

# **FEUILLET D'INFORMATION**

Union belge pour l'Agrément technique dans la construction

2003/1 remplace 02/1

# MURS CREUX ISOLÉS DE FAÇADES EN **MAÇONNERIE**

Depuis les années '70, l'UBAtc délivre des ATG pour l'isolation de murs creux.

Ces ATG déterminent l'aptitude à l'emploi du matériau isolant pour son application dans des murs creux. Les caractéristiques du produit et les exigences du système y sont certifiées (voir figure 1), de même que les caractéristiques déclarées du produit mentionnées dans l'ATG/H d'agrément de produit.

L'agrément technique ATG confirme l'aptitude à l'emploi du matériau isolant pour son application dans le mur creux, ainsi que les prescriptions de pose.

L'agrément de produit ATG/H se limite uniquement à la déclaration des caractéristiques du produit.

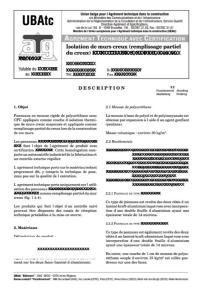




Fig. 1: Exemples de documents ATG

La présente feuille d'information de l'UBAtc présente un aperçu des prescriptions architecturales généralement d'application pour les murs creux isolés à l'aide des matériaux sous agrément ATG. Les règles d'application particulières pour chaque produit sont mentionnées dans les ATG concernés.

Les règles générales ci-après ne peuvent pas être appliquées pour un produit déterminé sans avoir pris connaissance de l'ATG visé. La liste des ATG peut être consultée dans le répertoire Benor-ATG ou sur le site web http://www.ubatc.be.

**UBAtc** 

Union belge pour l'Agrément technique dans la construction c/o Service public fédéral Economie, PME, Classes moyennes & Energie, Qualité de la Construction, Agrément et Spécifications, rue de la Loi 155 B - 1040 Bruxelles
Tél.: +32 (0)2/287.31.53, Fax: +32 (0)2/287.31.51

http://www.ubatc.be, http://info.benoratg.org

#### 1. PRINCIPES DE BASE

A partir des années '50, les murs creux (voir figure 2) ont pris de plus en plus une place prédominante dans l'exécution de façades en Belgique. Initialement, ces dernières n'étaient pas isolées. On a commencé à les isoler de plus en plus à partir de la crise pétrolière des années '70 et des accords de Kyoto.

Outre les ATG pour murs creux isolés de façades en maçonnerie, des ATG sont également disponibles pour les méthodes d'isolation ci-après, que nous n'aborderons pas dans la présente :

- isolation extérieure de façades et systèmes d'isolation extérieure de façades
- isolation de toiture
- panneaux sandwiches
- systèmes de construction à ossature en bois, construction massive, acier et béton
- matériau isolant en combinaison avec des revêtements de façade à joints ouverts
- post-isolation avec remplissage du creux (1)
- isolation des parois intérieures (voir ATG/H)
- isolation de plancher
- vitrage isolant
- isolation de tuyauterie.

L'isolation thermique a connu une expansion considérable au cours des dernières décennies, notamment sous l'impulsion des exigences thermiques strictes sur le plan réglementaire en vigueur dans les régions (voir tableau 1). Ces constructions sont soumises en outre à des exigences en termes d'étanchéité à la pluie, de stabilité et de comportement hygrique et thermique.

Tableau 1 : Aperçu des coefficients de transmission thermique (\*) réglementaires max. admissibles pour murs extérieurs dans le cadre d'actes et de travaux autorisés en matière d'urbanisme pour bâtiments, en vigueur dans les 3 régions :

- Entre le volume protégé (VP) et l'environnement extérieur ou entre le volume protégé et un espace non chauffé, non protégé contre le gel  $k=U \le 0.6~W/(m^2.K)~(**)$
- Entre le VP et un espace non chauffé, mais bien protégé contre le gel k =  $U \le 0.9 \ W/(m^2.K)$
- $\label{eq:continuous} \begin{tabular}{ll} (*) & Outre ces valeurs de $U$ imposées réglementairement, une valeur de $U \le 0,3$ $W/(m^2.K)$ est considérée comme optimale d'un point de vue énergétique. \\ \end{tabular}$
- $\label{eq:continuous} \begin{tabular}{l} (**) Le règlement flamand dispose que dans le cas de véritables parois extérieures, il convient de garantir la valeur de 0,6, compte tenu des ponts thermiques. Si l'on peut démontrer qu'il n'y a pas de risque de condensation, la valeur de 0,6 $$W/(m^2.K)$ peut être remplacée par 1,0 $$W/(m^2.K)$.$

#### Références :

Arrêté du Gouvernement flamand du 30.7.1992 (MB 18.3.1992) Arrêté du Gouvernement wallon du 15.2.1996 (MB 30.4.1996) Arrêté du Gouvernement de Bruxelles-Capitale du 3.6.1999 (MB 9.7.1999) La présente feuille d'information examine de plus près les murs creux de façades en maçonnerie de bâtiments relevant de la classe de climat intérieur I, II et III en termes de production d'humidité. La classe de climat intérieur IV requiert la réalisation d'une étude spéciale (définition classe de climat intérieur : voir annexe 2).

# 2. CONSTRUCTION ET COMPOSITION DU MUR CREUX ISOLÉ

Les murs creux isolés sont dressés de la manière suivante :

- paroi extérieure de mur creux en maçonnerie, parachevée ou non à l'aide de couches d'enduit extérieur ou de peinture
- creux, rempli partiellement ou complètement par une couche d'isolation
- paroi intérieure de mur creux en maçonnerie porteuse ou en béton armé, recouverte ou non de couches d'enduit, etc., ... et parachevée pour être étanche à l'air.

Outre le dédoublement, le mur creux a pour caractéristique d'assurer dans le creux une égalisation de la pression avec la face extérieure, si bien que grâce à la finition étanche à l'air de la paroi intérieure, la pluie ne parvient pas à pénétrer par surpression jusqu'à celle-ci, mais peut être évacuée (voir figure 2). L'exécution étanche à l'air de la paroi intérieure permettra en effet à la pression de l'environnement extérieur et à celle du creux d'être quasiment égales et de différer de celle de l'environnement intérieur.

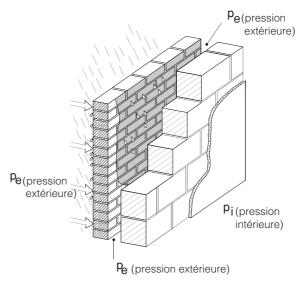


Fig. 2 : Construction du mur creux et égalisation de la pression

L'UBAtc révise pour l'instant le programme de l'étude d'agrément ATG. Au terme de cette révision, les produits appliqués seront soumis non seulement à des exigences, mais la mise en œuvre requerra une étude d'aptitude préalable approfondie et un contrôle rigoureux a posteriori, de sorte que l'isolation a posteriori garantisse un remplissage complet et homogène ainsi qu'une construction hygrothermique correcte.

Un bon choix des matériaux et une exécution soignée permettent la réalisation d'un mur creux parfait (voir figure 3).

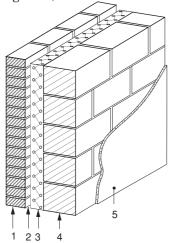


Fig. 3 A: Mur creux isolé à remplissage partiel

- 1. Paroi extérieure
- 2. Lame d'air
- 3. Matériau isolant
- 4. Paroi intérieure
- 5. Enduit (en cas de maçonnerie apparente, au besoin du côté du creux)

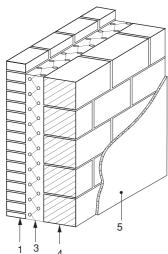


Fig. 3 B: Mur creux isolé à remplissage complet

La présence ou non de lame d'air fait la distinction entre un mur creux isolé à remplissage partiel ou complet.

### Cette lame d'air est de :

- en cas de remplissage partiel: lame d'air ≥ 30 mm sur plan, de manière à avoir une lame d'air libre et continue du côté de la façade, compte tenu des tolérances d'exécution
- en cas de remplissage complet: une lame d'air de 0 mm sur plan, la couche d'isolation assurant un raccord parfait de part et d'autre entre la paroi intérieure et la paroi extérieure du mur creux.

Les deux options donnent lieu à des règles de conception, des conditions de mise en œuvre et des choix de matériaux différents. Les murs creux partiellement remplis constituent l'application courante, les murs complètement remplis n'étant possibles que dans un domaine d'application restreint, moyennant le respect des conditions indiquées ci-après. Chaque ATG mentionne les conséquences des caractéristiques du matériau isolant dans le mur creux.

# 3. PRINCIPES ARCHITECTURAUX DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION

#### 3.1 Généralités

Lors de la **conception** du mur creux, il convient de tenir compte des éléments suivants :

- les exigences thermiques requises (voir tableau 1)
- l'exposition de la façade au vent et à la pluie
- le détail de la façade : superficie, nombre de baies de façade et emplacement des fenêtres, présence de débordement de toiture, de seuils, de larmiers, ...
- la structure de la façade, l'intégration et le raccord avec d'autres éléments de structure (fondations, planchers, toit, ...)
- le choix des matériaux en fonction des caractéristiques des produits, de la conception et de la méthode d'exécution.

À côté de ces règles de conception, les conditions connexes ci-après revêtent une très grande importance et seront dès lors intégrées dans le **dossier d'exécution**:

- Un mur creux isolé requiert une exécution précise accompagnée d'un contrôle qualité approfondi. Conformément à la NBN B 24-401 'Exécution de maçonneries', il est conseillé de dresser d'abord la paroi intérieure du mur creux, de manière à éviter les excédents et les bavures de mortier. Cette méthode garantit une mise en œuvre correcte du matériau isolant et prévient tout transport incontrôlé d'air ou d'eau.
  - Pour évacuer vers l'extérieur l'eau qui s'écoule dans le creux, on placera en bas de ce dernier et audessus de chaque interruption de façade une membrane étanche à l'eau à joints collés ou soudés.
- Des joints verticaux ouverts (au moins 1 par mètre courant) sont prévus au-dessus de chaque couche hydrofuge jusqu'à la membrane. Les ouvertures doivent permettre d'évacuer l'eau.
- On évitera l'effet de pont thermique en prolongeant l'isolation thermique de manière conséquente sur toute la superficie de la façade.
- La paroi intérieure du mur creux requiert une finition étanche à l'air continue, réalisable à l'aide :
- soit d'un matériau isolant étanche à l'air comportant des joints étanches à l'air
- soit d'une paroi intérieure étanche à l'air, comme dans le cas de parois en béton préfabriquées ou réalisées in situ
- soit d'un enduit étanche à l'air appliqué sur la face intérieure ou sur la face du côté du creux de la paroi intérieure.

Sans cette étanchéité à l'air, le risque de pénétration d'eau de pluie est réel. L'étanchéité à l'air doit être assurée également au droit des raccords avec la menuiserie et les autres éléments de façades.

- Il convient d'éviter les courants et les tourbillons d'air le long de l'isolation du creux et autour de cette dernière. À cet effet, les panneaux d'isolation seront posés de manière bien jointive et serrés contre la paroi intérieure du mur creux.
- Pendant la durée des travaux, les murs en construction doivent être protégés contre les intempéries. En cas de temps de pluie et lors des interruptions de travail (en fin de journée ou de semaine, pendant les périodes de congé, ...), il y

- a lieu de recouvrir le côté supérieur des murs et de les protéger contre la pluie.
- Respecter les détails d'exécution décrits au chapitre 4.
- 3.2 Règles spéciales de conception et d'exécution en cas de remplissage partiel ou complet

Le mode de raisonnement diffère selon l'option choisie, c.-à-d. un remplissage partiel ou complet. Les murs creux partiellement remplis constituent l'application courante, les murs creux complètement remplis n'étant possibles que dans un domaine d'application restreint, moyennant le respect des conditions infra. Nous reprenons ci-après un certain nombre de considérations élémentaires, qui sont expliquées spécifiquement et de manière plus approfondie dans l'ATG du matériau visé.

#### 3.2.1 Murs creux à remplissage partiel

Dans ce concept, le creux est rempli partiellement à l'aide d'un matériau isolant.

On part du principe que :

- l'eau de pluie peut s'écouler de part et d'autre de la maçonnerie de façade
- des courants d'air peuvent se produire dans le creux.

Pour obtenir un mur creux efficace de ce type, il convient de respecter, outre les règles mentionnées au § 3.1, au moins les conditions particulières ciaprès :

- dresser d'abord entièrement la paroi intérieure du mur creux
- parachever celle-ci de manière à la rendre étanche à l'air
- poser et fixer les matériaux isolants de manière à réaliser une couche d'isolation parfaitement jointive.
  - dans le cas de panneaux de laine minérale, elle est réalisée par l'enchevêtrement des fibres des panneaux
  - s'il s'agit de panneaux synthétiques, on veillera à un parachèvement des bords (rainure et languette ou feuillure) de nature à permettre la réalisation d'un joint fermé autour du panneau. Les joints du panneau peuvent éventuellement être complétés par des bandes de joint. On prévoira aussi que l'eau d'infiltration soit évacuée vers l'extérieur.
  - dans le cas de panneaux de verre cellulaire, on la réalisera à l'aide d'un matériau de jointoiement
- pour d'autres matériaux, on respectera les prescriptions ATG concernées.
- en raison de la charge d'humidité dans la maçonnerie de façade, les briques de parement, cf. NBN B23-002 'Briques de parement' et le mortier doivent être normalement résistants au gel
- évacuer l'eau d'infiltration éventuelle vers l'extérieur au moyen de crochets d'ancrage bien placés de manière inclinée et de membranes d'étanchéité.

## Par ailleurs, il y a lieu d'éviter également :

- que du mortier tombe dans le creux partiellement rempli ou la présence d'excédents de mortier dans ce dernier en dressant la maçonnerie de façade
- les courants d'air entre la couche d'isolation et la paroi intérieure du mur creux.

3.2.2 Murs creux à remplissage complet

Ce concept consiste à remplir totalement le creux à l'aide d'un matériau isolant.

On part du principe:

- que l'eau de pluie ne peut s'écouler librement que sur la face extérieure de la maçonnerie de façade
- qu'il n'y a pas de courant d'air.

Pour obtenir un mur creux de ce type qui soit efficace, l'auteur de projet évaluera le degré d'exposition à la pluie de son projet et satisfera aux conditions ci-après lors de l'exécution :

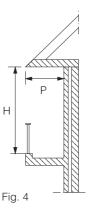
- de préférence, dresser d'abord et complètement la paroi intérieure du mur creux
- parachever la paroi intérieure de manière à la rendre étanche à l'air
- poser les matériaux isolants de manière à réaliser une couche d'isolation présentant une continuité. Dans le cas de panneaux de laine minérale, elle est réalisée par l'enchevêtrement des fibres des panneaux. Pour les autres matériaux isolants, il y a lieu de respecter les prescriptions ATG qui s'y rapportent
- en raison de la charge d'humidité plus élevée dans la maçonnerie de façade, les briques de parement, cf. NBN B23-002 'Briques de parement' et le mortier seront très résistants au gel.
- il convient d'évacuer l'eau qui s'est éventuellement infiltrée à l'aide de crochets d'ancrage bien placés de manière inclinée, et de membranes d'étanchéité.

Il est déconseillé de remplir complètement le creux :

- en cas de façades fortement exposées :
  - les façades de bâtiments en ville ou en zone rurale d'une hauteur supérieure à 25 mètres
  - les façades de bâtiments au littoral d'une hauteur supérieure à 8 mètres
  - toutes les façades de bâtiments situés le long de la plage.

Dans les cas où la hauteur des bâtiments est inférieure, la presence d'un élément en saillie donne un effet positif à l'exposition. On entend par "saillie" un balcon, une corniche, une gouttière, ... dont la profondeur (P) est au moins égale au 1/4 de la hauteur de la façade (H) protégée sous cette même saillie (voir figure 4)

 en cas de façades présentant un effet de parevapeur important, par ex. une maçonnerie de façade parachevée à l'aide de peintures ou de mortiers pare-vapeur ou en cas de briques de parement émaillées.



3.3 Aperçu des caractéristiques du matériau isolant

Le tableau 2 donne un aperçu des caractéristiques les plus importantes et des exigences minimales posées aux matériaux isolants pour l'isolation de murs creux :

Tableau 2 : Aperçu des caractéristiques les plus importantes et des exigences minimales posées aux matériaux isolants pour l'isolation de murs creux. L'UBAtc a élaboré des procédures pour les isolants indiqués en tenant compte les normes harmonisées de produit (NBN EN 13162 à NBN EN 13167). Pour les autres matériaux, on élaborera le cas échéant des procédures similaires.	tiques les plus importantes e te les normes harmonisées c	t des exigences minima le produit (NBN EN 13	ıles posées aux matériaux is 3162 à NBN EN 13167). Po	olants pour l'isolation de m ur les autres matériaux, or	urs creux. L'UBAtc a élaboré de: 1 élaborera le cas échéant des p	Tableau 2: Aperçu des caractéristiques les plus importantes et des exigences minimales posées aux matériaux isolants pour l'isolation de murs creux. L'UBAtc a élaboré des procédures pour les matériaux autres matériaux, on élaborera le cas échéant des procédures similaires.
	Laine minérale (MW)			Mousses synthétiques		Verre cellulaire
	laine de verre (MWG) et laine de roche (MWR)	EPS	XPS	PUR/PIR (revêtu)	PF (revêtu)	90
Parachèvement des bords	bords droits	rainure et l	rainure et languette ou feuillure avec des tolérances correspondantes	des tolérances corresponda	ntes	bords droits
Tolérance en : longueur (l) (NBN EN 822)	± 2 %	L1	± 8 mm (l < 1000 mm) ± 10 mm (l ≥ 1000 mm)	±5 mm (l < 1000 mm) ±7,5 mm (l < 2000 mm) ±10 mm (l ≤ 4000 mm)	± 5 mm (1 < 1250 mm) ± 7,5 mm (1 ≤ 2000 mm) ± 10 mm (1 ≤ 4000 mm)	± 2 mm - non revêtu ± 5 mm - revêtu
largeur (b) (NBN EN 822)	$\pm$ 1,5 %	W1	± 8 mm (b < 1000 mm)	± 15 mm (l > 4000 mm) ± 5 mm (b < 1000 mm) + 7 5 mm (b < 9000 mm)	± 15 mm (1 > 4000 mm) ± 3 mm (b < 1250 mm) + 7 5 mm (b < 9000 mm)	± 2 mm
épaisseur (d) (NBN EN 823)	T3, T4, T5	T1	T1	T2	T1, T2	$\pm 2~\mathrm{mm}$
Equerre (NBN EN 824)	Tevelicuemente 10, 11 ≤ 5 mm/m	S1	≤5 mm/m	≤ 6 mm/m	$S_{l,b} \le 6 \text{ mm/m}$	$S_{l,b} \le 6 \text{ mm/m}$ $S < 2 \text{ mm}$
Planéité (NBN EN 825)	≥ 6 mm	P4	$\leq 3/5 \text{ mm } (\leq 75 \text{ dm}^2)$ $\leq 3/5/7 \text{ mm } (> 75 \text{ dm}^2)$	$\le 5 \text{ mm } (\le 75 \text{ dm}^2)$ $\le 10 \text{ mm } (> 75 \text{ dm}^2)$	$c_d \ge 2 \text{ min.}$ $c \le 10 \text{ mm } (d < 50 \text{ mm})$ $c < 7,5 \text{ mm } (50 \le d \le 100 \text{ mm})$ c < 5  mm  (A > 100  mm)	2 mm ≤ 2 mm
Coefficient de conductivité thermique $\lambda_{\rm D}$ en W/m.K (NBN EN 12667) + Annexe A de la norme produit + éventuellement Annexe C de la norme produit Substant de calcul $R_{\rm ext}$ en m².K/W	$0,032 - 0,045$ $R_{col} = R_{D}$	$0,032 - 0,040$ $R_{col} = R_{r}$	$0,029 - 0,040$ $R_{\rm ini} = R_{\rm in}$	$0,020 - 0,030$ $R_{col} = R_{ro}$	$R_{\rm e,o} = R_{ m D}$	$0,040 - 0,050$ $R_{col} = R_{r}$
		(voir ATG)	(voir ATG)	(voir ATG)	(voir ATG)	(voir ATG)
Absorption d'eau (NBN EN 1609) Stabilité dimensionnelle après exposition à la chaleur et à l'humidité (NBN EN 1604) Perméabilité à la vapeur d'eau (NBN EN 12086) Compression (NBN EN 826)	\$\leq 1 \text{ kg/m}^2\$  48 h 23°C 90 % RV \$\leq 1 \%\$  cfr. NBN EN 12524  tabulated values	DS (70, 90)1 $\leq 1\%$ cfr. NBN EN 13163 tabulated values $\geq CS (10) 60$ A1-F	- 48 h 70 °C 90 % RV ≤ 5 % cfr. NBN EN 12524 tabulated values ≥ CS (10\Y) 100 A1-F	-  DS(TH)2  cfr. NBN EN 12524  tabulated values  CS (10\Y) 100  A1-F		$\leq$ 0,5 kg/m <sup>2</sup> 48 h 70 °C 90 % RV $\Delta \epsilon_{i,b} \leq$ 0,5 % $\Delta \epsilon_{e,d} \leq$ 1 % cfr. NBN EN 12524 tabulated values $\geq$ CS (Y) 400

### 4. DÉTAILS & DESSINS D'EXÉCUTION

Les détails d'exécution ci-après seront respectés lors de la construction du mur creux, en plus des principes de conception et d'exécution mise en œuvre architecturaux (voir § 3):

#### 4.1 Raccord avec la fondation

La fondation aura une largeur au moins égale à la largeur totale du mur creux. Le tableau 3 indique les largeurs courantes des murs creux, que l'on peut reporter facilement sur la maçonnerie de fondation ou les semelles de fondation en béton.

Tableau 3 : larg	eurs courantes de	s murs cr	eux
Largeur totale	Largeur de la	Largeur	Largeur de la
du mur creux	paroi extérieure	du	paroi intérieure
(mm)	du mur creux	creux	du mur creux
	()	()	( )
	(mm)	(mm)	(mm)
300	90	70	( <b>mm</b> ) 140
300 330	, ,	, ,	

En cas d'utilisation d'un creux et/ou d'une paroi intérieure plus large, il conviendra d'examiner certains aspects de construction.

Si la paroi extérieure du mur creux assure également un rôle porteur sur le plan structurel, le mur creux devra dès lors être calculé et exécuté en conséquence. Cette technique n'intervient en Belgique que pour des bâtiments relativement hauts dont les façades sont construites en maçonnerie armée porteuse ou parois en béton.

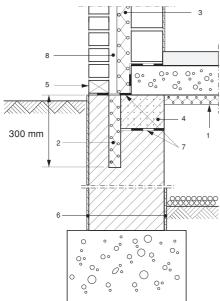


Fig. 5:

- 1. Isolation du plancher
- 2 Isolation de la fondation
- 3. Isolation du creux
- 4. Bloc de construction isolant
- 5. Joint vertical ouvert
- 6. Protection de la maçonnerie
- 7. Membrane étanche à l'eau
- 8. Lame d'air

### 4.2 Baies de façade

Dans le cas de baies de façade, on veillera à ce que :

- des solins en plomb et des membranes d'étanchéité repliées et posées horizontalement évacuent vers l'extérieur les eaux pluviales d'infil-
- les linteaux, les seuils et les caissons de volet, ... présentent une coupure thermique.

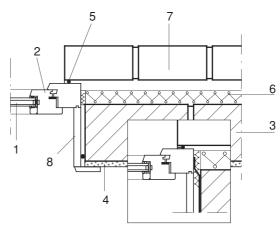
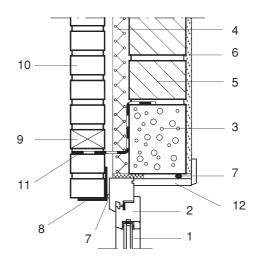
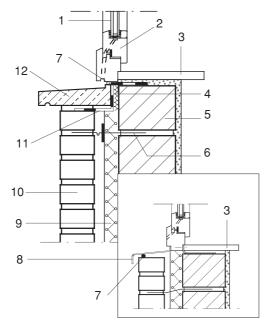


Fig. 6:

- 1. Vitrage
- 2. Châssis
- 3. Maçonnerie porteuse
- 4. Enduit
- 5. Fermeture du joint
- 6. Matériau isolant
- 7. Paroi extérieure du mur creux
- 8. Cadre de porte ou de fenêtre



- Fig. 7: 1. Vitrage
- 2. Châssis
- 3. Linteau
- 4. Matériau isolant
- 5. Paroi intérieure du mur creux
- 6. Enduit
- 7. Fermeture du joint
- 8. Profilé d'angle métallique
- 9. Joint vertical ouvert
- 10. Paroi extérieure du mur creux
- 11. Membrane étanche à l'eau
- 12. Cadre de porte ou de fenêtre



- Fig. 8:
  1. Vitrage
  2. Châssis
- 3. Tablette de fenêtre
- 4. Matériau isolant
- 5. Maçonnerie porteuse
- 6. Crochet d'ancrage
- 7. Fermeture du joint
- 8. Appui de fenêtre métallique
- 9. Matériau isolant
- 10. Paroi extérieure du mur creux
- 11. Membrane étanche à l'eau
- 12. Appui de fenêtre

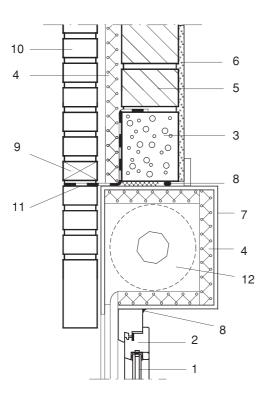
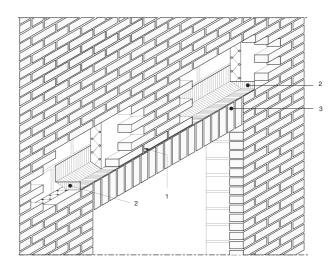


Fig. 9:

- 1. Vitrage
- 2. Châssis
- 3. Linteau
- 4. Matériau isolant
- 5. Paroi intérieure du mur creux
- 6. Enduit

- Caisson de volet
- Fermeture du joint
- Joint vertical ouvert
- 10. Paroi extérieure du mur creux 11. Membrane étanche à l'eau
- 12. Volet



- 1. Joint vertical ouvert
- 2. Bords repliés de la membrane étanche à l'eau
- 3. Maçonnerie de façade

## 4.3 Raccords avec le plancher, le balcon, le toit

Outre les précautions à prendre concernant l'évacuation des eaux et les ponts thermiques comme pour les baies de façades, il conviendra par ailleurs de respecter les largeurs d'appui de ces éléments de plancher, de balcon et de toiture.

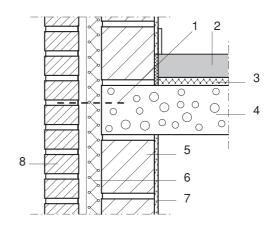
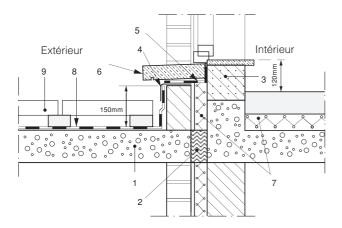


Fig. 11:

- 1. Ancrage supplémentaire
- 2. Chape
- 3. Isolation du plancher
- 4. Dalle de plancher
- 5. Maçonnerie portante
- 6. Matériau isolant
- 7. Enduit
- 8. Paroi extérieure du mur creux



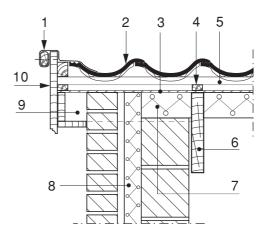
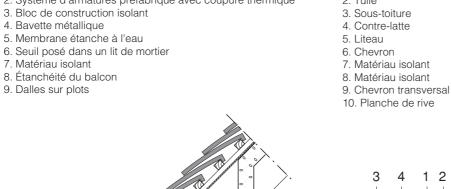
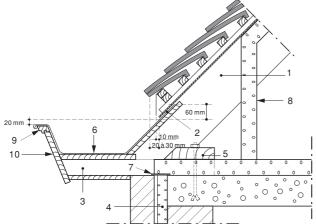


Fig. 12:

- 1. Dalle portante
- 2. Système d'armatures préfabriqué avec coupure thermique
- 3. Bloc de construction isolant

- 8. Étanchéité du balcon
- 9. Dalles sur plots





1 2 · · · · · · · 0.000 0.0 0000

- Fig. 13 :

  1. Chevron ou ferme fixé à la sablière

  2. Bavette du chéneau sur la sous-toiture
- 3. Support du chéneau
- 4. Isolation de la façade
- 5. Sablière sur le blochet
- 6. Fond donnant l'inclinaison voulue au chéneau
- 7. Étanchéité mur/toiture en cas de remplissage partiel du creux
- 8. Isolation de la toiture
- 9. Moulure de rive
- 10. Planche de rive extérieure

- Fig. 15 : 1. Étanchéité
- 2. Recouvrement du creux
- 3. Profilé de rive

Fig. 14 : 1. Bande métallique

2. Tuile

- 4. Soudure
- 5. Maçonnerie (isolante)

#### 4.4 Crochets d'ancrage

La paroi intérieure portante sert à la fixation tant de la maçonnerie extérieure que de l'isolation du creux. Il y a lieu de respecter le nombre de crochets d'ancrage (figures 16 & 17) mentionnés ci-après :

- pour fixer la maçonnerie extérieure selon les règles de l'art, il convient de poser min. 5 crochets d'ancrage par m² dans les joints horizontaux de la maçonnerie (voir figure 16) ou de les fixer par forage dans la paroi intérieure du mur creux (figure 17).
- pour fixer, soutenir et presser l'isolation du creux, il convient de prévoir pour les panneaux un minimum de cinq fixations par m². Pour ce faire, il est permis d'utiliser les crochets d'ancrage, pour autant qu'ils comportent des plaquettes de serrage (voir figure 18).

On veillera à répartir suffisamment ces crochets d'ancrage lors de la pose, un écartement de 60 cm maximum étant conseillé tant horizontalement que verticalement (voir figure 19).

Les crochets d'ancrage sont en acier galvanisé ou inoxydable. Ils présentent un casse-goutte ou une rosette (plaquette de serrage) et sont intégrés à la maçonnerie ou posés par forage.

En cas de mur creux isolé à remplissage partiel, des plaquettes de serrage (rosettes synthétiques) qui pressent les panneaux contre la paroi intérieure du mur creux sont appliquées sur ces crochets d'ancrage. À cet effet, on pourra éventuellement recourir à d'autres systèmes de fixation. La distance entre les points de fixation et le bord, mesurée perpendiculairement à partir du bord, s'établit en-



Fig. 16 : Exemple de crochet d'ancrage à intégrer dans la maconnerie

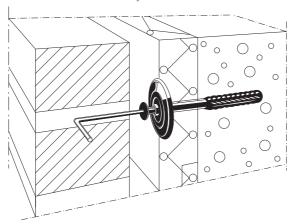


Fig. 17 : Exemple de crochet d'ancrage dans la paroi intérieure du mur creux

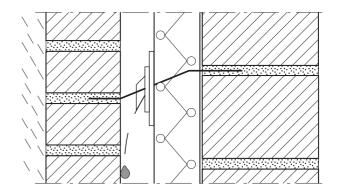
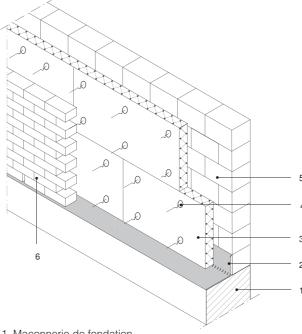


Fig. 18 : Exemple de crochet d'ancrage avec plaquette de serrage (rosette)



- 1. Maçonnerie de fondation
- 2. Membrane étanche à l'eau
- 3. Matériau isolant
- 4. Fixation
- 5. Paroi intérieure du mur creux
- 6. Paroi extérieure du mur creux

Fig. 19 : Schéma de fixation des crochets d'ancrage

#### 5. ANNEXE 1 : CALCUL DE LA VALEUR U

Le coefficient de transmission thermique "U" (ancien symbole belge "k") sera calculé selon les formules classiques, tout en tenant compte des facteurs de correction applicables (voir STS 08.82):

- la résistance thermique du mur creux est réduite par un facteur de correction tenant compte des tolérances de pose pendant l'exécution des travaux
- le coefficient de transmission thermique est augmenté par des facteurs de correction selon la norme NBN EN ISO 6946, pour tenir compte des déperditions calorifiques supplémentaires résultant de la présence des fentes dans la couche d'isolation ou des fixations mécaniques à travers l'isolation.

Concrètement, le calcul s'effectue de la façon suivante :

$$\begin{split} R_{tot} &= R_{si} + R_1 + R_2 + ... + R_{isol} + ... + R_n + R_{se} + R_{corr} \, (1) \\ U &= 1 \, / \, R_{tot} \\ U_c &= U + \Delta U_g + \Delta U_f \end{split} \tag{2}$$

Avec:

 $R_{_{tot}}$  : résistance thermique du mur creux

 $R_{\rm si}^{
m tot}$ : résistance thermique d'échange à la surface intérieure du mur creux, selon la NBN EN ISO 6946. Dans le cas des murs creux,  $R_{\rm si}$  = 0,13 m².K/W

 $R_1,\ R_2,\ \dots\ R_n$ : résistance thermique (valeur de calcul) des autres couches composant le mur creux (m².K/W), comme la maçonnerie de façade, la maçonnerie intérieure et la couche d'enduit. En ce qui concerne l'isolation d'un creux à remplissage partiel, on prendra en compte une résistance thermique pour la lame d'air de 3 cm; elle s'établit à 0,09 m².K/W pour un creux moyennement ventilé et à 0,18 m².K/W pour un creux non-ventilé

 $R_{isol}$ : pour une couche homogène d'isolation,  $R_{isol}$  =  $R_{D}$  la résistance thermique déclarée de l'isolation pour l'épaisseur concernée

 $R_{\rm se}$ : résistance thermique d'échange à la surface extérieure du mur creux, selon la NBN EN ISO 6946. Dans le cas des murs creux,  $R_{\rm se}$  =  $0.04~{\rm m}^2.{\rm K/W}$ 

 $R_{\rm corr}$ : facteur de correction = - 0,10 m².K/W tenant compte des tolérances de pose lors de l'exécution des murs creux

U : coefficient de transmission thermique pour murs creux

 $U_c$ : coefficient de transmission thermique pour murs creux, corrigé conformément à la NBN EN ISO 6946

 $\Delta U_{\rm g}$ : facteur d'augmentation sur la valeur U pour des fentes dans la couche d'isolation, conformément à la NBN EN ISO 6946. Pour une exécution conformément à l'ATG,  $\Delta U_{\rm g}=0$ 

 $\Delta U_{_{\mathrm{f}}}$ : facteur d'augmentation sur la valeur U tenant compte des fixations mécaniques tra-

versant la couche d'isolation, conformément à la NBN EN ISO 6946. Le calcul s'effectue de la façon suivante :

$$\Delta U_f = \alpha \; \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_i} \; \left( \frac{R_{isol}}{R_{tot}} \right)^2 \; , \; avec \eqno(4)$$

 $\alpha$  coefficient ( $\alpha = 0.8$ )

 $\begin{array}{ll} \lambda_{_{f}} & la \, conductivit\'e \, thermique \, de \, la \, fixation \, (p.ex. \, \lambda_{_{f}} \\ & = 50 \, \, W/m.K \, pour \, acier) \end{array}$ 

 $n_f$  nombre de fixations par  $m^2$  (p.ex.  $n_f = 5$ )

 $A_r$  la section par fixation (p.ex.  $A_r = 1,3.10^{-5} \text{ m}^2$ )

 d<sub>i</sub> la longueur de la fixation pénétrant l'isolation, en général d<sub>i</sub> = l'épaisseur de l'isolation

 $R_{isol}$  résistance thermique de l'isolation (voir supra)  $R_{tot}$  résistance thermique du mur creux (voir supra).

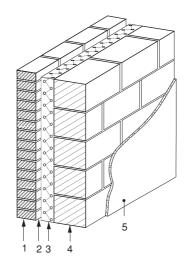
Remarque : aucune correction ne sera appliquée pour :

- les crochets d'ancrage dans un creux non-isolé
- les crochets d'ancrage de murs en maçonnerie avec la paroi intérieure de mur creux en bois
- si la valeur  $\lambda$  du crochet < 1 W/m.K.

#### Exemple de calcul pour murs creux

### Cas 1: Mur creux isolé à remplissage partiel

Données



$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
  
 $R_{so} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$ 

- 1. Paroi extérieure :  $\lambda_{1Ue}$  = 1,31 W/m.K; d = 9 cm;  $R_1$  = 0,0687 m².K/W.
- 2. Lame d'air d'au moins 3 cm, (moyennement ventilée);  $R_2 = 0.09 \text{ m}^2$ .K/W.
- 3. L'épaisseur de l'isolation d dépend de la valeur U requise et de la valeur  $\lambda_D$  de l'isolation.
- 4. Paroi intérieure en blocs de construction rapide :  $\lambda_{ATI} = 0.41 \text{ W/m.K}; d = 14 \text{ cm}; R_4 = 0.3415 \text{ m}^2.\text{K/W}.$
- 5. Enduit (plâtre) :  $\lambda_{5Ui}$  = 0,52 W/m.K; d = 1 cm;  $R_5$ = 0,0192 m².K/W.

Les épaisseurs et les valeurs  $\lambda$  concernées dépendent du choix des matériaux et ne sont donc données qu'à titre d'exemple. Référence sera faite à la NBN B 62-

002/A1 pour déterminer les valeurs à appliquer dans des cas spécifiques.

$$R_{corr} = -0.10 \text{ m}^2.\text{K/W}.$$

En ce qui concerne les déperditions calorifiques via les crochets d'ancrage pénétrant l'isolation, on se base sur l'utilisation des crochets en acier  $(\lambda_{\rm f} = 50~{\rm W/m.K})$ , 5 par m²  $(n_{\rm f} = 5)$ , avec un diamètre de 4 mm  $(A_{\rm f} = 1,3.10^{-5}~{\rm m}^2)$ .

En partant des formules (1), (2), (3) et (4) et tenant compte des données citées, le coefficient de transmission corrigé  $U_c$  du mur creux, est calculé de la façon suivante :

$$U_{c} = \frac{1}{R_{si} + R_{1} + ... + R_{D} + ... R_{n} + R_{se} + R_{corr}} + \alpha \frac{\lambda_{f} A_{f} n_{f}}{d_{i}} \left( \frac{R_{D}}{R_{si} + R_{1} + ... + R_{D} + ... R_{n} + R_{se} + R_{corr}} \right)^{2}$$
(5)

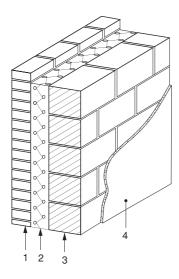
Pour déterminer l'épaisseur nécessaire de l'isolation, on admet que  $R_D = d/\lambda_D$  arrondi vers le bas à 0,05 m².K/W. Ceci donne des résultats légèrement plus sécuritaires.

Le tableau ci-dessous donne la valeur  $U_c$  en fonction de l'épaisseur et la valeur  $\lambda_D$  de l'isolation. Des combinaisons résultant en une valeur  $U_c$  supérieure à l'exigence réglementaire de 0,6 W/m².K pour les murs creux, ne peuvent pas être retenues. Le tableau donne également les combinaisons de  $\lambda_D$ /épaisseur qui correspondent à l'exigence optimale pour les murs extérieurs,  $U_c \le 0,3$  W/m².K.

							Valeu	$\mathbf{r} \lambda_{\mathbf{p}} \mathbf{de}$	l'isola	tion (W	7/m.K)						
		0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,030	0,032	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050
	30	0,52	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,70	0,72	0,75	0,77	0,77	0,80	0,83	0,83	0,86	0,86
	35	0,47	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,77	0,77	0,80	0,80
	40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53	0,56	0,57	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67	0,69	0,72	0,74	0,74
	45	0,39	0,42	0,44	0,47	0,49	0,51	0,53	0,56	0,57	0,60	0,62	0,63	0,65	0,67	0,69	0,69
	50	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,47	0,49	0,52	0,54	0,55	0,57	0,60	0,61	0,63	0,65	0,65
<u> </u>	55	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,54	0,55	0,56	0,59	0,61	0,61
de l'isolation (mm)	60	0,31	0,33	0,35	0,37	0,40	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,50	0,52	0,54	0,55	0,56	0,58
n (j	65	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,55
tio	70	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52
ola	75	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
l'is	80	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47
de	85	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,42	0,44	0,44	0,45
nr	90	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,39	0,40	0,41	0,43	0,43
sse	95	0,21	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42
Epaisseur	100	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
回	105	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39
	110	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,31	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,37
	115	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36
	120	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
	125	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34
	130	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33

## Cas 2: Mur creux isolé à remplissage complet

Données



 $R_{\rm si} = 0.13 \ m^2. \text{K/W}$  $R_{\rm se} = 0.04 \ m^2. \text{K/W}$ 

1. Paroi extérieure :  $\lambda_{_{1\rm Ue}}$  = 1,31 W/m.K; d = 9 cm;  $R_{_1}$  = 0,0687  $m^2.K/W.$ 

- 2. L'épaisseur de l'isolation d dépend de la valeur U requise et de la valeur  $\lambda_{_{\! D}}$  de l'isolation.
- 3. Paroi intérieure en blocs de construction rapide :  $\lambda_{_{3Ui}}=0,41~W/m.K;~d=14~cm;~R_{_3}=0,3415~m^2.K/W.$
- 4. Enduit (plâtre) :  $\lambda_{\rm 4Ui}$  = 0,52 W/m.K; d = 1 cm;  $R_{\rm 4}$  = 0,0192 m².K/W.

Les épaisseurs et valeurs  $\lambda$  concernées dépendent du choix des matériaux et ne sont donc données qu'à titre d'exemple. Référence sera faite à la NBN B 62-002/A1 pour déterminer les valeurs à appliquer dans des cas spécifiques.

$$R_{corr} = -0.10 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

En ce qui concerne les déperditions calorifiques par les crochets d'ancrage pénétrant l'isolation, on se base sur l'utilisation des crochets en acier ( $\lambda_{\rm f} = 50$  W/m.K), 5 par m² (n<sub>f</sub> = 5), avec diamètre de 4 mm (A<sub>f</sub> = 1,3.10<sup>-5</sup> m²).

En partant des formules (1), (2), (3) en (4), et tenant compte des données citées, le coefficient de transmission corrigé  $U_{\rm c}$  du mur creux, est calculé de la façon suivante :

$$U_{c} = \frac{1}{R_{si} + R_{1} + ... + R_{D} + ... R_{n} + R_{se} + R_{corr}} + \alpha \frac{\lambda_{f} A_{f} n_{f}}{d_{i}} \left( \frac{R_{D}}{R_{si} + R_{1} + ... + R_{D} + ... R_{n} + R_{se} + R_{corr}} \right)^{2}$$
(5)

Pour déterminer l'épaisseur nécessaire de l'isolation, on admet que  $R_D$ =  $d/\lambda_D$  arrondi vers le bas à 0,05 m².K/ W. Ceci donne des résultats légèrement plus sévères que nécessaire.

Le tableau ci-dessous donne la valeur  $U_c$  en fonction de l'épaisseur et la valeur  $\lambda_D$  de l'isolation. Des combinaisons résultant en une valeur  $U_c$  supérieure à l'exigence réglementaire de 0,6 W/m².K pour les murs creux, ne peuvent pas être retenues. Le tableau donne également les combinaisons de  $\lambda_D$ /épaisseur qui correspondent à l'exigence optimale pour les murs extérieurs,  $U_c \le 0,3$  W/m².K.

							Valeu	$\mathbf{r} \lambda_{\mathbf{D}} \mathbf{de}$	l'isola	tion (W	//m.K)						
		0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,030	0,032	0,034	0,036	0,038	0,040	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050
	30	0,55	0,59	0,61	0,65	0,68	0,70	0,75	0,77	0,80	0,83	0,83	0,86	0,90	0,90	0,93	0,93
	35	0,49	0,53	0,55	0,59	0,61	0,64	0,68	0,70	0,72	0,74	0,77	0,80	0,83	0,83	0,86	0,86
	40	0,44	0,47	0,50	0,54	0,56	0,59	0,60	0,64	0,65	0,67	0,69	0,72	0,74	0,77	0,79	0,79
	45	0,40	0,44	0,46	0,49	0,51	0,53	0,56	0,58	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,74
	50	0,37	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,52	0,54	0,57	0,58	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,69
3	55	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55	0,57	0,58	0,59	0,63	0,65	0,65
m	60	0,32	0,34	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,55	0,56	0,58	0,59	0,61
n (c	65	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58
tio	70	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,51	0,52	0,53	0,55
ola	75	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,50	0,51	0,52
l'is	80	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49
de	85	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,37	0,39	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47
, n	90	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45
sse	95	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,41	0,43	0,43
Epaisseur de l'isolation (mm)	100	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42
国	105	0,19	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40
	110	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,32	0,34	0,35	0,37	0,38	0,39
	115	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,37	0,37
	120	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36
	125	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35
	130	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,30	0,32	0,33	0,34
	135	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32	0,33
	140	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
	145	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31
	150	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
	155	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
	160	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,19	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,28

## 6. ANNEXE 2 : CLASSE DE CLIMAT IN-TÉRIEUR - CONDENSATION

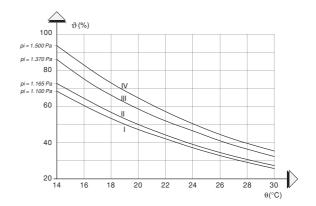
Pour éviter une condensation inacceptable résultant de la convection de d'air intérieur humide et de la diffusion de vapeur d'eau ou d'humidité de construction à éliminer, il convient de vérifier la nécessité ou non d'un écran supplémentaire étanche à l'air et pare-vapeur.

Cette nécessité dépend de différents facteurs, dont le climat extérieur et intérieur, la présence d'humidité dans la construction, les caractéristiques des matériaux (valeurs  $\lambda, \mu_d$  et comportement à l'humidité), ...

Le graphique et le tableau ci-dessous décrivent les 4 classes de climat intérieur en fonction des paramètres suivants :

- en abscisse : θ = température moyenne dans le bâtiment (°C)
- en ordonnée, φ = humidité moyenne dans le bâtiment (%)
- pi : charge de vapeur dans le bâtiment (Pa).

Si le calcul de la condensation hygrothermique (cf. prEN ISO 13788) fait apparaître un risque de condensation résiduelle, il convient de poser un écran approprié étanche à l'air et pare-vapeur sur la 'face chaude' de la couche d'isolation.



Classes de climat intérieur	Exemples	Moyenne annuelle de la charge de vapeur intérieure p <sub>i</sub> (Pa)	Variations moyennes de la charge de vapeur pendant 4 semaines $(\mathbf{p}_{_{\! i}} \cdot \mathbf{p}_{_{\! e}})$ (Pa)
I Bâtiments produisant pas	- entrepôts pour marchandises sèches	1100 Pa ≤ p <sub>i</sub> < 1165	$<159$ - $10$ . $\theta_{_{\rm e}}\left(^*\right)$
ou peu d'humidité	- églises, salles d'exposition, garages,		
en permanence	ateliers		
II Bâtiments présentant une	- grandes habitations	$1165 \text{ Pa} \le p_{i} < 1370$	$< 436$ - $22$ . $\theta_{\rm e}$
production d'humidité	- écoles		
limitée par m³ et une	- magasins		
bonne ventilation	- bureaux non-climatisés		
	- salles de sport et halls polyvalents		
III Bâtiments présentant une	- (petites) habitations, appartements	$1370 \text{ Pa} \le p_{i} < 1500$	$<713$ - $22$ . $\theta_{\rm e}$
production d'humidité	- hôpitaux, maisons de repos et de soins		
par m³ plus importante	- salons de consommation,		
et une ventilation modérée	restaurants, salles de fêtes, théâtres		
à suffisante	- bâtiments faiblement climatisés $(HR \leq 60~\%)$		
IV Bâtiment à forte	- bâtiments fortement climatisés	p <sub>i</sub> ≥ 1500	> 713 - 22 . 0 <sub>e</sub>
production d'humidité	(HR > 60 %)	- 1	e
	- centres d'hydrothérapie		
	- piscines (couvertes)		
	- locaux industriels humides comme		
	les blanchisseries, imprimeries,		
	brasseries, papeteries		

Remarque : les bâtiments en surpression et les bâtiments à taux d'humidité très variable (par ex. les dancings) requièrent une étude spéciale en matière de physique des bâtiments.

(\*) :  $\theta_e$  = température extérieure