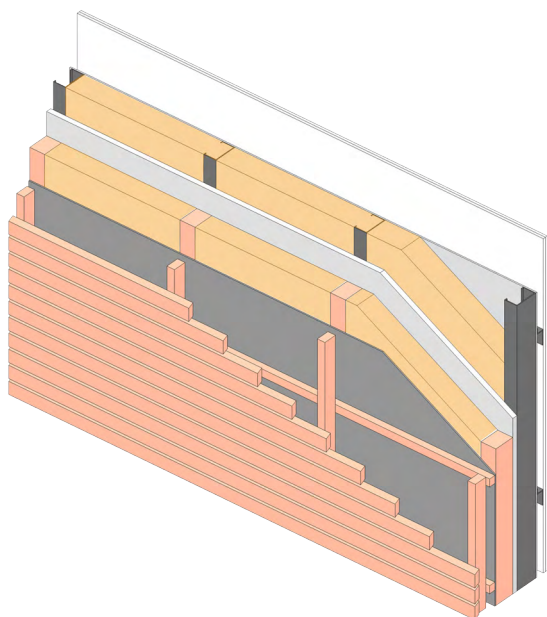
TYPE C1 : PAROI À OSSATURE MÉTALLIQUE ISOLÉE

L'acier joue ici un rôle secondaire dans le comportement thermique de la paroi. Cependant, ses caractéristiques de conductivité thermique ne permettent pas, dans les conditions climatiques tempérées et pour les performances actuellement demandées (normes et législations), d'utiliser des structures traversantes non recouvertes par un isolant complémentaire et ce, malgré les sections très faibles d'acier utilisées. La section des montants verticaux et des linteaux fait généralement 1,2 à 1,5 mm d'épaisseur, tandis que les lisses basses et hautes font généralement 0,7 mm d'épaisseur.

Pour rappel, les parois dans les exemples repris ci-dessous ne peuvent pas être calculées par le logiciel PEB. Il faut dès lors utiliser une méthode de calcul alternative que la Région Wallonne reconnaît comme étant valable pour le calcul de la performance énergétique de la paroi. Dans les cas présentés, le logiciel utilisé pour calculer les déperditions thermiques au travers des parois est le logiciel TRISCO-3D.

	MUR À OSSATURE
Isolation thermique	X
Diffusion de la vapeur d'eau	X
Étanchéité à l'eau	X
Étanchéité à l'air	X
Création d'ouvertures	
Transmission structurelle	X
Encombrement	
Mise en oeuvre	X

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Paroi ossaturée en acier avec coulisse ventilée :

Zone 1 : Bardage bois, lattage et contre-lattage et pare-pluie parfaitement continu fixé à la structure en bois

Zone 2 + 3 :

- Isolant en PUR – $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$ – épaisseur 80 mm inséré dans une structure en bois suspendue à l'ossature (zone 2)
- Panneau de contreventement en fibre de bois – $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$ – épaisseur 16 mm (zone 2)
- Structure métallique verticale :
 - o Profilé en acier galvanisé tous les 60 cm – $\lambda = 50 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 ou 150 mm (zone 3)
 - o Remplissage en laine minérale – $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 mm (zone 2)

Zone 4 : Contre-cloison technique en structure métallique horizontale d'épaisseur 30 mm + pare-vapeur

Zone 5 : Double plaque de plâtre d'une épaisseur totale de 25 mm (2 x 12,5 mm)

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE MÉTALLIQUE AVEC UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC BARDAGE

COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)		ÉPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
	EP. OSSATURE 89 MM	EP. OSSATURE 150 MM		
Bardage	U = 0,236 W/m²K	U = 0,206 W/m²K	29 ou 35 cm	(1) (3)
Coulisse ventilée + pare-pluie				
PUR panneau continu 8 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Bardage	U = 0,195 W/m²K	U = 0,174 W/m²K	33 ou 39 cm	(1) (3)
Coulisse ventilée + pare-pluie				
PUR panneau continu 12 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Bardage	L'isolation rapportée est trop épaisse pour une ossature de 89 mm de large.	U = 0,151 W/m²K	43 cm	(1) (3)
Coulisse ventilée + pare-pluie				
PUR panneau continu 16 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				

(*) valeur calculée avec le logiciel TRISCO 3D - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures

(1) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur

(2) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large

(3) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE MÉTALLIQUE AVEC UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC BRIQUES DE PAREMENT				
COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)		ÉPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
	EP. OSSATURE 89 MM	EP. OSSATURE 150 MM		
Brique de parement	U = 0,163 W/m²K	U = 0,145 W/m²K	36 ou 42 cm	(1) (2)
Vide ventilé minimum 3 cm				
PUR panneau continu 8 cm $\lambda = 0,023$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Brique de parement	U = 0,127 W/m²K	U = 0,115 W/m²K	40 ou 46 cm	(1) (2)
Vide ventilé minimum 3 cm				
PUR panneau continu 12 cm $\lambda = 0,023$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Brique de parement	L'isolation rapportée est trop épaisse pour une ossature de 89 mm de large.	U = 0,096 W/m²K	50 cm	(1) (2)
Vide ventilé minimum 3 cm				
PUR panneau continu 16 cm $\lambda = 0,023$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et PUR projeté $\lambda = 0,028$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				

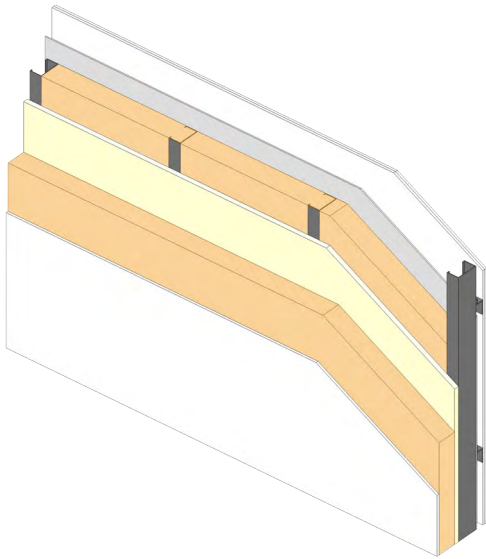
(*) valeur calculée avec le logiciel TRISCO 3D - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures

(1) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur

(2) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large

(3) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Paroi ossaturée en acier sans coulisse ventilée :

Zone 1 : Crépi d'épaisseur de +/-8 mm

Zone 2 + 3 :

- Isolant EPS graphité – $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$ – épaisseur 80 mm (zone 2)
- Panneau de contreventement en fibre de bois – $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$ – épaisseur 16 mm (zone 2)
- Structure métallique verticale :
 - o Profilé en acier galvanisé tous les 60 cm – $\lambda = 50 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 ou 150 mm (zone 3)
 - o Remplissage en laine minérale – $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ – épaisseur 89 ou 150 mm (zone 2)

Zone 4 : Contre-cloison technique en structure métallique horizontale d'épaisseur de 30 mm + pare-vapeur

Zone 5 : Double plaque de plâtre d'une épaisseur totale de 25 mm (2 x 12,5 mm)

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE MÉTALLIQUE SANS COULISSE VENTILÉE, AVEC DU CRÉPI SUR EPS

COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)		ÉPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
	EP. OSSATURE 89 MM	EP. OSSATURE 150 MM		
Crépi	U = 0,210 W/m²K	U = 0,185 W/m²K	25 ou 31 cm	(1) (3)
EPS graphité panneau continu 8 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre	U = 0,166 W/m²K	U = 0,150 W/m²K	29 ou 35 cm	(1) (3)
Crépi				
EPS graphité panneau continu 12 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre	L'isolation rapportée est trop épaisse pour une ossature de 89 mm de large.	U = 0,126 W/m²K	39 cm	(1) (3)
Crépi				
EPS graphité panneau continu 16 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				

(*) valeur calculée avec le logiciel TRISCO 3D - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures

(1) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur

(2) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large

(3) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE MÉTALLIQUE SANS COULISSE VENTILÉE, AVEC DU CRÉPI SUR FIBRE DE BOIS				
COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)		ÉPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
	EP. OSSATURE 89 MM	EP. OSSATURE 150 MM		
Crépi	Il est difficile d'insuffler l'isolation thermique dans une ossature de seulement 89 mm d'épaisseur.	$U = 0,219$ W/m²K	31 cm	(1) (3)
Fibre bois panneau continu 8 cm $\lambda = 0,043$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,039$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Crépi	Il est difficile d'insuffler l'isolation thermique dans une ossature de seulement 89 mm d'épaisseur.	$U = 0,181$ W/m²K	35 cm	(1) (3)
Fibre bois panneau continu 12 cm $\lambda = 0,043$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,039$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				
Crépi	Il est difficile d'insuffler l'isolation thermique dans une ossature de seulement 89 mm d'épaisseur.	$U = 0,155$ W/m²K	39 cm	(1) (3)
Fibre bois panneau continu 16 cm $\lambda = 0,043$ W/mK				
Panneau de contreventement en DWD 16 mm				
Ossature métallique épaisseur 89 ou 150 mm et MW $\lambda = 0,039$ W/mK				
Membrane pare-vapeur continue				
Cloison technique non isolée 30 mm				
Double plaque de plâtre				

(*) valeur calculée avec le logiciel TRISCO 3D - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures
(1) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur
(2) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large
(3) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

TYPE C2 : PAROI À OSSATURE BOIS ISOLÉE

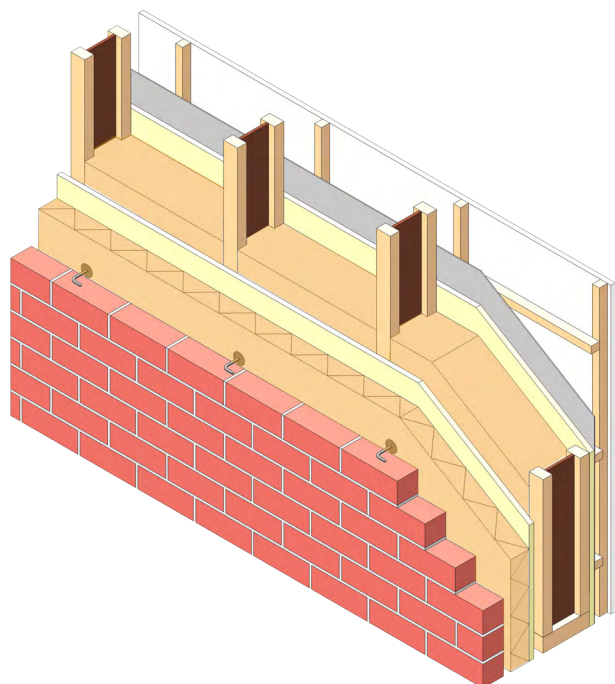
Le bois joue ici un rôle secondaire, voir nul dans le comportement hygrothermique de la paroi. Cependant ses caractéristiques de faible conductivité thermique permettent, dans les conditions climatiques tempérées, et pour les performances actuellement demandées (normes et législations), d'utiliser des structures traversantes en limitant les ponts thermiques.

Pour minimiser encore plus ce manque d'homogénéité dans la paroi, on place une couche continue d'isolation sur la face extérieure de l'ossature afin d'homogénéiser la performance globale de la paroi. La section des montants sera de l'ordre de 45 mm x 140 mm au minimum et pourra aller jusqu'à 300 mm, voire 400 mm de profondeur dans certains cas [CSTC-15-3].

FRACTION DE BOIS		LARGEUR DE L'ÉLÉMENT EN BOIS [MM]			
		38	45	48	50
Entraxe [mm]	300	13 %	15 %	16 %	17 %
	400	10 %	11 %	12 %	13 %
	600	6 %	8 %	8 %	8 %

FRACTION DE BOIS CALCULÉE EN FONCTION DE L'ENTRAXE ET DE LA LARGEUR DES ÉLÉMENTS EN BOIS [CSTC-15-3]

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Dans le cadre de la PEB, des valeurs par défaut sont données dans la réglementation pour les fractions de bois à considérer en fonction du type de construction. Pour les parois à ossature, la fraction par défaut est de 15 % de bois.

Paroi ossaturée en bois avec coulisse ventilée :

Zone 1 : Parement extérieur avec lame d'air fortement ventilée d'au moins 30 mm d'épaisseur

Zone 2 + 3 :

- Isolation rapportée éventuelle (zone 3)
- Structure en bois :
 - o Ossature en bois d'entraxe de 60 cm – $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$ – épaisseur variable (zone 3)
 - o Remplissage en isolation souple ou en vrac (zone 2)
- Panneau de contreventement de type OSB ou similaire – 15 mm d'épaisseur (zone 3)

Zone 4 (+ 2) : Contre-cloison technique en ossature bois d'épaisseur variable éventuellement isolée (50 mm à 78 mm d'épaisseur) + pare-vapeur

Zone 5 : Finition intérieure

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE BOIS AVEC UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC BRIQUES DE PAREMENT

COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)	EPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
Brique de parement	U = 0,23 W/m²K	40 cm	(1) (2) (3)
Vide ventilé minimum 3 cm			
Pare-pluie fixé sur l'ossature			
Ossature en bois massif et MW 18 cm $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre	U = 0,10 W/m²K	50 cm	(2) (3)
Brique de parement			
Vide ventilé minimum 3 cm			
PUR panneau continu 8 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$			
Ossature en poutre I en bois et PUR projeté 20 cm $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre			

(*) valeur calculée avec le logiciel TRISCO 3D - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures

(1) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur

(2) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large

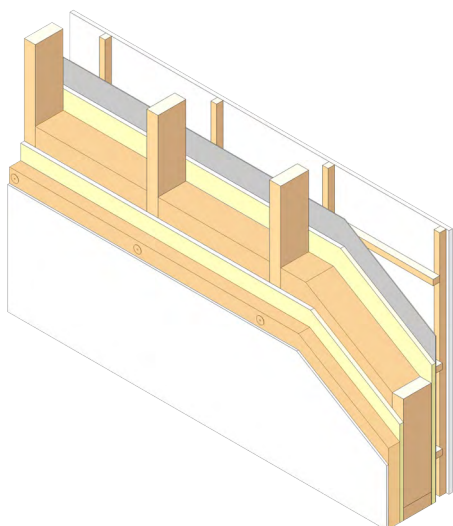
(3) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

(4) Résultat non communiqué car l'isolation rapportée est trop épaisse pour une ossature de 89 mm de large

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE BOIS AVEC UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC BARDAGE			
COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)	EPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
Bardage	U = 0,24 W/m ² K	32,5 cm	(2) (4)
Vide ventilé minimum 3 cm			
Panneaux en fibre de bois pare-pluie 3,5 cm $\lambda = 0,05$ W/mK			
Ossature en bois massif et MW 14 cm $\lambda = 0,035$ W/mK			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre			
Bardage	U = 0,15 W/m ² K	35 cm	(2) (4)
Vide ventilé minimum 3 cm			
PUR panneau continu 6 cm $\lambda = 0,023$ W/mK			
Ossature en poutre I en bois et PUR projeté 14 cm $\lambda = 0,028$ W/mK			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre			
(*) valeur calculée avec le logiciel PEB version 6.5.1 - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures (1) Plus défavorable comme conception de mur car aucune couche avec un isolant continu n'a été inséré dans la paroi (2) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur (3) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large (4) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations			

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE (TYPE C)



Paroi ossaturée en bois sans coulisse ventilée :

Zone 1 : Crépi ou parement collé sur isolant

Zone 2 + 3 :

- Panneau d'isolation servant de support au parement extérieur (zone 2)
- Panneau de contreventement en DWD 16 mm (zone 3)
- Structure en bois :
 - o Ossature en bois d'entraxe de 60 cm – $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$ – épaisseur variable (zone 3)
 - o Remplissage en isolation souple ou en vrac (zone 2)
- Panneau de contreventement de type OSB ou similaire – 15 mm d'épaisseur (zone 3)

Zone 4 (+ 2) : Contre-cloison technique en ossature bois d'épaisseur variable éventuellement isolée (50 mm à 78 mm d'épaisseur)

Zone 5 : Finition intérieure

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE BOIS SANS UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC CRÉPI SUR ISOLANT

COUCHES MURS	PERFORMANCE THERMIQUE (*)	EPAISSEUR TOTALE	REMARQUES
Crépi	U = 0,22 W/m²K	28 cm	(2) (4)
Panneaux en fibre de bois 6 cm $\lambda = 0,044 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en DWD 16 mm			
Ossature en bois massif et cellulose soufflée 14 cm $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre	U = 0,12 W/m²K	41 cm	(2) (4)
Crépi			
EPS graphité panneau continu 8 cm $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en DWD 16 mm			
Ossature en poutre I en bois et MW 24 cm $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée	U = 0,09 W/m²K	56 cm	(2) (4)
Plaque de plâtre			
Crépi			
Panneaux en fibre de bois 16 cm $\lambda = 0,044 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en DWD 16 mm			
Ossature en poutre I en bois et MW 30 cm $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur	U = 0,19 W/m²K	44 cm	(2) (3)
Cloison technique non isolée en fibre de bois 6 cm $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$			
Plaque de plâtre			

EXEMPLES DE MURS EN OSSATURE BOIS SANS UNE COULISSE VENTILÉE, AVEC PIERRES

Pierres de parement posées sur fondation	U = 0,19 W/m²K	44 cm	(2) (3)
Membrane d'étanchéité drainante			
PUR panneau continu 4 cm $\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$			
Ossature en bois massif et MW 14 cm $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$			
Panneau de contreventement en OSB4 et pare-vapeur			
Cloison technique non isolée			
Plaque de plâtre			

(*) valeur calculée avec le logiciel PEB version 6.5.1 - Le parement n'influence que très peu les résultats dans le cadre des ossatures

(1) Plus défavorable comme conception de mur car aucune couche avec un isolant continu n'a été insérée dans la paroi

(2) Il faut toujours vérifier que la perméabilité à la vapeur d'eau des différentes couches est bien croissante de l'intérieur vers l'extérieur

(3) Technique de mur avec un parement lourd nécessitant une fondation plus large

(4) Technique du mur bardé ou crépi permettant de réduire l'épaisseur des fondations

CHRONOLOGIE DE POSE

En général, la pose de la structure des parois précède tout le reste. Sauf dans le cas de parois d'ossature fermées préfabriquées, l'isolation thermique est posée après raidissement de l'ensemble et mise sous toit du bâtiment.

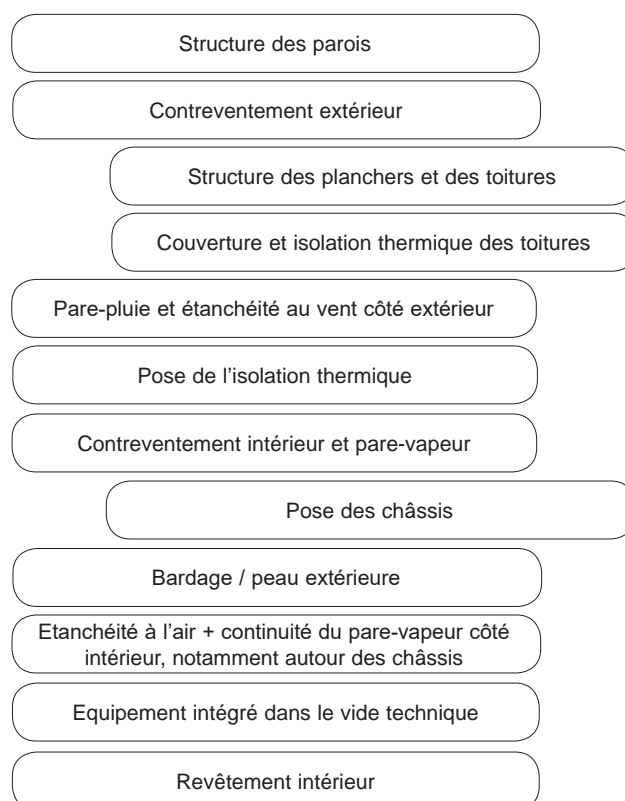
La pose du pare-vapeur éventuel lui est combinée. Ce pare-vapeur doit être étanche et continu. On veillera à ne pas le déchirer par la suite.

Si, contrairement à l'habitude, le panneau de contreventement est placé du côté extérieur, l'étanchéité au vent des joints entre panneaux de contreventement se fait avant la pose du bardage ou du revêtement de façade.

Côté intérieur, l'étanchéité à l'air sera faite simultanément à la pose du pare-vapeur et toujours avant la pose de la zone 4.

Un des plus grands avantages de l'ossature bois ou métallique est la possibilité de préfabrication en atelier qui permet de travailler avec précision, au sec. Les monteurs d'ossature essaient donc de préfabriquer un maximum leur système en atelier pour gagner du temps. Actuellement, certains monteurs sont capables de préfabriquer des murs entiers avec finition intérieure et parement extérieur installés ; ils n'ont dès lors plus que des raccords à effectuer sur chantier.

Le système de construction à ossature nécessite une préparation préalable beaucoup importante qu'en construction traditionnelle. Par contre, sur chantier, la mise en œuvre est beaucoup plus rapide qu'en construction traditionnelle.



CONCLUSION

Pour concevoir un mur en ossature, il faudra toujours considérer les éléments du tableau repris ci-contre comme prépondérants dans le processus de conception du bâtiment.

6 critères apparaissent comme éléments décisifs dans la conception d'un mur en ossature :

- L'**isolation thermique**, la **transmission de la vapeur d'eau** et l'**étanchéité à l'air** : ces trois éléments sont intimement liés dans le processus de conception d'un mur en ossature. Etant donné que l'ossature n'est pas une couche homogène, il faut veiller qu'au niveau des montants d'ossature, il n'y ait pas de faiblesse au niveau de ces trois points qui risque d'engendrer des désordres au sein de la paroi.
- La **transmission structurelle** est également importante car le calcul des reprises de charges doit être adapté aux calculs d'ossature et la volonté de poser le pare-vapeur de manière parfaitement continue peut parfois être en contradiction avec la reprise des charges. Il est important d'apporter une attention particulière aux nœuds constructifs pour assurer la reprise des charges et la continuité du pare-vapeur. D'autre part, une ossature est généralement plus légère qu'une construction traditionnelle ; on peut dès lors plus facilement construire sur des mauvais terrains ou des terrains difficilement accessibles.
- L'**étanchéité à l'eau** apparaît également comme étant un critère important au niveau du choix de la finition extérieure du mur à ossature. Toutes infiltrations d'eau est préjudiciable pour la durabilité de l'ossature isolée. Ce choix dépend des critères suivants : esthétique, contraintes urbanistiques, durabilité, entretien et structure d'accroche du parement.
- La rapidité de **mise en œuvre** : c'est un grand avantage de la construction en ossature si et seulement si une étude préalable de tous les points repris ci-avant a été minutieusement réalisée.

Les 2 autres critères sont moins décisifs dans la conception d'un mur en ossature car :

- Pour la création de baies, il suffit de prévoir un encadrement adapté à l'ouverture. Si la baie est de grande taille, on utilise une ossature plus imposante en utilisant un système permettant de franchir de plus grandes portées (poteaux-poutres).
- Pour l'encombrement, étant donné que quasiment toutes les couches d'une ossature peuvent être isolées, c'est le système le mieux adapté pour réaliser des murs performants en épaisseur raisonnable.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)

HISTORIQUE	163
TPOLOGIES DES MURS-RIDEAUX	163
LES PERFORMANCES DU MUR-RIDEAU	164
CONCLUSION	168

HISTORIQUE

La notion de mur-rideau telle qu'elle est employée actuellement signifie exclusivement : mur extérieur non porteur (la plupart du temps fixé comme une plaque à des poutres qu'il cache), dont la seule fonction est de protéger un espace du milieu extérieur. Ces murs rideaux, souvent réalisés en verre (ils restent rideaux cependant, car le verre est teinté) et composés d'éléments modulaires répétés, sont devenus comme un tic de la modernité.

Le mur-rideau est le produit du développement de l'industrie métallurgique, mais aussi de la production du verre et notamment de la croissance progressive de la solidité et de la grandeur de la surface des plaques de verre. Son but est essentiellement économique (finesse, pour une plus grande surface au sol ; légèreté, pour une plus grande disponibilité de la construction en hauteur).

TPOLOGIES DES MURS-RIDEAUX

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.

ATTENTION

Pour respecter la réglementation énergétique en vigueur (cf. AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2]), il faut rappeler :

- que le mur-rideau lui-même (ensemble châssis et partie transparente) doit avoir un coefficient de transmission thermique $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- que le vitrage des murs-rideaux doit avoir un $U \leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

De plus, le critère du niveau d'isolation thermique globale $K \leq 35$ doit être également respecté, ce qui peut s'avérer parfois difficile si le mur-rideau se déploie sur une grande superficie et si les coefficients de transmission thermique de ces différentes parties restent élevés.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)



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 remplissage assure l'isolation thermique du bâtiment.



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 et assurent l'isolation thermique du bâtiment.

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 la 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

Le verre 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.

Les éléments vitrés assurent l'étanchéité et l'isolation thermique du bâtiment. Une étude particulière doit être réalisée afin de gérer les apports solaires pour éviter les risques de surchauffe.

LES PERFORMANCES DU MUR-RIDEAU

ATTENTION : pour respecter la réglementation PEB en vigueur (cf. les AGW PEB du 28/01/16 [GW -16-1] et du 15/12/16 [GW -16-2]), il faut rappeler que :

- le mur-rideau lui-même doit avoir un coefficient de transmission thermique $U \leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- le critère du niveau K doit également être respecté, ce qui peut s'avérer difficile si le mur-rideau se déploie sur une grande superficie et si son U, même $\leq 2 \text{ W/m}^2\text{K}$, reste élevé.

AVANTAGES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES

- préfabrication industrielle permettant une grande vitesse de mise en œuvre ;
- 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 ;
- entretien réduit (exception faite du nettoyage des vitres si mur rideau vitré) ;
- larges possibilités d'adaptation au niveau du concept architectural (rénovation facile et rapide).

- 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.

LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)

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 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 absorbeur 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.

On parvient à réduire ces désordres en recouvrant la face interne des raidisseurs d'un isolant : mousse de polystyrène, par exemple. La ventilation correcte du bâtiment aide également à réguler l'humidité présente dans l'air.

La sécurité au feu des murs-rideaux est abordée dans l'annexe 2.

• 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 p. 44.

• 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 aux pp. 52 et 53.

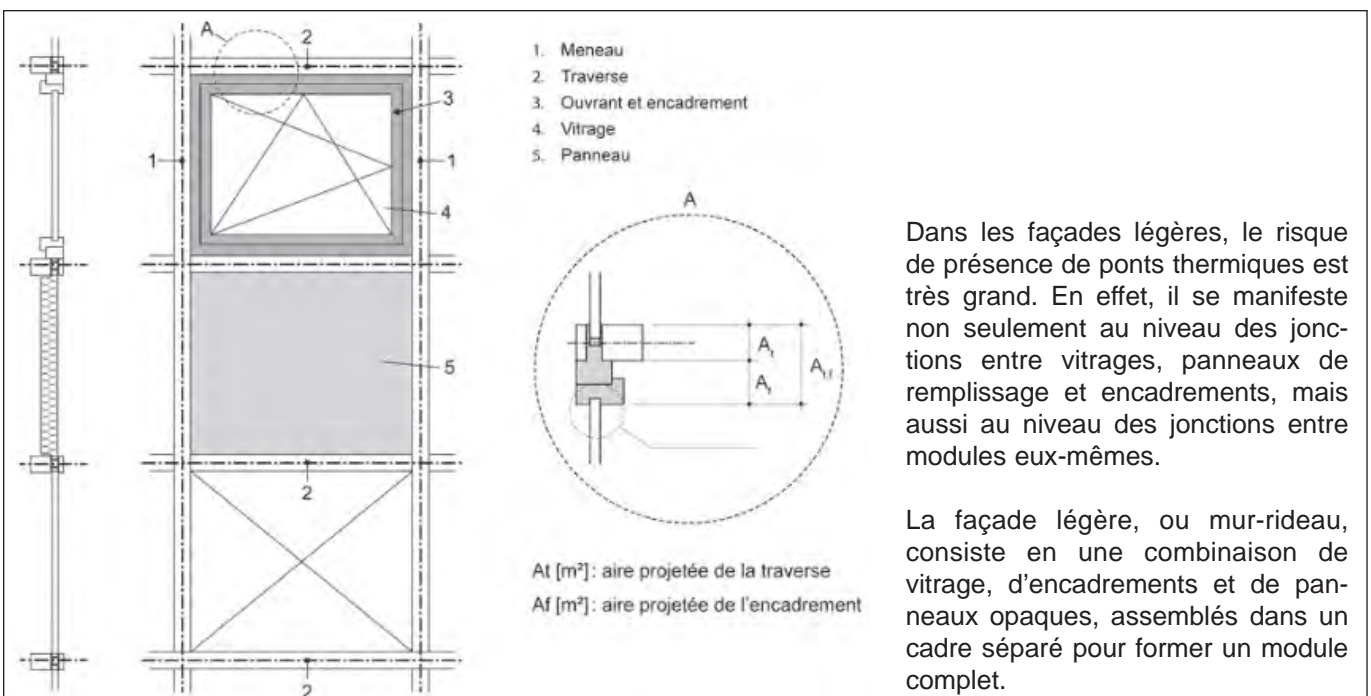
• Condensation interne

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 perméable à la vapeur*, 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.



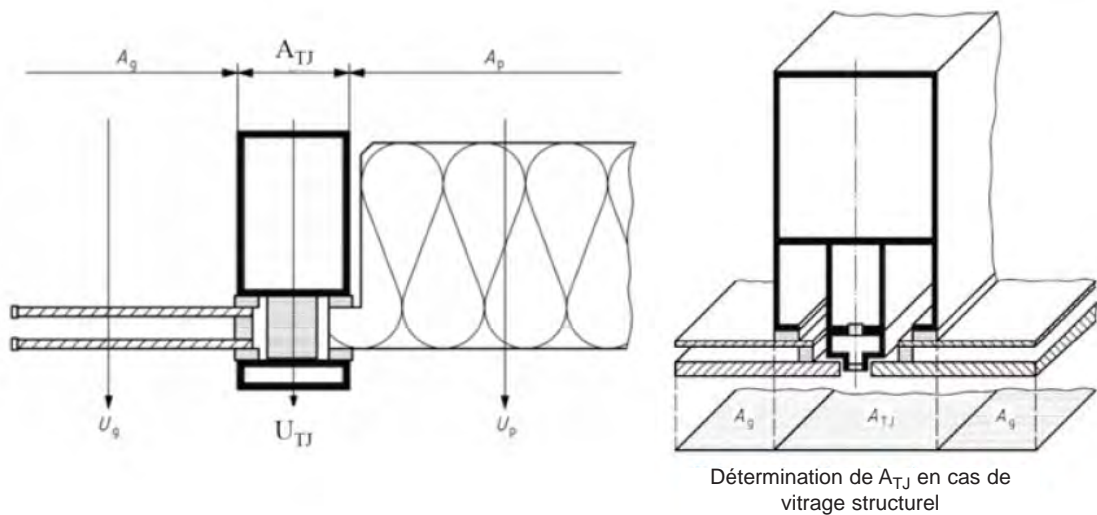
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)

• Calcul des murs-rideaux dans la PEB

Etant donné la complexité des murs-rideaux, il est recommandé de demander au fabricant de fournir le coefficient de transmission thermique de leur module suivant une des 3 méthodes de calcul préconisées par la réglementation PEB.

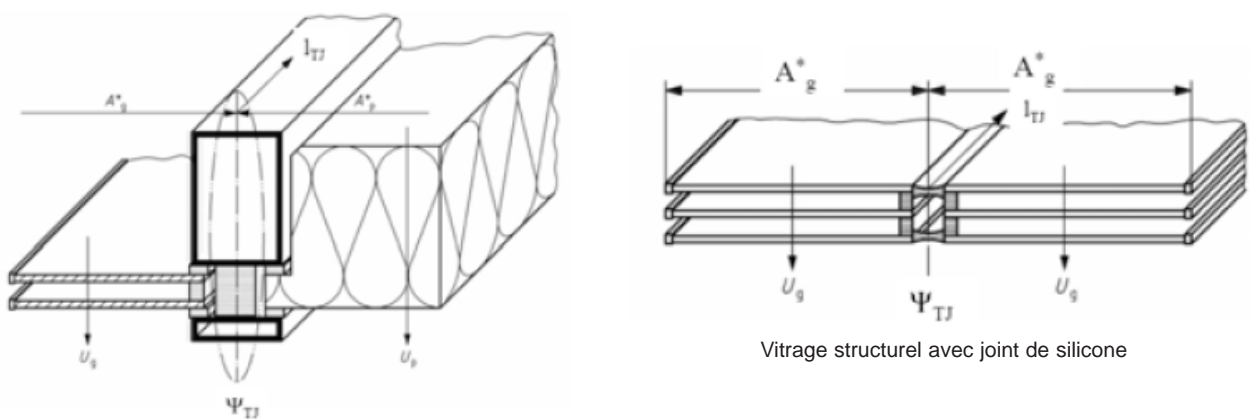
- La méthode des modules / liaisons comme éléments séparés

Chaque liaison est considérée comme un élément de façade ayant une aire propre. La valeur U de la liaison est déterminée sur la base du flux de déperdition calorifique total, en utilisant un logiciel de simulation de transmission thermique de type Trisco, etc. comme il a été fait usage dans l'exemple du mur à ossature métallique (voir pp. 125 à 133).



- La méthode des modules / liaisons comme ponts thermiques

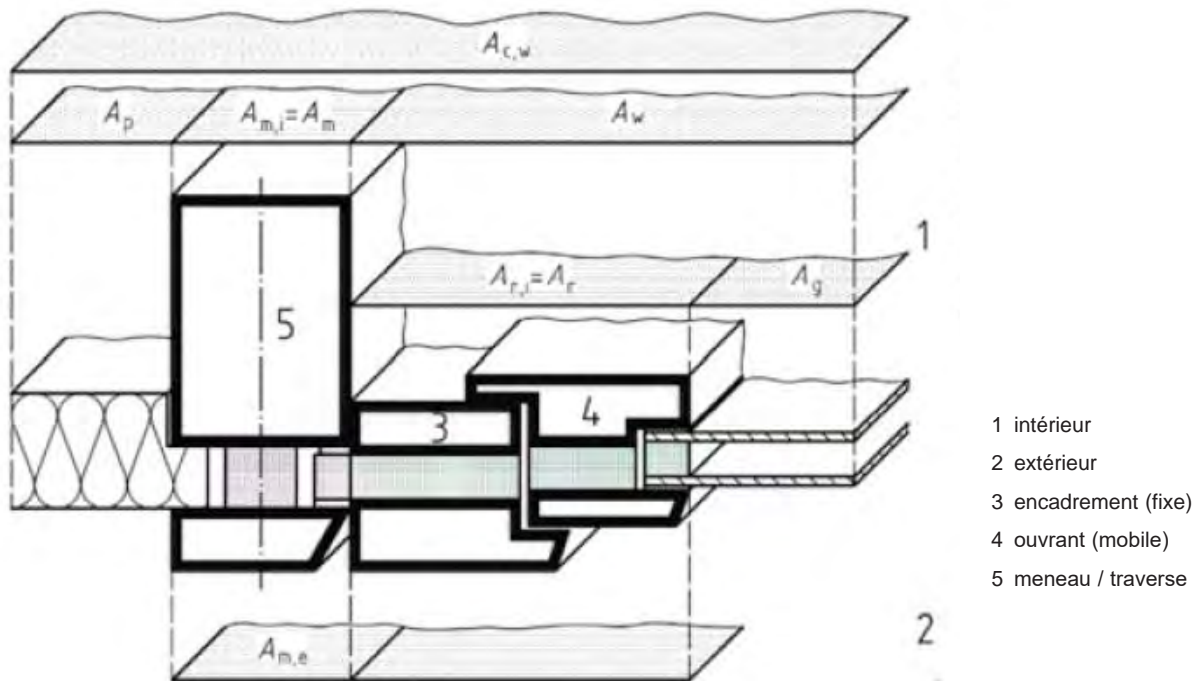
Chaque liaison est considérée comme un pont thermique linéaire ayant une longueur connue propre et une valeur ψ à chercher sur base du flux total de chaleur calculé numériquement avec un logiciel de type Trisco...



LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)

- La méthode des composants

Chaque module est divisé en sous-composants ayant des aires propres et des valeurs U propres également, à calculer avec le logiciel PEB.



CONCLUSION

	MUR-RIDEAU
Isolation thermique	X
Diffusion de la vapeur d'eau	
Étanchéité à l'eau	X
Étanchéité à l'air	X
Création d'ouvertures	
Transmission structurelle	X
Encombrement	
Mise en oeuvre	X

Pour concevoir un mur rideau, il faudra toujours considérer les éléments du tableau repris ci-contre comme prépondérants dans le processus de conception du bâtiment.

5 critères apparaissent comme éléments décisifs dans la conception d'un mur rideau :

- L'**isolation thermique**, l'**étanchéité à l'air** et l'**étanchéité à l'eau** : ces trois éléments sont intimement liés dans le processus de conception et de fabrication d'un mur rideau car la peau extérieure forme un tout qui doit assurer les trois critères cités.
- La **transmission structurelle** est très spécifique dans le mur rideau car elle intervient en deux points :
 - La stabilité de l'ouvrage est assurée par une structure indépendante de la façade légère formée par le mur rideau ;
 - La stabilité de la façade légère est soit auto-stable, soit la façade légère est suspendue à la structure principale du bâtiment et n'a aucune fonction structurelle.
- La rapidité et la modularité de **mise en oeuvre** : c'est un grand avantage de la construction des façades légères car, dès que la structure principale du bâtiment est en place, les éléments généralement répétitifs du mur rideau peuvent être assemblés très rapidement sur chantier.

Les 2 autres critères sont moins décisifs dans la conception d'un mur rideau car :

- Il n'y a pas réellement de création de **baies** car le mur rideau est une grande baie que l'on ouvre ou ferme selon la nécessité.
- La notion d'**encombrement** n'intervient pas au niveau de la façade mais bien au niveau de la structure interne du bâtiment.

- [ARCHI-16] ARCHITECTURE ET CLIMAT (2016), *Energie+ : réduire la consommation des bâtiments tertiaire. Un outil d'aide à la décision pour le Responsable Energie*, SPW - DGO4
- [CSTB-14] CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) (2014), *Isolation thermique extérieure par enduit sur isolant PSE – Guide développement durable*, Editions CSTB
- [CSTC-90] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1990), *NIT 180 Le traitement curatif du bois dans le bâtiment*
- [CSTC-93] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1993), *NIT 188 La pose des menuiseries extérieures*
- [CSTC-98-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *L'isolation thermique des murs pleins*
- [CSTC-98-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *NIT 210 L'humidité dans les constructions. Particularités de l'humidité ascendante*
- [CSTC-00] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2000), *NIT 215 La toiture plate : composition - matériaux - réalisation – entretien*
- [CSTC-11] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2011), *NIT 243 Les revêtements de façade en bois et en panneaux à base de bois*
- [CSTC-12] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2012), *NIT 246 Postisolation des murs creux par remplissage de la coulisse*
- [CSTC-14-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2014), *NIT 251 L'isolation thermique des toitures à versants*
- [CSTC-15-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2015), *Rôle des détails constructifs dans l'isolation acoustique des bâtiments*, CSTC-Contact n°45, 1/2015
- [CSTC-15-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2015), *NIT 255 L'étanchéité à l'air des bâtiments*
- [CSTC-15-3] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2015), *STS23-1 Constructions en ossature bois*, Editeur : SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie
- [DECA-11] DECAESSTECKER C., MICHAUX B., (2011) *L'entretien des menuiseries extérieures en bois*, parution dans CSTC-Information et Assistance, CSTC-Contact n°10 (2-2006), mise à jour en 2011
- [DEME-09] DEMESMAECKER P. (2009), *L'isolation thermique des murs existants*, CSTC-Contact n° 23 (3-2009)
- [FFPC-01-1] FFPC (Fonds de Formation Professionnelle de la Construction), CIFFUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège) (2001), *Méthodes de construction du gros-oeuvre - toitures plates et inclinées*, 1^e partie, 2001
- [FFPC-01-2] FFPC (Fonds de Formation Professionnelle de la Construction), CIFFUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège) (2001), *Méthodes de construction du gros-oeuvre - toitures plates et inclinées*, 2^e partie, 2001
- [GALO-10] GALLOZIAUX Th., FEDULLO D. (2010), *Le grand livre de l'Isolation*, Ed. Eyrolles, Paris
- [GAUZ-99] GAUZIN-MÜLLER D. (1999), *Construire avec le bois*, Ed. Le Moniteur, Paris
- [GF -12] GF (Gouvernement Fédéral) (2012), *Arrêté Royal du 12 juillet 2012 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 21/09/2012
- [GREG-09] GREGOIRE Y., GODDERIS E. (2009), *ETICS : l'enduit*, CSTC-Contact n° 24 (4-2009)
- [GW -14] GW (Gouvernement Wallon) (2014), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 mai 2014 déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments*
- [GW -15] GW (Gouvernement Wallon) (2015), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 19 novembre 2015 modifiant l'AGW du 15/05/2014 portant exécution du décret du 28/11/2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [GW -16-1] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 28 janvier 2016 modifiant l'AGW du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [GW -16-2] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 décembre 2016 modifiant l'AGW du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [HAND-82] HANDEGORD G.-O. (1982), *La performance*

- des murs extérieurs, Regard sur la science du bâtiment : *Murs extérieurs : causes et désordres*, Canada
- [HAUG-01] HAUGLUSTAINÉ J.-M. (2001), *Méthode de conception optimisée de l'enveloppe de bâtiment, aux stades préliminaires du projet architectural - Recherche du meilleur projet, privilégiant les performances d'énergie et de coût*, ULg - Thèse de Doctorat
- [HAUG-17-1] HAUGLUSTAINÉ J.-M., SIMON F. (2017), *La rénovation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-2] HAUGLUSTAINÉ J.-M., SIMON F. (2017), *La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-3] HAUGLUSTAINÉ J.-M., SIMON F. (2017), *L'isolation thermique des toitures - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-4] HAUGLUSTAINÉ J.-M., SIMON F. (2017), *La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HERZ-12] HERZOG T., NATTERER J., SCHWEITZER R., VOLZ M., WINTER W. (2012), *Construire en bois*, Presses polytechniques et universitaires romandes
- [HOUT-14] HOUTINFOBOIS (2014), *Bois – Guide pour le bon usage*
- [IBN -80] IBN (Institut Belge de Normalisation) (1980), NBN S21-203, *Protection contre l'incendie dans les bâtiments - Réaction au feu des matériaux - Bâtiments élevés et bâtiments moyens*
- [IBN -94] IBN (Institut Belge de Normalisation) (1994), NBN EN 350 parties 1 et 2 : *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif*
- [IBN -10] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2010), NBN EN 13501- 1+A1, *Classement au feu des produits et éléments de construction - Partie 1: Classement à partir des données d'essais de réaction au feu*
- [IBN -13] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2013), NBN EN 335, *Durabilité du bois et des matériaux à base de bois - Classes d'emploi: définitions, application au bois massif et aux matériaux à base de bois*
- [ICED-15] ICEDD (Institut de Conseils et d'Études en Développement Durable) (2015), *Bilan énergétique de la Wallonie 2013 - Secteur domestique et équi-*
- valents*, SPW - DGO4
- [LANG-02] LANGENDRIES D., SIMON F., ZASTAVNI D. (2002), *Conception de l'architecture avec le bois*, Syllabus du cours AMCO 2386, UCL
- [LONC-13] LONCOUR X., TILMANS A., STESKENS P., ROELS S., VEREECKEN E. (2013), *Isolation des murs existants par l'intérieur : systèmes et dimensionnement*, Les dossiers du CSTC 2013/2.4
- [OLIV-10] OLIVA J.-P., COURGEY S. (2010), *L'isolation thermique écologique : Conception, matériaux, mise en œuvre*, Terre Vivante Editions
- [PAUL-11] PAULIN M. (2011), *Vocabulaire illustré de la construction*, Guide technique, Le Moniteur (2^e édition)
- [SCHU-03] SCHULITZ H.C., SOBEK W., HABERMANN K.J. (2003), *Construire en acier*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse
- [SIMO-95] SIMON F. (1995), *Cours de Composition architectonique et d'Architecture civile*, UCL
- [SIMO-96] SIMON F. (1996), *Technique de rénovation de l'habitat wallon, travail collectif* – UCL – Unité Architecture, Ministère de la Région Wallonne – DGATLP
- [SPWE-17] SPW Energie (Service Public de Wallonie Energie - Direction des bâtiments durables) (2017), *Bilans énergétiques DGO4 - 2014*
- [TILM-12] TILMANS A., STESKENS P., ROELS S., VEREECKEN E. (2012), *Isolation des murs existants par l'intérieur : diagnostic*, Les dossiers du CSTC 2012/4.16
- [UBAT-11] UBAtc (Union Belge des Agréments techniques) (2011), *Murs creux isolés de façade en maçonnerie*
- [VAN -04] VAN DAMME M. (2004), *L'isolation acoustique dans les habitations à ossature en bois*, Les dossiers du CSTC - Cahier n°6 - 1/2004

ANNEXE 1

DONNÉES

HYGROTHERMIQUES

RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE AUX SURFACES ET RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR	171
RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE	171
RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR	172
COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U_w DES FENÊTRES	172
LES PARE-VAPEUR	174
LES PARE-PLUIE	174
DONNÉES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	175
LES MATÉRIAUX ISOLANTS	176

RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE ET RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR

RÉSISTANCE THERMIQUE D'ÉCHANGE

Pour les surfaces planes et en l'absence de toute information spécifique concernant les conditions de bord, les valeurs de conception des résistances thermiques d'échange R_{si} (conditions intérieures) et R_{se} (conditions extérieures) du tableau ci-dessous peuvent être utilisées.

Ces valeurs sont valables pour des surfaces en contact avec de l'air.

	DIRECTION DU FLUX DE CHALEUR		
	Ascendant	Horizontal ⁽¹⁾	Descendant
R_{si} [m ² K/W]	0,10	0,13	0,17
R_{se} [m ² K/W]	0,04	0,04	0,04

⁽¹⁾ Valable pour une direction du flux de chaleur qui ne dévie pas de plus de $\pm 30^\circ$ du plan horizontal

RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE R_{si} ET R_{se} (EN m²K/W)

RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR

La résistance thermique d'une couche d'air est dépendante du type de couche d'air, de la direction du flux thermique à travers la couche d'air, de son épaisseur, de la géométrie et de la pente de la couche d'air, de l'émissivité des surfaces délimitantes et des possibilités de ventilation de la couche d'air.

Suivant les cas, la résistance thermique de la couche d'air peut être déterminée soit avec précision par des essais ou des calculs, soit à l'aide de valeurs par défaut qui peuvent être sélectionnées dans des tableaux.

Dans certains cas, la résistance thermique de la couche d'air ou du creux n'est pas calculée séparément mais est déjà comprise dans la valeur U de l'élément de construction dans lequel cette lame d'air ou ce creux sont présents (c'est le cas par exemple des briques perforées, des blocs creux, des vitrages, des encadrements, ...).

NOTE : Les couches d'air ayant une épaisseur supérieure à 300 mm sont traitées comme des espaces adjacents non-chauffés.

Les différentes valeurs à considérer pour la résistance thermique d'une couche d'air sont détaillées dans l'Annexe 3 de l'AGW PEB du 15 décembre 2016 ([GW -16-2] point 5.4 – Résistance thermique des couches d'air).

EXEMPLE DE RÉSISTANCES THERMIQUES EN (m²K/W) DES COUCHES D'AIR NON VENTILÉES ORDINAIRES, DÉLIMITÉES PAR DES SURFACES À ÉMISSIVITÉ ÉLEVÉE

ÉPAISSEUR D DE LA COUCHE D'AIR [MM]	DIRECTION DU FLUX THERMIQUE		
	ASCENDANT	HORIZONTAL (1)	DESCENDANT
0 < d < 5	0,00	0,00	0,00
5 ≤ d < 7	0,11	0,11	0,11
7 ≤ d < 10	0,13	0,13	0,13
10 ≤ d < 15	0,15	0,15	0,15
15 ≤ d < 25	0,16	0,17	0,17
25 ≤ d < 50	0,16	0,18	0,19
50 ≤ d < 100	0,16	0,18	0,21
100 ≤ d < 300	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

(1) pour un flux thermique qui ne dévie pas de plus de ± 30° du plan horizontal

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U_w DES FENÊTRES

COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES ET PORTES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre U_w ou d'une porte U_D ayant des dimensions connues et pourvue de parties vitrées et/ou de panneaux de remplissage opaques et/ou de grilles de ventilation, est généralement calculé au moyen de la formule suivante :

$$U_w \text{ (ou } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + A_r U_r + l_g \Psi_g + l_p \Psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r}$$

où,

A [m²] = superficie du vitrage (A_g), du châssis (A_f), de la grille de ventilation (A_r) ou du panneau de remplissage (A_p)

U [W/m²K] = coefficient de transmission thermique du vitrage (U_g), du châssis (U_f), du panneau de remplissage opaque (U_p) ou de la grille de ventilation (U_r)

ψ [W/mK] = coefficient de transmission linéique tenant compte des effets combinés

- du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement (ψ_g)
- du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement (ψ_p)

l [m] = longueur du raccordement entre l'encadrement et

- le vitrage (l_g)
- le panneau de remplissage (l_p).

La procédure générale pour la détermination de la valeur U des fenêtres et des portes est détaillée dans l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2].

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre (U_w) est déterminé soit par des essais selon la NBN EN ISO 12567-1 (ou NBN EN ISO 12567-2 pour les fenêtres de toit), soit d'après un calcul décrit dans l'Arrêté. Dans l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment dans le cadre de la PEB, un calcul fenêtre par fenêtre est en principe réalisé, utilisant la formule reprise dans l'encadré ci-contre.

Une approche simplifiée est également autorisée. Pour des fenêtres sans grille de ventilation ni panneau de remplissage, le coefficient se calcule comme suit :

$$\text{si } U_g \leq U_f, \text{ alors : } U_{w,T} = 0,7 U_g + 0,3 U_f + 3 \Psi_{f,g} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$\text{si } U_g > U_f, \text{ alors : } U_{w,T} = 0,8 U_g + 0,2 U_f + 3 \Psi_{f,g} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

A titre indicatif, le tableau de la page suivante fournit quelques valeurs de coefficients de transmission thermique U_{w,T} des fenêtres, calculés d'après cette procédure

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES

Cette équation peut être utilisée pour les fenêtres constituées de plusieurs types de vitrages, encadrements ou panneaux de remplissage.

Dans son paragraphe « 9. Coefficient de transmission thermique des composants des fenêtres et des portes », l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 donne le détail du mode de calcul des coefficients de transmission thermique du vitrage, de l'encadrement, du panneau de remplissage opaque éventuel et de la grille de ventilation éventuelle.

Elle donne également :

- le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement ;
- et le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement.

simplifiée tenant compte d'une proportion fixe entre l'aire du vitrage et l'aire du châssis, ainsi que d'un périmètre fixe de la vitre ou des intercalaires. Les jonctions entre les profilés et les vitrages sont pourvus d'intercalaires dont le coefficient de transmission thermique Ψ_g [W/mK] est repris dans le tableau ci-dessous, avec pour hypothèse que l'intercalaire choisi est « isolant » lorsque $U_g \leq 1,1$ W/m²K.

La valeur U des fenêtres concerne l'ensemble de la fenêtre, c'est-à-dire la partie vitrage et le châssis et l'intercalaire.

Elle sera plus importante que la valeur U centrale du vitrage, à cause de l'influence du châssis, de l'intercalaire et des raccords au mur.

$U_{w,max} = 1,5$ W/m ² K $U_{g,max} = 1,1$ W/m ² K			VITRAGE DOUBLE				VITRAGE TRIPLE		
			air + 0 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/15/4	krypton + 2 couches peu émissives 6/10/4	argon + 2 couches peu émissives 4/15/4/15/4	argon + 2 couches peu émissives 4/18/4/18/4	
CHÂSSIS			$U_g = 2,9$	$U_g = 1,3$	$U_g = 1,1$	$U_g = 0,8$	$U_g = 0,6$	$U_g = 0,5$	
Type de châssis	U_f		$\Psi_g = 0,06$	$\Psi_g = 0,11$	$\Psi_g = 0,07$	$\Psi_g = 0,07$	$\Psi_g = 0,07$	$\Psi_g = 0,07$	
Métal (alu, acier...)	Coupure 20 mm	2,75	3,05	2,07	1,81	1,60	1,46	1,39	
	Coupure 28 mm	2,55	3,01	2,01	1,75	1,54	1,40	1,33	
	Coupure 36 mm	2,50	3,00	1,99	1,73	1,52	1,38	1,31	
	U_f déterminé par calcul selon norme EN ISO 10077-2, par le fabricant de châssis		1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04
			1,20	2,74	1,61	1,34	1,13	0,99	0,92
		0,90	2,68	1,55	1,27	1,04	0,90	0,83	
		0,71 (2)	2,64	1,51	1,23	0,99	0,84	0,77	
PUR ép. ≥ 8 mm avec renfort métal.		2,80	3,06	2,08	1,82	1,61	1,47	1,40	
Bois type 1 : Afzélia, Merbau, Chêne...	ép. 60 mm	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	ép. 80 mm	1,96	2,89	1,83	1,57	1,36	1,22	1,15	
	ép. 120 mm	1,58	2,82	1,71	1,45	1,24	1,10	1,03	
Bois type 2 : Dark Red Meranti, Sapelli...	ép. 60 mm	2,10	2,92	2,87	1,61	1,40	1,26	1,19	
	ép. 80 mm	1,85	2,87	1,80	1,54	1,33	1,19	1,12	
	ép. 120 mm	1,48	2,80	1,68	1,42	1,21	1,07	1,00	
Bois type 3 : Pin sylvestre, Résineux...	ép. 60 mm	1,93	2,89	1,82	1,56	1,35	1,21	1,14	
	ép. 80 mm	1,67	2,83	1,74	1,48	1,27	1,13	1,06	
	ép. 120 mm	1,32	2,76	1,64	1,38	1,17	1,03	0,96	
Bois + PUR + capot alu (1)		0,66 (3)	2,63	1,50	1,22	0,98	0,83	0,76	
PVC avec ou sans renforts métalliques	2 chambres	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	3 chambres	2,00	2,90	1,84	1,58	1,37	1,23	1,16	
	4 chambres	1,80	2,86	1,78	1,52	1,31	1,17	1,10	
	5 chambres	1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04	
	+ PUR (1)		0,74 (4)	2,65	1,52	1,24	1,00	0,85	0,78

REMARQUES : Selon la réglementation énergétique wallonne en vigueur à partir du 1/01/2017 [GW -16-1], la valeur U_w ne peut être supérieure à 1,5 W/m²K, et la valeur de U_g ne peut dépasser 1,1 W/m²K. Les fenêtres ne respectant pas cette double condition sont grisées dans le tableau.

(1) Selon la fabricant de châssis, qui détermine la valeur de U_f par calcul, conformément à la norme EN ISO 10077-2

(2) Pour atteindre cette performance, les chambres en alu sont remplies de mousse isolante

(3) Pour atteindre cette performance, les cadres extérieurs du châssis en bois (dormant et ouvrant) sont recouverts d'une mousse isolante, elle-même protégée d'un capot en aluminium

(4) Pour atteindre cette performance, les chambres de PVC sont remplies de mousse isolante

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES

PROFILÉ D'ENCADREMENT	SIMPLE VITRAGE	VITRAGE MULTIPLE			
		$U_g > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_g \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
		Intercalaire normal	Intercalaire isolant	Intercalaire normal	Intercalaire isolant
$U_i \geq 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_i < 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,06	0,05	0,11	0,07

LES PARE-VAPEUR

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	0,70
Papier kraft	bitumé ou revêtu d'une feuille d'alu	5,00 (E2)
Plaque de plâtre	enrobé avec une feuille alu ép. $9 \mu\text{m}$	5,00 (E2)
	enrobé avec une feuille alu ép. $15 \mu\text{m}$	15 (E2)
	enrobé avec une feuille alu ép. $30 \mu\text{m}$	35 (E3)
Membrane	en PVC	40 (E3)
	en polyisobuthylène	520 (E4)
Peinture	minérale	0,02
	au latex	0,60
	acrylique	0,70
	à l'huile	2,40 (E1)
	vernis d'adhérence	1,35
Film	polymère à base de polyamide hydrorégulant	été : $> 0,2$
		hiver : 15 (E2)
Feuille	de polyéthylène armé micro-perforé	2,5 (E1)
	de polyéthylène ép. $0,2 \text{ mm}$	7,50 (E2)
	de polyéthylène ép. $0,4 \text{ mm}$	15 (E2)
	en alu armé	4,3 (E1)
	en alu plastifié sur 1 face	20 (E2)
	en alu plastifié sur 2 faces	100 (E3)
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

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 de la p.10).

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 de la p.42, qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion μd .

LES PARE-PLUIE

PARE-PLUIE	ρ [daN/m ³]	λ_{int} [W/mK]	$\mu \cdot d$ [m]
Géotextile non tissé	910	0,22	0,02
Plaque en cellulose ou fibres-ciment (ép. 3 mm)	1.350	0,15	0,27
Panneaux de bois multipli - Multiplex (ép. 9,5 mm)	500	0,12	0,50
Feuille de polyéthylène microperforée	920	0,10	2,50
Feuille de bitume à lés ouverts (ép. 4 mm)	1.000	0,20	5,00

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES

DONNÉES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX

MATERIAUX DE CONSTRUCTION	ρ [daN/m ³]	λ_{int} [W/mK]	λ_{ext} [W/mK]	R_{utile} [m ² K/W]	μ (humide • sec)	$\mu \cdot d$ [m]
Brique de parement en terre cuite	1.800 • 1.900	0,71	1,40		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 • 1.900	1,14	2,49		15 • 25	
Pierre naturelle (Petit Granit / Calcaire / Marbres)	± 2.700	2,91	3,50		∞	
Bloc de béton cellulaire autoclavés	500 • 600	0,20	0,32		6 • 10	
Bloc de béton d'argile expansée	900 • 1.000	0,38	0,50		5 • 6,5	
Bloc plein de béton lourd	> 1.800	1,30	1,70		13	
Blocs creux de béton d'argile expansée (Ep. 14 cm)	< 1.200			0,30		0,90
Blocs creux de béton d'argile expansée (Ep. 19 cm)	< 1.200			0,35		1,00
Blocs creux de béton d'argile expansée (Ep. 29 cm)	< 1.200			0,45		1,30
Blocs creux de béton lourd (Ep. 14 cm)	> 1.200			0,11		2,00
Blocs creux de béton lourd (Ep. 19 cm)	> 1.200			0,14		2,70
Blocs creux de béton lourd (Ep. 29 cm)	> 1.200			0,20		3,90
Blocs creux de béton lourd (Ep. 39 cm)	> 1.200			0,26		5,10
Mortier de ciment - 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 durs et résineux	< 600	0,13	0,15		23 • 185	
Bois feuillus durs et résineux	> 600	0,18	0,20		37 • 370	
Panneau de fibres de bois liées au ciment	1.200	0,23			3,7 • 10	
Ardoise naturelle	< 2.700	2,10	2,10		> 600	
Ardoise ou plaque ondulée de fibres-ciment	1.400 • 1.900	0,35	0,50		37 • 150	
Ardoise de zinc-cuivre-titane (ép. 0,65 mm)	7.000		110			2
Tuile de béton	2.200			0,01		0,65
Tuile de terre cuite	1.600			0,01		0,27
Tuile métallique (ép. 0,65 mm)	7.000		110			2
Plaque en fibres de silicate	1.200	0,175			3.200	
Zinc	7.200	110	110		∞	
Feuilles de zinc-cuivre-titane (ép. 0,7 mm) à joints debout	7.000		110			40
Tôle de couverture en acier (ép. 0,63 mm)	7.800		50			50
Bitume polymère armé non tissé polyester	1.000	0,20	0,20		∞	
Bardeaux bitumés cloués	1.000		0,20		830	
Bardeaux bitumés soudés	1.000		0,20		4.150	
Membrane en PVC (ép. 1,5 mm)	1.400		0,20			30
Feutre bitumé	1.100	0,23	0,23		100 • 1.000	
Panneaux de bois multipli - Multiplex	500	0,14	0,15		40 • 100	
Plaque cellulose - fibres-ciment	1.450			0,02		0,22
Plancher brut préf. béton lourd (avec éléments creux) ép. 12 cm	1.500			0,11		2,70
Plancher brut préf. béton lourd (avec éléments creux) ép. 20 cm	1.500			0,15		3,30
Plancher brut préf. béton argile expansée (Ep. 12 à 15 cm)	1.100			0,20		0,60
Plancher brut préf. terre cuite en éléments creux (2) ép. 12 cm	1.100			0,13		2,20
Béton armé	2.400	1,70	2,20		13	
Béton lourd normal non armé	2.200	1,30	1,70		13	
Béton léger en chape	800 • 850	0,24	0,40		10	
Enduit de plâtre	1.300	0,52			6 • 10	
Plaque de plâtre enrobé (Ep. 9,5 / 12,5 mm)	1.300			0,05		0,05 • 0,11
Plâtre avec granulats légers	800 • 1.100	0,35			6 • 10	
Linoléum	1.200	0,19			1.800	
Tapis (textile)	200	0,06				2,50
Carreau de PVC	1.200	0,19			1.470	
Carreau de terre cuite	1.700	0,81	1,00		9 • 14	
Carreau de grès	1.000	1,20	1,30		150 • 300	

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES

LES MATÉRIAUX ISOLANTS

	ρ [daN/m ³]	Chaleur massique [J/kgK]	λ_{Uj} [W/mK]	λ_D [W/mK]	
				de	à
D'origine synthétique					
• les polystyrènes					
• extrudés (XPS)	25 • 55	1 450	0,045	0,029	0,039
• expansés (EPS) fabriqués en usine	15 • 30	1 450	0,050	0,030	0,043
• expansés (EPS) non fabriqués en usine	15 • 30	1 450	0,050	0,031	0,050
• les polyuréthanes (PUR) ou polyisocyanurate (PIR)					
• fabriqués en usine en panneaux revêtus	40	1 400	0,035	0,022	0,029
• non fabriqués en usine	30	1 400	0,055 (1)	0,025	0,040
• les mousses d'urée-formaldéhyde (UF)					
• fabriquées en usine	8 • 20	1 400	0,045	-	-
• non fabriquées en usine	8 • 20	1 400	0,075	0,039	0,039
• les mousses phénoliques (PF)					
• fabriquées en usine en panneaux revêtus	8 • 20	1 400	0,045 (2)	0,020	0,023
• non fabriquées en usine	8 • 20	1 400	0,065	-	-
• les polyesters	25	-	0,050	-	-
• les polyéthylènes extrudés (PET) en panneaux	??	-	0,050	-	-
D'origine minérale					
• les laines minérales (MW)					
• laine de verre fabriquée en usine, en panneaux ou rouleaux	25 • 40	1 030	0,050	0,030	0,040
• laine de verre non fabriquée en usine	25	1 030	0,070	0,030	0,040
• laine de roche fabriquée en usine, en panneaux ou rouleaux	40 • 90	1 030	0,050	0,030	0,040
• laine de roche non fabriquée en usine	40	1 030	0,070	0,030	0,040
• le verre cellulaire (CG) en panneaux	(100) 120 • 180	1 000	0,055	0,038	0,050
• la perlite expansée (EPB) fabriquée en usine, en panneaux	50 • 175	900	0,060	-	-
• la perlite expansée (EPB) non fabriquée en usine en granulats	50 • 175	-	0,080	-	-
• la vermiculite expansée fabriquée en usine, en panneaux	75 • 130	900	0,090	-	-
• la vermiculite expansée non fabriquée en usine en granulats	75 • 130	1 080	0,110	-	-
• les granulats d'argile expansés	??	1 000	0,150	-	-
D'origine végétale					
• les fibres de bois (FB) en panneaux	160 • 270	-	0,060	0,036	0,050
• la cellulose (CEL) fabriquée en usine, en panneaux	50 • 150	1 100	0,060	-	-
• la cellulose (CEL) en vrac (à projeter ou à insuffler)	35 • 50	1 100	0,080	0,038	0,041
• le liège (ICB) en panneaux	80 • 120	1 560	0,050	-	-
• le liège (ICB) en vrac / en granules pour bétons allégés	18	-	0,050	0,043	-
• le chanvre ou «laine» de chanvre	25 • 210	-	0,060	0,038	0,040
• le lin en panneaux agglomérés	400 • 500	-	0,060	0,038	0,040
• le lin en vrac, rouleaux, panneaux semi-rigides...	18 • 35	-	0,080	0,042	0,060
• la «laine» de coco fabriquée en usine, en panneaux ou rouleaux	20 • 50	-	0,060	-	-
• la «laine» de coco non fabriquée en usine, en vrac	20 • 50	-	0,080	-	-
• la «laine» de coton fabriquée en usine, en panneaux ou rouleaux	20 • 30	-	0,060	0,039	-
• la «laine» de coton non fabriquée en usine, en vrac	20 • 30	-	0,080	-	-
• les roseaux (panneaux)	env. 100	-	0,060	-	-
D'origine animale					
• la laine de mouton	10 • 30	-	0,060	0,035	0,060
D'origine végétale ou animale					
• panneaux ou rouleaux d'isolant à base de fibres végétales ou animales, fabriqués en usine, autre que la cellulose (chanvre, lin, plume, paille, laine de moutons...)	50 • 150	1 100	0,060	0,038	0,040
• isolant à base de fibres végétales ou animales non fabriqué en usine, autre que la cellulose (chanvre, lin, plume, paille, laine de moutons...)	-	1 100	0,080	0,043	0,060

ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES

μ (hum · sec)	Origine	Réaction au feu
150 · 300	-	Combustible
60	-	Combustible
60	-	Combustible
30	-	Combustible
30	-	Combustible
1,5 · 3	-	Combustible
1,5 · 3	-	Combustible
1,5 · 3	-	Combustible
1,5 · 3	-	Combustible
-	-	Combustible
-	-	Combustible
1,0 · 1,2	-	non combustible
1,0 · 1,2	-	non combustible
1,0 · 1,5	-	non combustible
1,0 · 1,5	-	non combustible
∞	-	non combustible
5 · 7	-	non combustible
5 · 7	-	non combustible
5 · 7	-	non combustible
5 · 7	-	non combustible
-	-	non combustible
3 · 4	défilage de chutes de bois résineux	difficilement combustible
1	journaux, chutes de papier blanc et d'imprimerie	auto-extinguible (agents ignifuges)
1 · 2		
5 · 30		difficilement combustible
20 · 22		
1 · 2	chênevotte du chanvre défibrée en paillettes	difficilement combustible
1 · 2		difficilement inflammable
1 · 2		
1 · 2	le bourre entourant le péricare des noix de coco	ignifugée au sel de bore
1 · 2		
1 · 2	des fibres cadrées et ignifugées au sel de bore	pas de dégagement toxique
1 · 2		
1 · 1,5		
1 · 2	laine tondue + traitement insecticide et ignifuge	pas de dégagement toxique
-	-	-
-	-	-

LÉGENDE

- ρ [daN/m³] = densité
- λ_{U_i} [W/(m².K)] = valeurs par défaut de l'Annexe 3 de l'AGW du 15 décembre 2016 [GW -16-2], valeurs utilisées dans ce guide.
- λ_D [W/mK] = valeurs certifiées dans les agréments techniques
- λ_{doc} [W/mK] = valeurs non certifiées par un agrément technique mais reprises dans l'ouvrage [b]
- μ [-] = facteur de diffusion de la vapeur d'eau

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 2017 (voir Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2]). Les trois Régions (wallonne, de Bruxelles-Capitale et flamande) ont développé une base de données produits (www.epdb.be) reprenant les données certaines pour les produits, à utiliser dans le cadre des calculs PEB.

Remarques :

(¹) pour le matériau d'isolation PUR injecté ou projeté in situ, la résistance thermique de la couche d'isolation PUR doit être corrigée selon le point 7.3 de l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2], en raison de la difficulté d'en déterminer l'épaisseur exacte.

(²) pour les panneaux d'isolation revêtus en mousse phénolique à cellules fermées, cette valeur est ramenée à 0,030 W/mK.

ANNEXE 2

LA SÉCURITÉ AU FEU

DES FAÇADES VERTICALES

GÉNÉRALITÉS ET NORMES DE BASE	178
LES NORMES DE BASE.....	178
LE CAS DES MURS-RIDEAUX	182

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+A1 "Classement au feu des produits et éléments de construction - Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu" [NBN-10]. Le système de classification des caractéristiques de réaction au feu des produits de construction est décrit dans l'Arrêté royal du 12 juillet 2012, fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire : voir son Annexe 5 : « Réaction au feu des matériaux » [GF -12].

Cet arrêté établit le classement en trois tableaux distincts : le premier s'applique à l'ensemble des produits de construction, à l'exception des revêtements de sol et des produits linéaires d'isolation de tuyauterie, qui sont traités dans les second et troisième tableaux.

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}) et un indice « L » pour les produits linéaires d'isolation de tuyauterie.

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 et les produits linéaires d'isolation de tuyauterie : 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 et produits linéaires d'isolation de tuyauterie: 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 cet arrêté.

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

Dans l'Arrêté royal du 7 juillet 1994, modifié par l'Arrêté royal du 12 juillet 2012 [GF -12], sont décrites les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles doivent satisfaire les bâtiments nouveaux, à savoir dont la date de la demande de permis d'urbanisme est postérieure au 1^{er} décembre 2012.

Elles ne concernent cependant pas :

- les maisons unifamiliales ;
- ni les bâtiments ayant au maximum deux niveaux et une superficie totale $\leq 100 \text{ m}^2$;
- ni les bâtiments industriels bas et moyens.

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	$h < 10 \text{ m}$

CATÉGORIE DES BÂTIMENTS EN FONCTION DE LA HAUTEUR h

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.

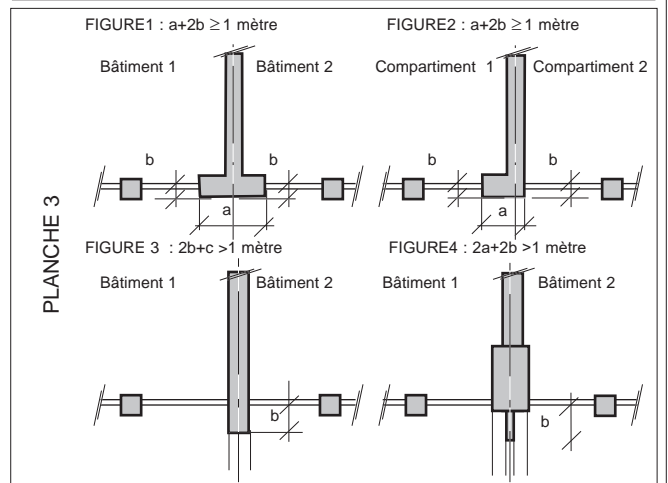
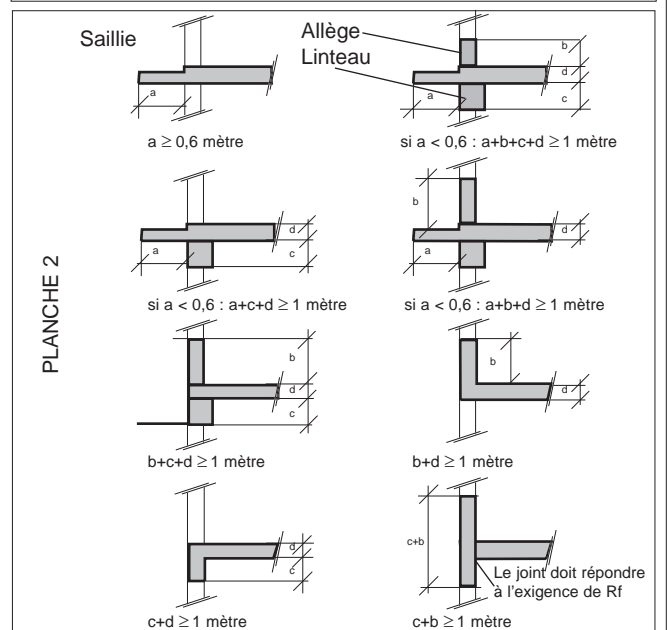
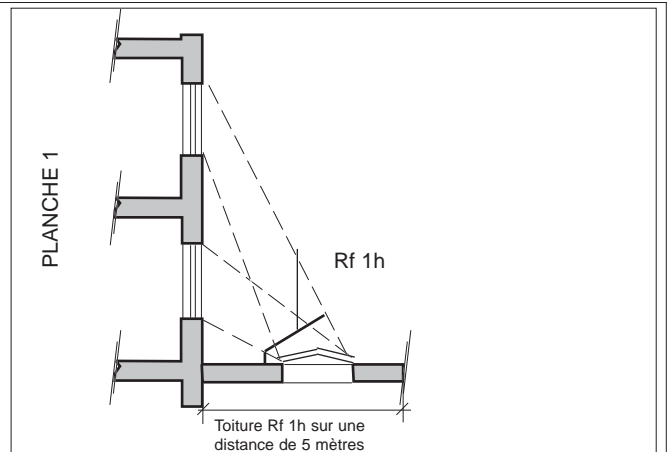
Les encadrés ci-après reprennent un résumé des normes de base concernant les façades pour les façades des bâtiments bas, moyens et élevés.

NORMES DE BASE CONCERNANT LES FAÇADES DANS LES BÂTIMENTS BAS ET MOYENS [GF -12]

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 1h 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).



ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES

NORMES DE BASE CONCERNANT LES FAÇADES VITRÉES D'UN BÂTIMENT, DOMINANT DES CONSTRUCTIONS VOISINES [GF -12]

Si les façades vitrées du bâtiment dominant des constructions faisant ou non partie de ce bâtiment :

1. Soit les toitures de ces constructions satisfont aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

Les lanterneaux, aérateurs, exutoires de fumée ou ouvertures éventuels qui n'ont pas la résistance au feu requise, placés dans le toit sur une distance de 5 mètres, satisfont aux conditions suivantes :

- soit ces ouvertures sont séparées des ouvertures dans les façades par un élément de construction qui satisfait aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

- soit leur superficie totale n'est pas plus grande que 100 cm².

2. Soit les façades du bâtiment satisfont aux conditions suivantes :

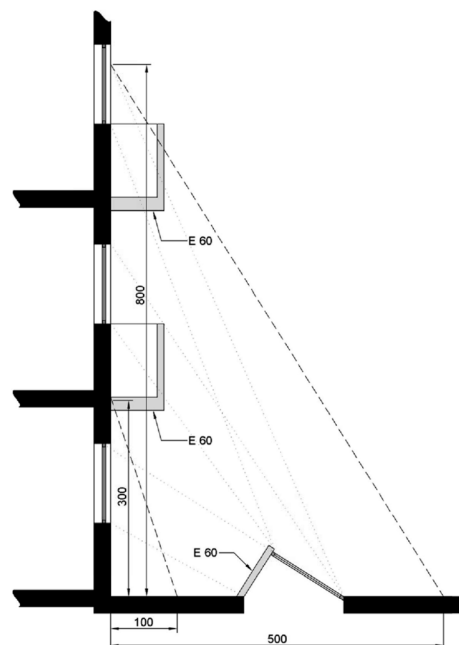
Hauteur mesurée à partir de la toiture, b	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
b < 3 m	EI 60 (i ← O)	EI 120 (i ← O)
3 m < b < 8 m	E 60 (i ← O)	E 120 (i ← O)

Si des fenêtres, aérateurs, exutoires de fumées ou ouvertures qui n'ont pas la résistance au feu requise sont aménagés dans la façade sur une hauteur de 8 m, il est satisfait aux conditions suivantes :

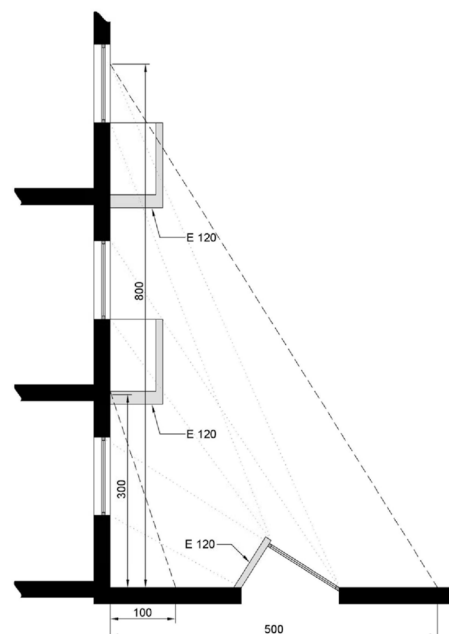
- soit ces ouvertures sont séparées des ouvertures dans la toiture par un élément de construction satisfaisant aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

- soit leur superficie totale n'est pas plus grande que 100 cm².



BÂTIMENTS MOYENS



BÂTIMENTS ÉLEVÉS

NORMES DE BASE CONCERNANT LES SÉPARATIONS ENTRE COMPARTIMENTS (BÂTIMENTS MOYENS) [GF -12]

Les montants constituant l'ossature de façade (façade légère) sont fixés à l'ossature du bâtiment à chaque niveau. Ces fixations doivent être protégées contre un incendie présent dans le compartiment attenant et inférieur.

La jonction des murs de compartimentage et de la façade présente au moins EI 60 ou EI 60 (i → o).

Pour limiter le risque de propagation du feu entre compartiments le long de la façade, sur un plan horizontal ou vertical, il faut satisfaire à une des prescriptions suivantes :

- (1) Soit la façade est dotée d'un élément de construction résistant au feu, à la jonction entre la façade et la paroi du compartiment (à l'horizontale ou à la verticale).

Les figures de la planche 3.2 montrent comment cet élément de construction est réalisé dans le cas d'une paroi horizontale de compartimentage. Il comprend :

- soit une saillie horizontale présentant au moins E 60 de largeur « a » $\geq 0,6$ m, raccordée au plancher (planche 3.2, figures A et B) ;
- soit un élément constitué :
 - d'une saillie horizontale présentant au moins E 60, de largeur « a », raccordée au plancher ;
 - au niveau supérieur, d'une allège qui présente au moins E 60 (o→i), de hauteur « b » ;
 - au niveau inférieur, d'un linteau qui présente au moins E 60 (i → o), de hauteur « c ».

La somme des dimensions a, b, c et d (épaisseur du plancher) est ≥ 1 m, chacune des valeurs a, b ou c pouvant éventuellement être nulle (planche 3.2, figures C à L).

Les figures de la planche 3.3 montrent comment cet élément de construction est réalisé dans le cas d'une paroi verticale de compartimentage. Il comprend :

- soit un élément se trouvant dans le prolongement de la façade et qui présente au moins E 60 (i↔o) ; la largeur de cet élément (b_1+b_2+a) (planche 3.3, figures A et B) 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 0,5 m au moins, s'il s'agit de deux bâtiments distincts ($a_1 \geq 0,50$ m et $a_2 \geq 0,50$ m) ;
- soit une saillie verticale, dans l'axe du mur séparant les deux bâtiments ou compartiments et qui présente au moins EI 60 (o→i) (planche 3.3, figure C) ou E 60 (i → o) (planche 3.3, figure D). La longueur de cet élément (b_1+b_2+a) 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 (planche 3.3, figure E).

- (2) Soit la façade présente au moins E 30 (i↔o) sur toute la hauteur du bâtiment (planche 3.4 - figure A), soit E 60 (i → o) à un niveau sur deux (planche 3.4 - figure B).

- (3) Soit les compartiments situés le long des façades sont équipés d'un système de sprinklage selon NBN EN 12845.

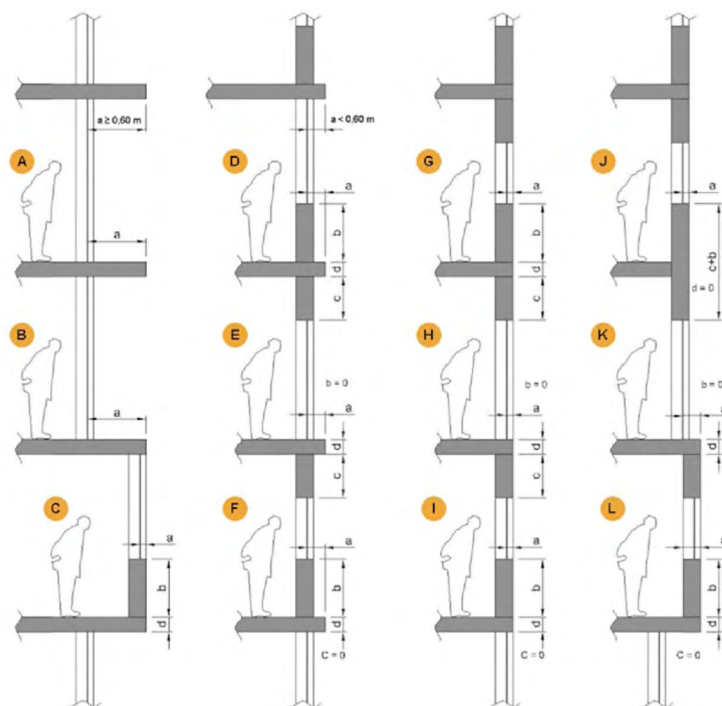


PLANCHE 3.2

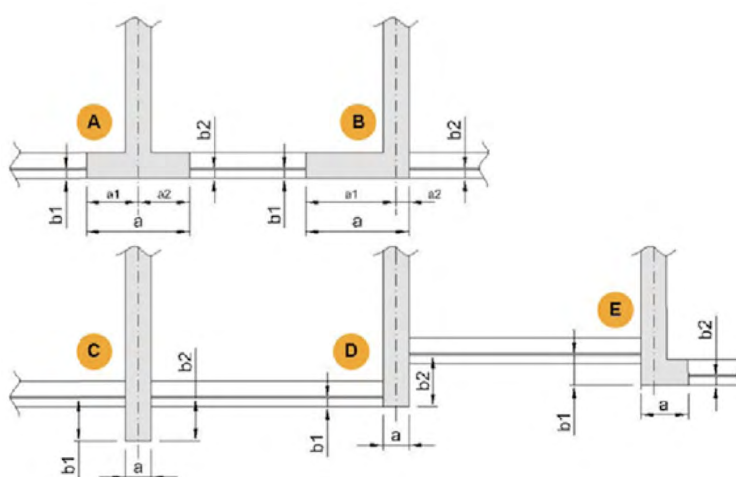


PLANCHE 3.3

LE CAS DES MURS-RIDEAUX

Les cinq règles suivantes, correspondant à la notion de paroi "pare-flamme", sont à prendre en compte au niveau de la façade [GF -12] :

- 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).



ANNEXE 3

TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS

LES CLASSES DE RISQUES	183
LES CLASSES DE DURABILITÉ	184
LES AGENTS D'ALTÉRATION	184
LES CHAMPIGNONS ET POURRITURES	185
<i>Champignons rencontrés dans notre région</i>	185
<i>Types de pourriture</i>	185
LES INSECTES	185
<i>Types d'insectes</i>	185
<i>Insectes xylophages rencontrés dans notre région</i>	186
LES TRAITEMENTS, PRÉSERVATIONS ET FINITIONS DES BOIS	187
DÉFINITIONS	187
<i>Produit de finition</i>	187
<i>Produit de préservation ou de protection ou de prévention</i>	187
<i>Remarque : l'imprégnabilité</i>	187
PRODUITS ET PROCÉDÉS DE PRÉSERVATION DU BOIS SELON LES CLASSES DE RISQUES BIOLOGIQUES	188

LES CLASSES DE RISQUES

REMARQUE [HOUT-14]

Les termites ne se rencontrent qu'en régions infestées (dans le sud de la France par exemple ou dans certains quartiers parisiens).

La norme européenne NBN EN 335 [NBN-94] donne une répartition des conditions possibles d'attaque biologique du bois en classes de risques (classes d'autant plus élevées que le risque est sévère).

CLASSE	CONDITIONS AMBIANTES	EXEMPLES D'EMPLOIS	ZONE "SENSIBLE"	RISQUE BIOLOGIQUE
1	Bois toujours sec H _{bois} toujours < 18 %	Menuiseries intérieures à l'abri de l'humidité : parquets, escaliers intérieurs, ...	0 à 3 mm de profondeur	<ul style="list-style-type: none"> Insectes à larves Termites*
2	Bois sec dont la surface est humidifiée temporairement ou accidentellement H _{bois} moy < 18 %	Charpentes, ossatures correctement ventilées en service (toits à forte pente ou toitures chaudes),...	0 à 3 mm de profondeur	<ul style="list-style-type: none"> Insectes à larves Bleuissement (sauf si présence de finition) Termites*
3	Bois soumis à des alternances humidité / sécheresse	Pièces abritées en mauvaises conditions hygrothermiques. Bardage et menuiseries ext. verticales soumises à la pluie	0 à 6 mm de profondeur en fonction des risques de stagnation d'eau	<ul style="list-style-type: none"> Pourriture Insectes à larves Termites*
4	H _{bois} toujours > 20%, en tout ou en partie de son volume	Bois horizontaux en extérieur (blacons, coursives,...) et bois en contact avec le sol	Toute la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> Pourriture Insectes à larves Termites*
5	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Piliers, pontons, bois immergés	Toute la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none"> Pourriture Térébrants marins

LES CLASSES DE DURABILITÉ

Conventionnellement, la durabilité naturelle du bois par rapport aux problématiques de pourriture est définie par la longévité d'un poteau normalisé de 50 x 50 mm partiellement enfoui dans le sol.

Le tableau ci-dessous (extrait de la NBN EN 335 [NBN-94]) donne la classe de durabilité pour le duramen des principaux bois indigènes utilisés dans la construction.

CLASSE	LONGÉVITÉ MOYENNE	DESCRIPTION	EXEMPLES
1	plus de 25 ans	très durable	Robinier, Afzélia,
2	de 15 à 25 ans	durable	If, thuya, châtaignier, chêne
3	de 10 à 15 ans	moyennement durable	Douglas, mélèze, noyer, Méranti (*4)
4	de 5 à 10 ans	faiblement durable	Pin, épicéa, orme, (méranti *4)
5	moins de 5 ans	non durable	Erable, frêne, hêtre, peuplier, tilleul

REMARQUES [HOUT-14]

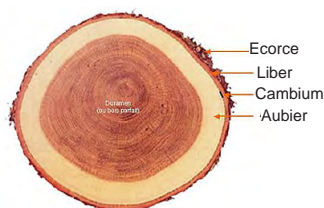
- Ces classes font référence à la durabilité du duramen ; l'aubier de toutes les espèces étant considéré comme non durable.
- Les essences à faible poids volumique ne sont pas forcément les moins durables.
- Cette classification relative aux attaques des champignons n'est pas à confondre avec les classe de risque, ni à appliquer à la longévité par rapport aux insectes, qui fonctionne par tout ou rien : une essence résiste à un insecte spécifique ou ne résiste pas.
- Pour certaines espèces de bois, la durabilité naturelle peut varier par le grand nombre de variétés botaniques, et dans une même fourniture de bois, des pièces individuelles peuvent ressortir sous une autre classe.
Ainsi, par exemple, les qualités de méranti (mélange d'espèces du genre Shorea) disponibles encore aujourd'hui étant très variables (de la classe II à la classe IV), il est conseillé d'être très vigilant lors de la prescription et de la réception sur chantier. Pour ce bois, la classe de durabilité III n'est garantie que pour une masse volumique supérieure ou égale à 550 kg/m³.
- Pour plus de détails sur les caractéristiques d'autres bois, consulter, par exemple, le site internet [www.bois.be].

LES AGENTS D'ALTÉRATION

QUELQUES DÉFINITIONS

Aubier = l'aubier est constitué par les cernes de bois les plus externes. Le nombre de cerne d'aubier est variable selon les essences de bois. Les cellules de bois constitutive de l'aubier ont un rôle de soutien et de conduction de la sève élaborée (en clair sur la figure).

Duramen = le duramen est constitué par les cernes de bois les plus intenses. Il constitue le bois parfait, bois d'oeuvre. Les cellules de bois constitutives du duramen ont uniquement un rôle de soutien (en foncé sur la figure).



Mycélium = terme utilisé en botanique = ensemble des filaments, plus ou moins ramifiés, qui proviennent des spores et constituent le thalle des champignons. Le mycelium est la plante dont nous appelons les fruits champignons. Par ramifications, il peut atteindre des dimensions incroyables, plusieurs kilomètres.

Les principaux groupes d'agents d'altération des bois utilisés dans la construction sont les champignons et les insectes.

Quelle que soit l'essence du bois, les champignons ne survivent que dans un milieu dont l'humidité dépasse 22 % ; cela signifie qu'il faut que l'humidité relative ambiante soit supérieure à 90% ou qu'il y ait contact permanent avec de l'eau.

Un ambiance confinée (peu d'oxygène gazeux) est également favorable au développement de ces champignons. De même, pour la plupart des essences, les insectes n'occupent le bois que lorsque l'humidité y est élevée, c'est-à-dire lorsqu'il vient d'être coupé ou dans des conditions d'humidité relative ambiante.

Certains insectes peuvent cependant survivre dans du bois sec et le dégrader pendant plusieurs générations.

LES CHAMPIGNONS ET POURRITURES

CHAMPIGNONS RENCONTRÉS DANS NOTRE RÉGION

Le tableau ci-dessous reprend, par ordre d'importance et selon la NIT 180 [CSTC-90], les attaques de champignons auxquelles nous sommes le plus souvent confrontés.

NOM COURANT ET SCIENTIFIQUE	TYPE DE BOIS ATTAQUÉS	CONDITIONS DE CROISSANCE	TYPE DE POURRITURE	ASPECT DU MYCELIUM	ASPECT DES SPORES	REMARQUES
Mérule pleureuse <i>Serpula lacrimans</i>	Résineux et feuillus	IMPLANTATION • hum. bois : de 30 à 40 %, • t° de l'air : de 3 à 25°C DÉVELOPPEMENT • hum. bois : min. 20 %, • t° de l'air : de 3 à 25°C	Cubique brune	Blanchâtre, cotonneux et feutré	Brun rouille, se déposant en grandes quantités	S'étend sur n'importe quel matériau
Poria de Vaillant <i>Poria vaillantii</i>	Résineux de préférence mais aussi feuillus	IMPLANTATION ET DÉVELOPPEMENT • hum. bois : de 40 à 50 %, • t° de l'air : de 3 à 35°C	Cubique ou défibrée, de teinte claire ou rougeâtre	Couleur blanche	Blanc cassé se forment exceptionnel- lement dans les bâtiments	Ne reste pas localisé à son point d'im- plantation
Champignon ou coniophore des caves <i>Coniophora puteana</i>	Résineux et feuillus	IMPLANTATION ET DÉVELOPPEMENT • hum. bois : de 50 à 60 %, • t° de l'air : de 3 à 35°C	Cubique brun noirâtre	Non visible à l'oeil nu, clair en début de déve- loppement, puis fonçant jusqu'à deve- nir noirâtre	Brun foncé, rarement observés	Sensible à l'assèche- ment. Dégâts limités au bois humide. Assez sem- blable à la mérule.

AUTRES POURRITURES APPARAISANT DANS LES BOIS DES BÂTIMENTS	
NOM COURANT	NOM SCIENTIFIQUE
Lenzite des poutres	<i>Lenzites sepiaria</i> ou <i>Gloeophyllum sepiarium</i>
Polypore des caves	<i>Donkioporia expansa.</i> ou <i>Phellinus megaloporus</i>
Pourriture molle	<i>Chaetomiim globosum</i>

TYPES DE POURRITURE

Les nombreuses espèces de champignons capables de dégrader le bois sont répertoriées en fonction du type de pourriture créée dans le bois :

- les pourritures cubiques (dites aussi pourritures brunes ou foncées) ;
- les pourritures fibreuses (appelées aussi pourritures défibrées ou blanches) ;
- les pourritures molles.

LES INSECTES

TYPES D'INSECTES

Les insectes xylophages susceptibles de causer des dégâts à certaines essences de bois utilisés dans nos habitations sont limités à trois groupes [HOUT-14] :

- les anobies ou vrillettes,
- les lyctus,
- les capricornes.

Ils pondent leurs oeufs dans le bois, en surface ou à la jointure des assemblages. Dès l'éclosion, les larves attaquent le bois.

ANNEXE 3 : TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS

LES ANOBIES OU VRILLETES

Elles se trouvent généralement dans les bois ayant subi les effets de l'humidité et/ou atteints de champignons. Les galeries creusées par les vrillettes sont remplies de sciure grossière et non tassée. Elles donnent une structure d'éponge au bois de charpente. Le son rendu est sourd et régulier.

LES LYCTUS

Ils sont fréquents dans les bois composés d'amidon et exotiques, tels que le cerisier, le hêtre, le peuplier. Les galeries creusées par ce type d'insectes s'orientent dans le sens de la fibre du bois, elles sont remplies de sciure fine et compacte comme de la farine ; ces galeries sont si nombreuses que le bois tombe en poussière très fine.

LES CAPRICORNES

Ils apparaissent le plus souvent dans les charpentes en résineux (pin, sapin, épicéa, etc.), parfois en chêne ou en hêtre. L'attaque se fait par le centre du bois et n'est souvent pas perceptible avant de longues années : au moment de la découverte, le grignotage des insectes est perceptible à l'oreille.

INSECTES XYLOPHAGES RENCONTRÉS DANS NOTRE RÉGION

Le tableau ci-dessous est extrait de la NIT180 [CSTC-90].

ESPECES	DESCRIPTION		BOIS		CONDITIONS	REMARQUES
	NOM COURANT ET SCIENTIFIQUE	CYCLE DE CROISSANCE TYPE D'OEUF	LARVES COLÉOPTÈRES	TYPE		
Grosse vrillette <i>Xestobium rufillosum</i>	3 à 10 ans Blancs, ovoïdes 0,5 à 1 mm	Blanches 2 à 3 mm Brun foncé avec tâches 3 à 7 mm	Feuillus, parfois résineux	2,5 à 4 mm Assez grossière	Bois mis en oeuvre en milieu humide ; principa- lement en combi- naison avec un champignon	Les femelles creusent des galeries dans le bois et y déposent leurs oeufs
Petite vrillette <i>Anobium punctatum</i>	2 à 3 ans Blancs, ovoïdes 0,3 mm	Blanches 2 à 3 mm Brun foncé ovale 3 à 5 mm	Résineux et feuillus	2 mm, ronds Compacte	Envol des coléop- tères : mai / juillet	Apparaît dans aubier des chênes après attaque de champi- gnon ; attaque aussi parachemin et papier
Lyctus <i>Lyctus brunneus</i>	4 mois à 2 ans Blancs, ovoïdes 0,5 mm	Blanches 2 mm Brun rougeâtre, long, cylindrique 2,5 à 8 mm	Feuillus : tous aubiers et bois parfait avec bcp d'amidon et large diamètre de pores (chêne, frêne)	Ronds et regroupés, 1 à 1,5 mm Très fine dans galeries	Phase d'envol : n'a parfois pas lieu	Hêtre rouge non atta- qué
Capricorne <i>Hylotrupes bajulus</i>	3 à 12 ans Blancs, allon- gés 1 x 2 mm	Blanches, avec mâchoires solides, 2 à 3 cm Brun foncé, ailes raies grises, 1 à 3 cm	Seulement sur résineux (tous les aubiers, épi- cés et sapin dans toute la masse)	8 x 4 mm, ovales Grossière et compacte dans galerie	Bois sec Envol des coléop- tères : mai / juillet	Matériaux de construction autres que le bois peuvent être atteints ; bour- soufflures locales de vermoulure en sur- face du bois

LES TRAITEMENTS, PRÉSERVATIONS ET FINITIONS DES BOIS

DÉFINITIONS

PRODUIT DE FINITION

Le produit de finition apporte une protection de surface contre les agressions physico-chimiques et permet de remplir les fonctions suivantes :

- rehausser l'aspect esthétique ;
- préserver le bois des agressions climatiques telles que :
 - les rayonnements ultraviolets et infrarouges ;
 - les variations importantes du taux d'humidité (précipitations, humidité relative de l'air, vents) ;
 - le lessivage des substances ligneuses et le tachage dû à l'humidité ;
- accroître la longévité.

PRODUIT DE PRÉSERVATION OU DE PROTECTION OU DE PRÉVENTION

Une mesure préventive ou de préservation consiste à appliquer au bois des produits chimiques en vue de le protéger des dégradations dues aux insectes xylophages et/ou aux moisissures.

Cette protection est nécessaire lorsque le bois n'a pas une durabilité naturelle suffisante pour le mettre à l'abri des attaques éventuelles par des champignons et/ou des insectes.

En Belgique, on estime que la finition ne peut être appliquée que sur des éléments en bois suffisamment durable pour résister à tous les agents d'agression susceptibles d'affecter le matériau.

Par conséquent, l'introduction, dans les assemblages (notamment pour les menuiseries extérieures) en bois non durable (classe IV ou V), de capsules contenant des produits de préservation n'est pas considérée, comme une mesure de protection préventive suffisante.

En principe, seul le duramen des espèces de bois appartenant aux classes de durabilité I, II et III peut être utilisé sans protection préventive en menuiserie extérieure.

EXEMPLES	LARGEUR DE L'AUBIER	IMPRÉGNABILITÉ	
		DURAMEN	AUBIER
Douglas	2 à 5 cm	4	3 ou 2-3 selon provenance
Epicéa	non différencié	3-4	3 variable
Mélèze	2 à 5 cm	4	2 variable
Pin sylvestre	2 à 10 cm	3-4	1
Chêne	2 à 5 cm	4	1
Hêtre	non différencié	1	1

CLASSIFICATION DES NIVEAUX D'IMPRÉGNABILITÉ

- niveau 1 : imprégnable
- niveau 2 : moyennement imprégnable
- niveau 3 : peu imprégnable
- niveau 4 : non imprégnable

SELON LA NORME EN350-2

REMARQUE : L'IMPRÉGNABILITÉ

L'imprégnabilité est définie comme la facilité avec laquelle un bois peut être pénétré par un liquide (comme par exemple un produit de préservation).

Lorsque l'essence n'est pas suffisamment durable pour la classe de risque considérée et les performances requises, il faut envisager un traitement de préservation, qui ne pourra être correct que si l'essence est suffisamment imprégnable.

ANNEXE 3 : TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS

PRODUITS ET PROCÉDÉS DE PRÉSERVATION DU BOIS SELON LES CLASSES DE RISQUE BIOLOGIQUE

CLASSES DE RISQUES (EN 335)	CONDITIONS AMBIANTES	RISQUES				EXEMPLES TYPIQUES	PERFORMANCES MINIMALES	CODE D'HOMOLOGATION	CODE D'AGRÈMENT DES PRINCIPAUX PROCÉDÉS
		INSECTES (1)	DÉLAVAGE	POURRI-TURE	BLEU		(EN 559)	A.B.P.B.	
1	Bois utilisé à l'intérieur dans des ambiances constamment sèches (humidité de l'air inférieure à 70 %)	élevé	-	-	-	Aménagements intérieurs (meubles, lambris, parquets) où le taux d'humidité du bois reste en permanence en dessous de 20 %	Ip	B A1	O1-O3-O5-O6 T1-T2-T3 (2)
2	Bois non en contact avec le sol et normalement non exposé aux intempéries ni au délavage	important	faible	faible	faible	Bois de charpente, ossature de toitures plates chaudes... où le taux d'humidité du bois dépasse occasionnellement 20 %	Ip + Pp	A2.1	O2-O3-(O5)-O6 T1-T2-T3 (2) S1-S2-S3-S4
	Humidification temporaire possible					Élément de bois lamellé collé et bois à fonction décorative, où le taux d'humidité du bois dépasse occasionnellement 20 %	Ip + Pp + BI	A2.2	O2-O3-(O5)-O6 T1-T2-T3 (2) S1-S2-S3-S4
3	Bois non en contact avec le sol, exposé aux intempéries ou à la condensation	variable	important	important	variable (2)	Bois de menuiserie extérieure ; bois massif ou élément en bois lamellé collé placé dans de mauvaises conditions hygrothermiques (locaux humides, toitures plates froides)	Ip + Pp + BI + W	C1	O1-O3-(O5)-O6 T1-T2-T3 (2)
						Bois massif ou élément en bois lamellé collé exposé aux intempéries	Ip + Pp + W + V Ip + Pp (+BI) + W	C2 A3	O1-O2-O5 S2-S4 O3-(O5)-O6 S2-S4
4	Bois en contact permanent avec le sol	variable	très important	élevé	élevé	Pieux, poteaux, bois massif ou élément en bois lamellé collé en contact avec le sol	Ip + Pp (+BI) + E	A4.1	S2-S4 CR1
	Bois mouillé en permanence (eau douce)					Bois immergé dans l'eau douce Tours de réfrigération		A4.2	
5	Bois immergé dans l'eau salée	variable	très important	élevé	élevé	Constructions portuaires, appontements, brise-lames	Ip + Pp + E + X	A5	S2-S4 CR1

TABLEAU EXTRAIT DE [HOUT-14] ET TIRÉ DE L'ASSOCIATION BELGE POUR LA PROTECTION DU BOIS.

(1) la présence d'aubier augmente le danger l'attaques d'insectes
(2) en fonction de la cinétique d'absorption

SIGNIFICATION DES CODES		
<p>TYPES DE PRODUITS</p> <p>O, T : produit organique en solution organique ou en émulsion (hydrodispersable) S : sels minéraux en solution aqueuse CR : créosotes</p> <p>PROCÉDÉS</p> <p>O1 : aspersion en tunnel ou en cabine O3 : double-vide (autoclave) O5 : badigeon (O5) : badigeon - traitement des découpes O6 : vide et pression (autoclave)</p>	<p>T1 : trempage court (sup. ou égale à 3 minutes) T2 : trempage court (sup. ou égale à 15 minutes) T3 : trempage court (sup. ou égale à 60 minutes)</p> <p>S1 : trempage long (heures à jours) S2 : vide et pression (autoclave) S3 : diffusion S4 : pression alternative ou oscillante (autoclave)</p> <p>CR1 : vide et pression (autoclave) C1 : produit de préservation C2 : lasure légèrement pénétrante avec fongicide C3 : lasure légèrement pénétrante sans fongicide CTOP : lasure satinée ou top coat</p>	<p>PERFORMANCES DES PRODUITS</p> <p>Ip : efficacité préventive contre les insectes xylophages Pp : efficacité préventive contre les champignons de la pourriture B1 : efficacité préventive contre le bleuissement W : résistance au délavage par les intempéries V : résistance au vieillissement E : résistance au délavage au contact du sol et efficacité préventive contre la pourriture molle X : efficacité préventive contre les térébrants marins.</p>

ANNEXE 3 : TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS

PRÉSERVATION	
A3 :	
Traitement de préservation pour charpentes exposées aux intempéries ou à la condensation	<ul style="list-style-type: none"> • produit soluble dans l'eau, appliqué par immersion ou par imprégnation sous vide ; • non filmogène
C1 :	<ul style="list-style-type: none"> • contient des fongicides contre la pourriture, un insecticide et un agent antibleu (facultatif)
Traitement de préservation pour menuiseries exposées aux intempéries et à la condensation	<ul style="list-style-type: none"> • incolore ou légèrement pigmenté • non filmogène, matières sèches : 10 à 20 % • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture ainsi qu'un insecticide • épaisseur indicative : 1 à 5 µm à l'état sec / couche

FINITION	
C2 :	<ul style="list-style-type: none"> • pigmentée
Lasure légèrement pénétrante avec fongicide	<ul style="list-style-type: none"> • légèrement filmogène, matières sèches : 20 à 35 % • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture
C3 :	<ul style="list-style-type: none"> • épaisseur indicative : 15 à 20 µm à l'état sec / couche • pigmentée
Lasure légèrement pénétrante sans fongicide	<ul style="list-style-type: none"> • nettement filmogène, matières sèches : 20 à 35 % • contient uniquement un fongicide contre le bleuissement
CTOP :	<ul style="list-style-type: none"> • épaisseur indicative : 15 à 20 µm à l'état sec / couche • pigmentée
Lasure satinée ou top coat	<ul style="list-style-type: none"> • nettement filmogène, matières sèches : 35 % à 60 % • contient uniquement un fongicide contre le bleuissement (ne protège que le film)
Peinture	<ul style="list-style-type: none"> • épaisseur indicative : 15 à 20 µm à l'état sec / couche • pigmentée • caractère filmogène prononcé, teneur élevée en matières sèches • sans biocides • épaisseur indicative : supérieur ou égale à 30 µm à l'état sec / couche

TABLEAU DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PRODUITS DE PRÉSERVATION ET DE FINITION [HOUT-14]

ANNEXE 4

QUELQUES DÉFINITIONS ET COMPLÉMENTS D'INFORMATIONS

INERTIE THERMIQUE	190
CAPACITÉ THERMIQUE	190
EFFUSIVITÉ THERMIQUE E_f	190

INERTIE THERMIQUE

C'est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et la restitution de celle-ci avec un déphasage en fonction des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage.

CAPACITÉ THERMIQUE

C'est la capacité qu'a un matériau d'emmagasiner la chaleur par rapport à son volume ou la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré la température de 1 m³ de ce matériau.

Cette capacité est le produit de la masse volumique (ρ en kg/m³) et de la chaleur spécifique (C en kJ/kgK).

EFFUSIVITÉ THERMIQUE E_f

Cette propriété des matériaux n'est pas prise en compte dans les bilans thermiques.

L'effusivité thermique est pourtant un paramètre non négligeable du confort thermique, et donc des besoins et des dépenses énergétiques, en tant que contreponds des inconvénients que peut représenter une trop grande inertie thermique [HERZ-12].

Elle mesure la rapidité avec laquelle un matériau absorbe la chaleur provenant d'un autre matériau plus chaud que lui et mis en contact avec lui.

L'effusivité thermique E_f indique combien de kilojoules ont pénétré sur 1 m² de surface du matériau, une seconde après qu'elle ait été mise en contact avec une autre surface de 1 m² plus chaude qu'elle de 1 degré Kelvin.

ANNEXE 4 : LES CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

En pratique, les matériaux dont le E_f est faible sont isolants :

- $E_f \leq 0,33$
⇒ matériaux subjectivement chauds
- $0,33 \leq E_f \leq 0,67$
⇒ matériaux chauds
- $0,67 \leq E_f \leq 1,25$
⇒ matériaux donnant une impression neutre à fraîche
- si $E_f \geq 1,25$
⇒ matériaux froids

E_f est la racine carrée du produit de la capacité thermique C par la conductivité thermique λ :

$$E_f = \sqrt{(\rho \times C \times \lambda)}$$

- un E_f élevé signifie que le matériau absorbe rapidement beaucoup d'énergie, sans se réchauffer notablement ;
- un E_f plus bas signifie que le matériau se réchauffe plus vite.

La chaleur subjective ressentie par le corps en contact avec la paroi est inversement proportionnelle à l'effusivité du matériau de revêtement de celle-ci.

Le bois est typiquement un matériau dont l'effusivité est faible, apportant une chaleur subjective de contact élevée, donc confortable.

SOMMAIRE	2
PREFACE	4
ENJEUX.....	5
INTRODUCTION.....	5
LE CONFORT ET L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E.).....	6
LE BILAN THERMIQUE DE L'HOMME DANS SON ENVIRONNEMENT	6
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST AUGMENTER LE CONFORT	6
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST ÉCONOMISER L'ÉNERGIE	7
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST RÉDUIRE LES DÉPENSES DU MAÎTRE D'OUVRAGE	7
ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT.....	7
LES DONNÉES CLIMATIQUES, LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ET LE COMPORTEMENT AU FEU	8
LES DONNÉES CLIMATIQUES	8
<i>L'environnement extérieur.....</i>	8
<i>Les températures.....</i>	8
<i>Le climat intérieur.....</i>	8
LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX.....	9
LES FONCTIONS DE L'ENVELOPPE.....	10
LES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX PAROIS EXTÉRIEURES OPAQUES D'UN BÂTIMENT	10
FONCTIONS PRINCIPALES.....	10
LE CONTRÔLE DU CLIMAT.....	11
<i>Climat local et architecture</i>	11
<i>Notion de peau perméable à la vapeur d'eau.....</i>	11
<i>La chaleur.....</i>	12
LE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT	14
<i>Le bruit.....</i>	14
<i>Sécurité à l'effraction.....</i>	14
<i>Sécurité au feu.....</i>	15
LA FONCTION STRUCTURALE.....	16
LA FONCTION VISUELLE	16
LES TYPOLOGIES COMMUNES MURS	17
HISTORIQUE.....	17
LES TECHNOLOGIES SPÉCIFIQUES DES STRUCTURES EN BOIS.....	19
LE BOIS MASSIF.....	19
LES POTEAUX-POUTRES	20
LES CONSTRUCTIONS À PAROIS OSSATURÉES.....	20
LA COMPOSITION D'UNE FAÇADE VERTICALE.....	22
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	22
ZONES 2 ET 3 : ZONE DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET ZONE DE LA STRUCTURE (3).....	22
ZONES 4 ET 5 : ZONE D'ÉQUIPEMENT (4) ET ZONE DE FINITION (5).....	23
LES PERFORMANCES D'UNE FAÇADE VERTICALE.....	24
LES 4 GRANDES TYPOLOGIES DES FAÇADES VERTICALES SELON L'APPROCHE HYGROTHERMIQUE	26
TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE DES FAÇADES	28
PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE SOLIDAIRE SANS COULISSE.....	28

PAROIS AVEC UNE PEAU EXTÉRIEURE INDÉPENDANTE AVEC COULISSE VENTILÉE OU DRAINANTE	29
LES TECHNOLOGIES COMMUNES MURS	31
ZONE 1 : ZONE DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	32
L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR.....	32
LES PEAUX EXTÉRIEURES INTÉGRÉES OU CONFONDUES À LA ZONE 3.....	32
<i>Le mur plein traditionnel.....</i>	32
<i>Le mur monolithique récent, maçonné ou préfabriqué.....</i>	33
<i>Le mur plein isolé par l'intérieur.....</i>	33
LES PEAUX EXTÉRIEURES "SOLIDAIRES" OU "ADHÉRENTES" SANS COULISSE	33
<i>La mise en peinture.....</i>	33
<i>L'hydrofugation.....</i>	33
<i>Les enduits extérieurs.....</i>	34
<i>Les panneaux étanches.....</i>	35
LES PEAUX EXTÉRIEURES "INDÉPENDANTES" OU "NON ADHÉRENTES" AVEC UNE COULISSE.....	35
<i>Les peaux extérieures lourdes - le mur creux ou le panneau creux.....</i>	35
<i>Les peaux extérieures "légères".....</i>	36
ZONES 2 ET 3 : ZONES DE L'ISOLATION THERMIQUE (2) ET DE LA STRUCTURE (3).....	37
LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES ET DE PARE-VAPEUR	37
<i>Les isolants thermiques.....</i>	37
<i>Les produits minces réfléchissants.....</i>	41
<i>Les pare-vapeur.....</i>	41
LES TYPES DE STRUCTURE	43
<i>Les parois pleines portantes (types A et B).....</i>	43
<i>Les parois à ossature (type C).....</i>	43
LES MURS-RIDEAUX (TYPE D)	44
L'ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS VERTICALES EXTÉRIEURES	44
L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR.....	45
<i>Les différents systèmes.....</i>	45
<i>Comportement du mur isolé par l'extérieur.....</i>	47
L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR.....	48
<i>Les différents systèmes.....</i>	48
<i>Comportement du mur isolé par l'intérieur.....</i>	50
L'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE ET LES MURS-RIDEAUX	51
LES PONTS THERMIQUES	52
<i>Cas du mur isolé par l'extérieur.....</i>	52
<i>Cas du mur isolé par l'intérieur.....</i>	52
<i>Cas du mur creux isolé.....</i>	53
<i>Cas d'une paroi ossaturée isolée.....</i>	53
<i>Cas des murs-rideaux.....</i>	53
ZONES 4 ET 5 : ZONES D'ÉQUIPEMENT (4) ET DE FINITION (5).....	54
LA METHODOLOGIE COMMUNE DE CONCEPTION DES FACADES VERTICALES.....	55
LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	55
LA TECHNOLOGIE PARTICULIERE DU MUR PLEIN (TYPE A)	58
LA TYPOLOGIE DES MURS PLEINS	58
LE MUR PLEIN MAÇONNÉ	59
LE MUR PLEIN TRADITIONNEL.....	60
LE MUR MONOLITHIQUE RÉCENT.....	61
LE MUR PLEIN EN PANNEAUX DE BOIS.....	63

LES PERFORMANCES DU MUR PLEIN	64
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR PLEIN	65
CONCLUSION	65
LA TECHNOLOGIE PARTICULIERE DU MUR MULTICOUCHE (TYPE B).....	66
TYPLOGIE DES MURS MULTICOUCHEES	67
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'EXTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B1)	68
LES MURS CREUX.....	68
LES MURS ISOLÉS AVEC BARDAGE EXTÉRIEUR OU PAREMENT COLLÉ.....	68
LE MUR MULTICOUCHE AVEC ISOLATION À L'INTÉRIEUR DU MUR PORTEUR (TYPE B2)	68
LA TECHNOLOGIE DU MUR MULTICOUCHE : SON HISTOIRE RÉCENTE.....	69
EVOLUTION DU MUR CREUX VERS LE MUR MULTICOUCHE	71
LES PERFORMANCES PARTICULIÈRES DU MUR CREUX	71
<i>Le mur creux par rapport au mur plein.....</i>	<i>71</i>
LES PERFORMANCES DU MUR MULTICOUCHE	72
LES FONCTIONS DU MUR MULTICOUCHE.....	74
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR MULTICOUCHE.....	76
1. CHOIX DE LA PEAU EXTÉRIEURE.....	76
2. CHOIX DE LA PARTIE EXTÉRIEURE.....	76
<i>Autoportante non autostable.....</i>	<i>76</i>
<i>Autoportante autostable.....</i>	<i>77</i>
<i>Bardage extérieur</i>	<i>77</i>
<i>Absente (crépi).....</i>	<i>78</i>
3. CHOIX DE LA PARTIE INTÉRIEURE.....	80
<i>Paroi maçonnée portante.....</i>	<i>80</i>
<i>Paroi en voile, en panneaux ou madriers.....</i>	<i>81</i>
<i>Apposition complémentaire d'un pare-vapeur éventuel</i>	<i>81</i>
4. CHOIX DE LA PEAU INTÉRIEURE.....	82
5. CHOIX DU TYPE DE ZONE DE COUPURE THERMIQUE ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU	82
6. CHOIX DE LA CHRONOLOGIE DE RÉALISATION	84
<i>Poses simultanées.....</i>	<i>84</i>
<i>Poses séparées.....</i>	<i>84</i>
7. AIDE À LA DÉCISION LORS DE LA CONCEPTION D'UN MUR MULTICOUCHE	86
8. CHOIX DE L'ÉPAISSEUR D'ISOLANT POUR OBTENIR UN COEFFICIENT $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	87
9. EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DU MUR MULTICOUCHE.....	91
10. EN RÉSUMÉ, CHRONOLOGIE DES CHOIX	91
11. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU DÉTAIL : OBJECTIFS POURSUIVIS	91
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	93
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE.....	93
<i>Prédimensionnement des murs multicouches de la partie principale du bâtiment.....</i>	<i>94</i>
<i>Prédimensionnement des murs creux de la partie annexe au bâtiment principal</i>	<i>97</i>
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	100
<i>Identification et conception des noeuds.....</i>	<i>100</i>
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET.....	107
CONCLUSION	114
LA TECHNOLOGIE PARTICULIERE DU MUR A OSSATURE (TYPE C).....	115
INTRODUCTION.....	116
TYPLOGIES DES MURS À OSSATURE.....	117

LA MAÎTRISE DU CLIMAT	117
LA MAÎTRISE DU CLIMAT EXTÉRIEUR.....	117
<i>L'eau et le vent.....</i>	117
<i>Étanchéité à l'air.....</i>	118
<i>La neige.....</i>	118
LA MAÎTRISE DU CLIMAT INTÉRIEUR	118
<i>L'humidité relative</i>	118
<i>La gestion de la chaleur et des apports solaires</i>	119
<i>Le type d'isolant.....</i>	120
<i>Le type de pare-vapeur en fonction du climat intérieur.....</i>	120
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE MÉTALLIQUE	121
HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION EN ACIER.....	121
L'ACIER, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT.....	122
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	123
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR À OSSATURE BOIS	134
HISTORIQUE DE LA CONSTRUCTION BOIS.....	134
LE BOIS, UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION PERFORMANT	135
<i>Un matériau de construction naturel.....</i>	135
<i>Un matériau peu conducteur de chaleur</i>	136
<i>Un matériau chaleureux agissant sur le sensoriel.....</i>	136
<i>Un matériau bio-sourcé.....</i>	137
<i>Un matériau ayant une bonne tenue au feu.....</i>	137
<i>Un matériau compatible avec d'autres matériaux</i>	138
<i>Les différents systèmes de murs à ossature bois</i>	138
<i>Comportement d'une paroi ossaturée isolée.....</i>	139
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE.....	140
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE AU STAGE DE L'ESQUISSE	140
<i>Parti et choix préalable.....</i>	140
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE AU STAGE DE L'AVANT-PROJET	141
<i>Zone 1 : choix de la zone de parement et d'étanchéité à l'eau et à l'air.....</i>	141
<i>Zone 4 : choix de la zone de finition et d'équipement.....</i>	141
<i>Zone 2 et zone 3 : choix des zone de structure et d'isolation.....</i>	141
<i>Repérage des détails concernant la continuité de l'isolation thermique.....</i>	142
<i>Exemple d'étude de détails au stade de l'avant-projet.....</i>	143
LES PERFORMANCES DU MUR À OSSATURE.....	147
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU MUR À OSSATURE	149
LES CHOIX DE L'AUTEUR DU PROJET	149
ZONE 1 : CHOIX DE LA ZONE DE PAREMENT ET D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU ET À L'AIR	149
<i>Les peaux extérieures en bois massif.....</i>	149
<i>Les peaux extérieures en bardage de clins, de bardeaux de bois, de panneaux, etc.....</i>	150
<i>Les peaux extérieures en bardage légers autres que le bois.....</i>	150
<i>Les peaux extérieures en maçonnerie.....</i>	150
<i>Les peaux extérieures collées ou en crépi.....</i>	150
ZONES 4 ET 5 : CHOIX DE LA ZONE DE FINITION ET D'ÉQUIPEMENT.....	151
ZONE 2 + ZONE 3 : CHOIX DES ZONES DE STRUCTURE ET D'ISOLATION	151
EN RÉSUMÉ.....	152
<i>Type C1 : paroi à ossature métallique isolée.....</i>	152
<i>Type C2 : paroi à ossature bois isolée.....</i>	157
CHRONOLOGIE DE POSE	161
CONCLUSION	162
LA TECHNOLOGIE PARTICULIÈRE DU MUR-RIDEAU (TYPE D)	163
HISTORIQUE.....	163

TPOLOGIES DES MURS-RIDEAUX	163
LES PERFORMANCES DU MUR-RIDEAU.....	164
CONCLUSION.....	168
BIBLIOGRAPHIE.....	169
ANNEXE 1 : DONNÉES HYGROTHERMIQUES	171
RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE AUX SURFACES ET RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR.....	171
RÉSISTANCES THERMIQUES D'ÉCHANGE	171
RÉSISTANCE THERMIQUE D'UNE COUCHE D'AIR.....	172
COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE U_w DES FENÊTRES	172
LES PARE-VAPEUR	174
LES PARE-PLUIE	174
DONNÉES THERMOPHYSIQUES DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.....	175
LES MATÉRIAUX ISOLANTS.....	176
ANNEXE 2 : LA SÉCURITÉ AU FEU DES FAÇADES VERTICALES.....	178
GÉNÉRALITÉS ET NORMES DE BASE	178
LES NORMES DE BASE	178
LE CAS DES MURS-RIDEAUX.....	182
ANNEXE 3 : TRAITEMENTS ET PROTECTIONS DU BOIS.....	183
LES CLASSES DE RISQUES	183
LES CLASSES DE DURABILITÉ	184
LES AGENTS D'ALTÉRATION	184
LES CHAMPIGNONS ET POURRITURES	185
<i>Champignons rencontrés dans notre région.....</i>	<i>185</i>
<i>Types de pourriture</i>	<i>185</i>
LES INSECTES	185
<i>Types d'insectes</i>	<i>185</i>
<i>Insectes xylophages rencontrés dans notre région</i>	<i>186</i>
LES TRAITEMENTS, PRÉSERVATIONS ET FINITIONS DES BOIS	187
DÉFINITIONS	187
<i>Produit de finition</i>	<i>187</i>
<i>Produit de préservation ou de protection ou de prévention</i>	<i>187</i>
<i>Remarque : l'imprégnabilité.....</i>	<i>187</i>
PRODUITS ET PROCÉDÉS DE PRÉSERVATION DU BOIS SELON LES CLASSES DE RISQUES BIOLOGIQUES	188
ANNEXE 4 : QUELQUES DÉFINITIONS ET COMPLÉMENTS D'INFORMATIONS	190
INERTIE THERMIQUE	190
CAPACITÉ THERMIQUE	190
EFFUSIVITÉ THERMIQUE E_f	190
TABLE DES MATIERES	192

L'isolation thermique des murs

Tout en étant accessible à tous, ce Guide pratique pour architectes « L'isolation thermique des murs » est destiné plus particulièrement aux concepteurs et poursuit l'objectif de les aider à faire les choix les plus adaptés aux projets de bâtiments qu'ils développent, et cela dès les phases préliminaires de leur conception.

À l'heure où les réglementations thermiques deviennent de plus en plus contraignantes, il présente diverses techniques constructives des murs, et des outils permettant d'atteindre les objectifs visés.

Il aborde autant les technologies classiques du mur creux, que celles des murs à ossature, des murs rideaux, des murs pleins... Il détaille les fonctions assurées par les zones qui composent le mur et leurs matériaux spécifiques participant à son comportement hygrothermique, y compris les nœuds constructifs.

Il rappelle les notions fondamentales de physique du bâtiment à l'aide de définitions, descriptions et tableaux faciles à comprendre, et par une mise en application dans un exemple concret, illustré de nombreux détails techniques.

En plus des aspects liés à la performance thermique, ce guide aborde également l'étanchéité à l'air, à l'eau, la diffusion de vapeur d'eau..., notions tout aussi essentielles pour garantir une construction durable.

Dans leur carrière professionnelle, Jean-Marie Hauglustaine et Francy Simon fusionnent les facettes de l'architecte auteur de projet, du chercheur scientifique et du professeur de techniques de construction conduisant à une excellente performance énergétique et environnementale des bâtiments, tant nouveaux que rénovés.

Jean-Marie Hauglustaine est aujourd'hui chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, en Faculté des Sciences de l'Université de Liège. Son équipe de recherche EnergySuD développe des outils livresques (guides pratiques) et informatiques pour aider les concepteurs à intégrer le souci énergétique et environnemental dans le processus de conception de leurs projets. Elle est également impliquée dans l'accompagnement scientifique de la transposition, en Wallonie, des Directives PEB.

Francy Simon est professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain, et continue à appliquer les principes qu'il a enseignés, dans ses projets d'architecture.