



L'isolation thermique des bâtiments et l'étanchéité à l'air sont deux performances complémentaires. Avec la ventilation hygiénique des bâtiments, ces éléments constituent les piliers de la conception, de la construction et de la rénovation de bâtiments confortables et efficaces sur le plan énergétique. Pour ce qui est des nœuds constructifs, l'intégration de ces performances consiste à assurer une continuité tant au niveau de l'isolation thermique que de la barrière à l'air. Si l'impact de l'isolation thermique peut aisément être déterminé par calcul, ce n'est pas le cas de la performance d'étanchéité à l'air qui doit être mesurée au moyen d'un essai de pressurisation.

# Aspects énergétiques des nœuds constructifs

## 1 Concevoir un nœud constructif du point de vue de l'isolation thermique et de l'étanchéité à l'air

Les nœuds constructifs ont un impact sur la performance thermique des bâtiments. Leur importance relative est d'autant plus grande que le niveau de performance visé est élevé. Les déperditions thermiques liées à ces nœuds peuvent être calculées et font notamment l'objet de normes. Leur effet est également pris en compte dans les réglementations régionales sur la performance énergétique des bâtiments (PEB).

En ce qui concerne la performance hygrothermique, on attend, d'une part, qu'un nœud constructif permette de limiter les déperditions thermiques par transmission (quantification au moyen des facteurs  $\psi$  et  $\chi$ ) et, d'autre part, que le risque de condensation superficielle ou de développement de moisissures au droit de ce nœud soit réduit, voire inexistant. Ces deux performances sont liées. Le risque de condensation et de développement de moisissures peut être évalué par calcul numérique sur la base du facteur de température ( $f$ ). Il existe des recommandations quant au facteur de température limite à atteindre pour limiter ce risque.

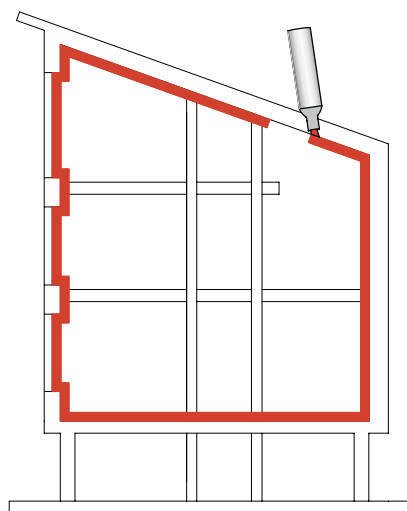
Aucune exigence réglementaire concernant la performance d'étanchéité à l'air ne s'applique aux nœuds constructifs en tant que tels. La présence éventuelle de fuites d'air se reflétera dans la performance mesurée lors d'un test de pressurisation réalisé au niveau du bâtiment. Cette performance ne peut pas être déterminée par calcul. Les fuites d'air influencent la performance énergétique du bâtiment via les pertes par infiltration/exfiltration d'air qu'elles engendrent. Elles peuvent également être à l'origine de problèmes de condensation interne.

Tant pour les performances thermiques que pour l'étanchéité à l'air, le principe général est d'assurer la continuité de l'isolation thermique et de la barrière à l'air au niveau du volume protégé du bâtiment. Ce principe doit être appliqué en premier lieu à l'échelle du bâtiment au moment de la définition du volume protégé, puis à l'échelle des nœuds constructifs qui se trouvent dans ce dernier. La barrière à l'air doit être adaptée en fonction de l'isolation thermique. Celle-ci servant également d'écran à la vapeur dans la plupart des cas, elle doit en effet être placée le plus près possible de l'isolant et du côté chaud de ce dernier.

## 2 Performance hygrothermique

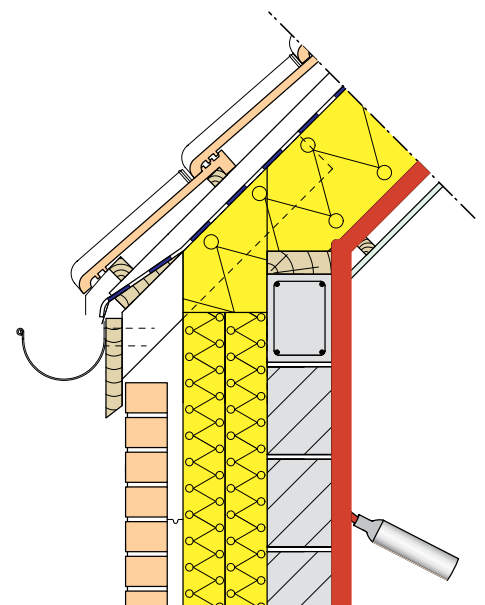
### 2.1 Prise en compte des nœuds constructifs dans la réglementation PEB

Les exigences réglementaires relatives à



l'isolation thermique ont été régulièrement adaptées et considérablement renforcées ces dernières années, tant en matière d'isolation des parois courantes (valeur  $U_{max}$ ) qu'en matière d'isolation globale du bâtiment (niveau K) (voir [Les Dossiers du CSTC 2011/3.15](#)). L'impact des nœuds constructifs est pris en compte dans les réglementations PEB (voir [Les Dossiers du CSTC 2010/3.16](#) et [2011/3.6](#)) depuis 2011-2012 (de manière identique dans les trois Régions; voir [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be) pour Bruxelles, [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be) pour la Wallonie et [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be) pour la Flandre). Au vu du renforcement des exigences réglementaires et de l'influence considérable des nœuds constructifs, leur traitement approprié s'avère incontournable.

Plusieurs options permettent de prendre en compte les nœuds constructifs dans le

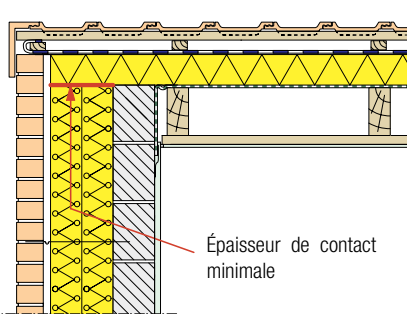


1 | Continuité de l'isolation thermique et de la barrière à l'air (trait rouge) à l'échelle du bâtiment et des nœuds constructifs.

contexte de la réglementation PEB (options A, B et C). La description détaillée de ces options dépasse l'objet de cet article. Des valeurs par défaut, pouvant s'avérer fort pénalisantes et allant jusqu'à 10 points sur le niveau d'isolation global du bâtiment (niveau K), sont prévues dans la réglementation. Une façon de limiter cette pénalisation consiste à concevoir et à réaliser des nœuds dits «PEB-conformes» (option B) et à en faire rapport. Cette conformité peut être démontrée soit en respectant des règles de base simples, soit en réalisant un calcul numérique qui permet de déterminer les facteurs  $\psi$  ou  $\chi$  et de démontrer que le nœud constructif considéré satisfait à des critères de performance (déperdition thermique limitée grâce à une isolation thermique continue). Bien qu'ils ne soient pas obligatoires, les calculs numériques permettent toutefois de mettre en valeur de meilleures performances ou de montrer qu'un détail est «PEB-conforme» même s'il ne satisfait pas aux règles de base.

Si l'on choisit l'option B, on peut, dans la plupart des cas, vérifier sur plan et sans calcul numérique si les nœuds constructifs sont «PEB-conformes» grâce à trois règles de base simplifiées :

- la première s'applique à des nœuds où les couches isolantes peuvent entrer en contact direct et consiste à assurer une épaisseur de contact suffisante entre les isolants thermiques de deux parois adjacentes (voir figure 2)
- la seconde consiste à interposer un élément isolant entre les deux couches isolantes des parois adjacentes (voir figure 3)



Performance thermique : 4★ (voir tableau A)  
Étanchéité à l'air – Priorité dans le traitement du nœud : 1 (voir tableau D)

- 2 | Règle de base n° 1 : épaisseur de contact minimale entre les couches d'isolation thermique de deux parois adjacentes.

- la troisième prévoit de limiter les déperditions en prolongeant le chemin de la chaleur entre l'intérieur et l'extérieur (longueur minimale de moindre résistance thermique supérieure ou égale à 1 m, voir figure 4).

## 2.2 Nœud constructif ou pont thermique ?

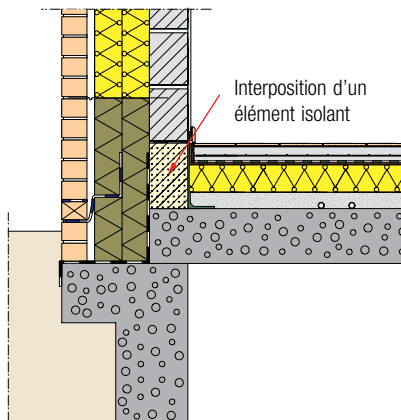
Dans les réglementations PEB, le terme 'nœuds constructifs' désigne :

- les jonctions linéaires entre les différentes parois de la surface de déperdition du bâtiment
- les interruptions linéaires et ponctuelles de la couche isolante des parois, pour autant qu'elles ne soient pas propres à ces dernières (crochet de mur, ossature, ...).

Le terme 'pont thermique' est, quant à lui, défini dans différentes normes (voir NBN EN ISO 10211 et NBN EN ISO 14683). Ces notions sont bien entendu liées, bien qu'elles ne soient pas identiques.

## 2.3 Critères de performance hygrothermique et classification des nœuds constructifs

Du point de vue thermique, il est possible d'évaluer la performance du nœud par calcul numérique au moyen de logiciels (\*) en respectant les normes de calcul, notamment la

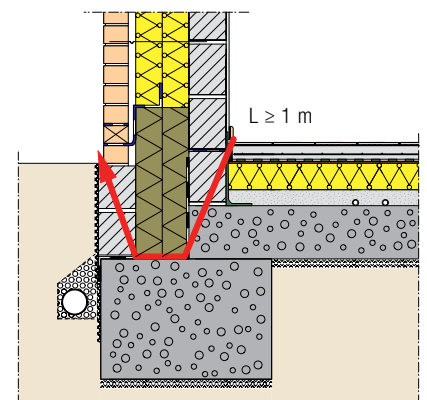


Performance thermique : 4★ (voir tableau A)  
Étanchéité à l'air – Priorité dans le traitement du nœud : 3/4 (voir tableau D)

- 3 | Règle de base n° 2 : interposition d'un élément isolant.

norme NBN EN ISO 10211. Les déperditions thermiques unidimensionnelles au niveau de la partie courante des parois sont fonction de la valeur  $U$  ( $W/m^2.K$ ) de celles-ci. Lors du calcul des déperditions thermiques d'un bâtiment, on ne tient dans un premier temps pas compte des nœuds constructifs et on se base uniquement sur ces valeurs  $U$ . Cependant, les déperditions thermiques d'un bâtiment sont aussi des phénomènes bi- et tridimensionnels. Selon la géométrie des nœuds constructifs présents, des corrections doivent être effectuées par rapport au calcul unidimensionnel. Lorsqu'un nœud constructif est linéaire (raccord de deux parois, par exemple), la correction thermique est exprimée par un coefficient de transmission thermique linéique  $\psi$  ( $W/m.K$ ). Pour les nœuds constructifs ponctuels (colonne transperçant l'isolant, par exemple), la correction thermique est caractérisée par un coefficient de transmission thermique ponctuel  $\chi$  ( $W/K$ ).

Il incombe au concepteur du bâtiment de déterminer la performance énergétique visée pour le bâtiment considéré et de concevoir les nœuds constructifs en conséquence. Lorsqu'on cherche à atteindre des performances thermiques très élevées, il peut se révéler nécessaire de procéder au calcul numérique des performances thermiques des nœuds constructifs, même si ceux-ci sont «PEB-conformes», et ce, afin de mettre en valeur une très bonne performance.



Performance thermique : 3★ (voir tableau A)  
Étanchéité à l'air – Priorité dans le traitement du nœud : 3/4 (voir tableau D)

- 4 | Règle de base n° 3 : chemin de moindre résistance thermique  $L$  supérieur à 1 m.

(\*) De nombreux logiciels permettent de réaliser ce type de calcul, notamment le logiciel KOBRA téléchargeable gratuitement sur le site du CSTC ([www.cstc.be](http://www.cstc.be)).



Une seconde performance hygrothermique des nœuds constructifs est le facteur de température  $f_{R_{si}}$ , qui reflète le risque de condensation et de développement de moisissures sur les parois. Ce facteur de température varie entre 0 et 1. Une valeur égale à 1 signifie que la température de la surface intérieure est égale à la température de l'air intérieur. Un nœud constructif présentant un facteur de température favorable (élevé) aura une température de surface intérieure élevée et permettra de limiter les risques de développement de moisissures et de condensation superficielle. Le maintien d'un climat intérieur favorable (pas trop humide) permet également de limiter ces risques. Il existe des recommandations quant aux facteurs de température limites. Pour les bâtiments au climat intérieur relativement sec, la valeur minimale de 0,7 est citée (voir NIT 153). Il incombe à l'auteur de projet, éventuellement sur la base d'une étude hygrothermique spécifique (2), de fixer le facteur de température minimal à atteindre selon le projet considéré. Les bâtiments présentant une haute production d'humidité, ou encore des contraintes et/ou des climats intérieurs particuliers peuvent en effet nécessiter l'adoption de facteurs de température plus stricts. De ce fait, un nœud constructif approprié pour un logement type n'est pas forcément adapté pour un bâtiment présentant un climat intérieur moins favorable (plus humide).

On notera que la détermination des performances thermiques et du facteur de température repose sur des conventions de calcul (code de mesurage, coefficients d'échange superficiel, modélisation géométrique du nœud, ...) qui doivent être respectées (3).

Sur la base des deux critères présentés ci-avant (performance thermique et facteur de température), une classification qualitative des nœuds constructifs allant du nœud le plus performant (4★) à celui présentant un risque de développement de moisissures et de condensation superficielle (0★) est proposée au tableau A. Les cas théoriques ou peu probables sont grisés. Une variante d'un nœud moins bien classée qu'une autre ne constitue pas pour autant une moins bonne solution, mais elle présente un champ d'application plus réduit.

Selon les contraintes spécifiques du projet

#### A | Classification qualitative des nœuds constructifs selon leurs performances hygrothermiques.

Critères		Facteur de température $f_{0,25}$ déterminé par calcul			Facteur de température $f_{0,25}$ non calculé (5)
		Satisfait à une exigence particulière (1) (2)	$f_{0,25} \geq 0,7$	$f_{0,25} < 0,7$	
Performance thermique	Satisfait à une exigence particulière	4★	4★	2★	2★ (4)
	Nœud «PEB-conforme» (3) (4) (7)	4★/4★	3★	2★	3★/2★
	Nœud non «PEB-conforme» (5)	3★	2★/1★	0★ (8)	0★ (8)

(1) Afin d'illustrer l'approche adoptée dans le cadre de cet article, la valeur de 0,85 a été considérée pour le facteur de température ( $f_{0,25}$ ) afin de satisfaire à la classe d'exigence particulière. Il incombe au concepteur de déterminer au cas par cas, selon les spécificités de son projet, la valeur limite acceptable et de concevoir/d'adapter les détails en conséquence.

(2) Climat intérieur très défavorable.

(3) Dans de nombreux cas, le facteur de température  $f$  ne sera pas calculé. Celui-ci est toutefois particulièrement important lorsque l'isolation présente une discontinuité, par exemple si les nœuds ne sont pas «PEB-conformes», notamment en cas de rénovation.

(4) En cas d'exigence particulière, un calcul numérique est en principe réalisé et l'information sur le facteur de température  $f$  est alors disponible.

(5) La conformité aux critères de la PEB est évaluée indépendamment du fait qu'une exigence PEB soit d'application ou pas.

(6) Nœud «PEB-conforme» respectant les règles de base et/ou dont la performance est démontrée par calcul ( $\psi \leq \psi_{limite}$ ).

(7) Dans le cas de parois peu ou pas du tout isolées thermiquement (résistance thermique de la paroi  $\leq 1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), principalement lors d'une rénovation, seule la conformité aux règles de base doit être évaluée. Une valeur  $\psi \leq \psi_{limite}$  a dans ce cas peu de sens.

(8) 0★ : nœud constructif susceptible de provoquer des problèmes de moisissures/d'humidité.

#### B | Niveau de performance minimal recommandé pour les nœuds constructifs selon le projet.

Situation	Niveau de performance minimal recommandé
Bâtiment présentant un climat intérieur (très) défavorable	4★
Bâtiment soumis à une exigence (de performance) énergétique particulière (bâtiment très performant)	4★
Bâtiment soumis aux exigences d'isolation thermique des réglementations PEB	2★
Dans tous les autres cas (rénovation notamment)	1★
Bâtiments non chauffés	0★

concerné, il peut s'avérer nécessaire de sélectionner certains niveaux de performance pour un nœud constructif (4★ → 1★). Le tableau B donne des indications quant au niveau de performance adapté au cas rencontré. Le niveau de performance 0★ est à éviter dans des bâtiments chauffés. Si un projet correspond à plusieurs des situations décrites, on prendra en compte le niveau de performance recommandé le plus élevé.

#### 2.4 Exemple de jonction d'une toiture à versants avec un mur pignon

Cet article se base sur la jonction d'une toiture à versants avec un mur pignon maçonné pour illustrer différents niveaux de performance énergétique pour un même nœud constructif. Plusieurs cas, allant du moins performant au plus performant, sont considérés selon le

(2) Voir la norme NBN EN ISO 13788 pour plus de détails.

(3) Le facteur de température  $f_{R_{si}}$  est déterminé en tenant compte d'une résistance d'échange superficielle  $R_{si}$  défavorable égale à  $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

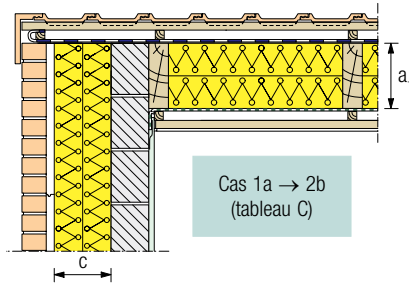
coefficient de conductibilité thermique ( $\lambda$ ) de la maçonnerie portante, la présence ou l'absence d'isolation en tête de mur et le niveau d'isolation des parois (valeurs U) (voir tableau C) (4). Des solutions applicables à la rénovation sont également présentées. Pour que ce nœud soit considéré comme «PEB-conforme», la valeur  $\psi_{\text{limite}}$  est de 0 W/m.K.

L'exemple de base, qui correspond dans les cas les plus défavorables à un nœud présentant un risque de formation de condensation et de moisissures, représente un mur creux dépourvu d'isolation en tête de mur (voir figure 5). Tant pour les maçonneries en béton (cas 1a et 1b) que pour les maçonneries en terre cuite (cas 2a et 2b), différentes performances thermiques ont été considérées pour la maçonnerie : une valeur  $\lambda$  élevée dans la gamme des produits disponibles sur le marché ainsi qu'une des valeurs  $\lambda$  les plus faibles. Il y a lieu de rappeler qu'outre cette performance thermique, une maçonnerie doit également satisfaire à d'autres critères, tels que la stabilité.

Une variante plus performante de ce même détail consiste à terminer le bloc porteur en béton (cas 3) ou en terre cuite (cas 4) plus bas et à isoler la tête de mur (voir figure 6). Une variante réalisée en blocs isolants (cas 5) est aussi considérée.

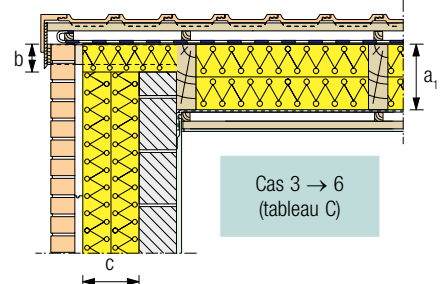
Les compositions les plus performantes étudiées consistent à raccorder deux parois présentant des performances thermiques améliorées. Le cas 6 correspond à une isolation de la toiture entre les chevrons et à une isolation de la tête de mur (voir figure 12, p. 13). Le cas 7 correspond à la réalisation d'une toiture combinée (isolation entre les chevrons + sarking; voir figure 7). Ce type de détail pourrait être rencontré en cas d'exigences spécifiques. D'autres variantes de ce même détail, elles aussi très performantes, sont évidemment envisageables.

Plusieurs solutions applicables à la rénovation sont également envisagées (voir figure 8). Dans le cas présent, le pignon est constitué d'une maçonnerie massive en briques de 29 cm d'épaisseur. La première solution consiste à isoler la toiture entre les chevrons uniquement, sans isoler le pignon (cas R1). Les variantes comprennent une isolation supplémentaire du mur par l'ex-



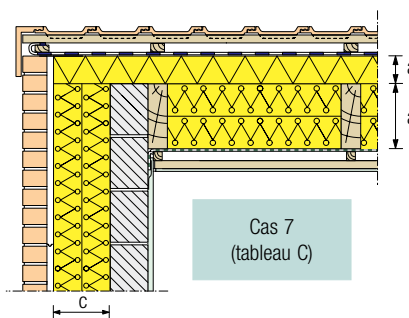
Cas 1a → 2b (tableau C)  
Performance thermique : 0★ → 2★/1★ (ou 3★) (voir tableau A)

5 | Traitement du raccord pignon-toiture à versants; cas de base; tête de mur non isolée.



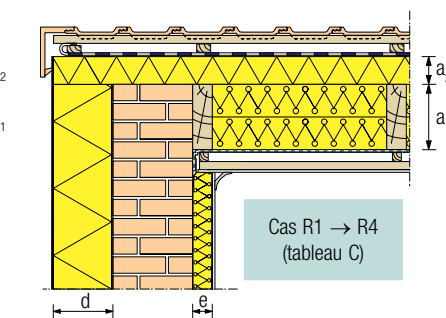
Cas 3 → 6 (tableau C)  
Performance thermique : 3★ → 4★ (voir tableau A)

6 | Continuité de l'isolation thermique obtenue grâce à l'isolation de la tête de mur.



Cas 7 (tableau C)  
Performance thermique : 4★/4★ (voir tableau A)

7 | Détail constructif aux performances améliorées.



Cas R1 → R4 (tableau C)  
Performance thermique : 0★ → 4★ (voir tableau A)

8 | Traitement du raccord pignon-toiture à versants; solutions envisageables pour la rénovation.

térieur (cas R2) ou par l'intérieur (cas R3). Une dernière variante consiste à réaliser une isolation de toiture combinée (sarking + entre les chevrons) et une isolation du mur par l'extérieur (cas R4). On notera que, lorsqu'on isole un mur par l'extérieur et qu'il est impossible d'isoler la tête de mur (cas R2), le simple fait de placer une moulure en plâtre dans l'angle en évitant toute circulation d'air provoque une augmentation substantielle du facteur de température sans effet notable sur la performance thermique. Bien qu'elle ne remplace pas l'isolation correcte du détail, une telle mesure réduit sensiblement le risque de développement de condensation superficielle et de moisissures.

La description et les performances de ces différentes variantes ainsi que la classification des nœuds correspondants sont présentés au tableau C (p. 11). Cet exemple montre qu'un nœud constructif n'ayant pas fait l'objet

d'un traitement spécifique peut présenter un risque de développement de moisissures et de condensation superficielle (0★), alors que si ce même nœud bénéficie d'un traitement approprié, il peut atteindre le meilleur niveau de performance (4★).

### 3 Performance d'étanchéité à l'air

Depuis l'introduction des réglementations PEB, la performance d'étanchéité à l'air est prise en compte dans le calcul de la performance énergétique. À l'heure actuelle, la réalisation d'un essai de pressurisation est facultative dans le cadre de la réglementation. En l'absence du résultat de cet essai, les calculs réglementaires sont réalisés sur la base d'une performance par défaut défavorable. Il est néanmoins possible de prendre en compte la performance réelle d'étanchéité à l'air mesurée au moyen d'un essai de

(4) Les valeurs citées dans ce tableau ( $f_{0,25}$  et  $\psi$ ) sont uniquement valables pour les cas spécifiques considérés (géométrie du nœud, dimensions, épaisseur et performance thermique des matériaux, valeurs  $\lambda$ ). Les fichiers KOBRA correspondant à ces variantes sont disponibles sur notre site Internet. Grâce à ces fichiers et au logiciel KOBRA, il est possible d'adapter les paramètres de calcul aux spécificités du nœud rencontré.



## C | Classification du raccord d'un mur pignon maçonné avec une toiture à versants selon la performance thermique.

Cas	Explication de la variante – Type de bloc porteur	Caractéristiques $a_1, a_2, b, c, d, e$ en cm (°) $U$ en $W/m^2 \cdot K$	«PEB-conforme» selon les règles de base	«PEB-conforme» $\psi \leq \psi_{limite}$ [ $W/m \cdot K$ ]	$f_{0,25}$ [-]	Déperdition thermique du nœud [%]	Classification du nœud
1a	Tête de mur non isolée – bloc porteur en béton (valeur $\lambda$ élevée)	$a_1 = 23 - c = 10$ $U_{mur} = 0,23 - U_{toit} = 0,20$	✗	✗ $\psi = 0,23$	0,65	146 %	0★
1b	Tête de mur non isolée – bloc porteur en béton (valeur $\lambda$ faible)	$a_1 = 23 - c = 10$ $U_{mur} = 0,22 - U_{toit} = 0,20$	✗	✗ $\psi = 0,022$	0,77	106 %	2★/1★
2a	Tête de mur non isolée – bloc porteur en terre cuite (valeur $\lambda$ élevée)	$a_1 = 12 - c = 10$ $U_{mur} = 0,22 - U_{toit} = 0,20$	✗	✗ $\psi = 0,015$	0,77	104 %	2★/1★
2b	Tête de mur non isolée – bloc porteur en terre cuite (valeur $\lambda$ faible)	$a_1 = 23 - c = 10$ $U_{mur} = 0,21 - U_{toit} = 0,20$	✗	✓ (✗) (°) $\psi = -0,012$	0,80	99 %	3★ (2★/1★)
3	Tête de mur isolée – bloc porteur en béton (valeur $\lambda$ élevée)	$a_1 = 23 - b = 10 - c = 10$ $U_{mur} = 0,23 - U_{toit} = 0,20$	✓	✓ $\psi = -0,024$	0,84	100 % <b>Cas de référence</b>	3★
4	Tête de mur isolée – bloc porteur en terre cuite (valeur $\lambda$ faible)	$a_1 = 23 - b = 10 - c = 10$ $U_{mur} = 0,21 - U_{toit} = 0,20$	✓	✓ $\psi = -0,053$	0,84	91 %	3★
5	Tête de mur non isolée – mur porteur en blocs isolants	$a_1 = 23 - c = 10$ $U_{mur} = 0,20 - U_{toit} = 0,20$	✓	✓ $\psi = -0,055$	0,84	88 %	3★
6	Tête de mur isolée – isolation du mur renforcée	$a_1 = 23 - b = 10 - c = 20$ $U_{mur} = 0,12 - U_{toit} = 0,11$	✓	✓ $\psi = -0,022$	0,87	76 %	4★/4★
7	Isolation du mur et de la toiture renforcée (isolation combinée)	$a_1 = 23 - a_2 = 10 - c = 20$ $U_{mur} = 0,12 - U_{toit} = 0,11$	✓	✓ $\psi = -0,023$	0,90	51 %	4★/4★
<b>Rénovation</b>							
R1	Rénovation – isolation de la toiture entre les pannes – mur massif en briques (29 cm) non isolé	$a_1 = 23$ $U_{mur} = 2,28 - U_{toit} = 0,20$	✗	non applicable (paroi non isolée) (°)	0,43	510 %	0★
R2	Rénovation – isolation de la toiture entre les pannes + mur massif isolé par l'extérieur – pas d'isolation de la tête de mur	$a_1 = 23 - d = 10$ $U_{mur} = 0,26 - U_{toit} = 0,20$	✗	✗ $\psi = 0,18$ sans moulure intérieure	0,68	145 %	0★
				✗ $\psi = 0,17$ avec moulure intérieure en plâtre (10 cm)	0,76	142 %	2★/1★
R3	Rénovation – isolation de la toiture entre les pannes + mur massif isolé par l'intérieur	$a_1 = 23 - e = 10$ $U_{mur} = 0,28 - U_{toit} = 0,20$	✓	✓ $\psi = -0,09$	0,79	100 %	3★
R4	Rénovation – isolation combinée de la toiture (entre chevrons + sarking) – mur massif isolé par l'extérieur	$a_1 = 23 - a_2 = 10 - d = 10$ $U_{mur} = 0,26 - U_{toit} = 0,11$	✓	✓ $\psi = -0,034$	0,85	83 %	4★/4★

$a_1$  : épaisseur d'isolation de la toiture entre chevrons;  $a_2$  : épaisseur d'isolation de la toiture sarking;  $b$  : épaisseur d'isolation de la tête de mur;  $c$  : épaisseur d'isolation du mur creux;  $d$  : épaisseur d'isolation du mur par l'extérieur;  $e$  : épaisseur d'isolation du mur par l'intérieur

(°) Les paramètres  $a_1, a_2, b, c, d, e$  pour lesquels aucune valeur n'est reprise dans le tableau ont une valeur nulle.  
(°) Selon l'épaisseur des différentes couches et les performances des matériaux mis en œuvre, la valeur  $\psi$  de cette variante se situe juste au-dessus ou en dessous de la valeur  $\psi_{limite}$ . Dans tous les cas, il est possible d'effectuer un calcul numérique *ad hoc* démontrant la performance de la composition.  
(°) Dans ce cas, la valeur  $\psi$  est de -0,42 W/m.K.

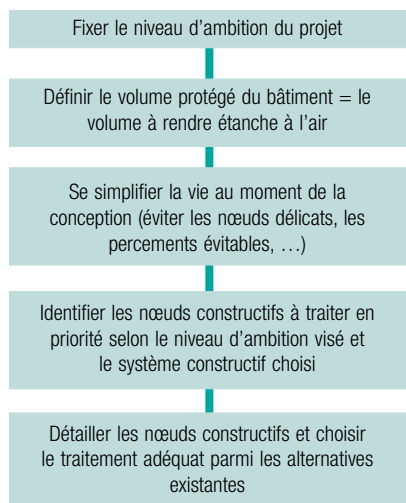


pressurisation. Aucune exigence réglementaire explicite ne s'applique actuellement à l'étanchéité à l'air. Par contre, une exigence volontaire, fixée par le maître d'ouvrage, peut être d'application pour des projets particuliers. La Région de Bruxelles-Capitale a annoncé qu'elle fixerait une exigence pour l'étanchéité à l'air dans les années à venir.

Contrairement à l'isolation thermique, la performance d'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou d'un nœud constructif spécifique ne peut être prédite ou calculée. Il est de ce fait impossible d'établir un lien univoque entre les détails constructifs à réaliser et la performance d'étanchéité à l'air qui sera mesurée au final. Il est toutefois possible de déterminer quels nœuds sont à traiter en priorité.

### 3.1 Une construction étanche à l'air dès la phase de conception

La réalisation d'un bâtiment étanche à l'air commence dès la phase de conception. La géométrie du bâtiment et la délimitation du volume protégé, le nombre de nœuds constructifs et leur complexité ainsi que le niveau d'ambition recherché influencent de manière significative les choix techniques à opérer dans le bâtiment considéré. De multiples étapes jalonnent la réalisation d'un bâtiment étanche à l'air. Celles-ci seront détaillées dans la NIT consacrée au sujet (à paraître). Les étapes qui concernent spécifiquement les nœuds constructifs sont reprises à la figure 9.



9 | Étapes de la réalisation de nœuds constructifs d'un bâtiment étanche à l'air.

D | Classement par ordre de priorité des nœuds constructifs à traiter (version complète disponible dans la NIT 'Étanchéité à l'air' à paraître) (\*).

Nœud constructif	Construction massive (murs maçonnés)	Ossature en bois
Pied de mur	3/4	1
Jonction de la toiture à versants avec le pignon	1	1/2
Jonction du plancher intermédiaire avec la façade	3/4	1/2
Traversée de toiture par des conduites	2	2
Intégration des menuiseries au gros œuvre	2/3	2/3

(\*) 1 : fuites très importantes; 2 : fuites importantes; 3 : fuites peu importantes; 4 : fuites marginales.

E | Classes d'étanchéité à l'air des éléments de construction; cas de la toiture à versants (extrait de la NIT 251).

Classe	Niveau	Descriptif
L0	Mauvaise étanchéité à l'air	Mise en œuvre peu soignée ou conception inadéquate; les règles de continuité ne sont pas respectées : la barrière d'étanchéité à l'air fait défaut ou n'est pas continue; sa jonction avec les parois et les autres éléments qui la délimitent (pannes ou fermes intermédiaires, par exemple) n'est pas étanche à l'air.
L1	Bonne étanchéité à l'air	Mise en œuvre correcte et conception adéquate; les règles de continuité sont respectées : les raccords ne présentent pas de fuites visibles.
L2	Étanchéité à l'air validée et améliorée (L1 + pressurisation + correction des fuites)	Conception et exécution minutieuses : les règles de continuité sont respectées; les performances sont validées par un contrôle <i>in situ</i> permettant de repérer toutes les fuites d'air détectables dans l'élément (en l'occurrence, la toiture à versants) et de les obturer.

### 3.2 Identifier les nœuds constructifs prioritaires

Grâce à l'expérience acquise dans le domaine de l'étanchéité à l'air, une classification par ordre d'importance des fuites d'air rencontrées sur le terrain en l'absence de traitement spécifique a pu être établie (tableau D). Ces fuites peuvent être considérables ou relativement limitées. Un ordre de priorité pour le traitement des nœuds constructifs est proposé en fonction de l'importance des fuites. Dans les bâtiments soumis à une exigence sévère, même une fuite marginale peut s'avérer déterminante pour atteindre l'objectif fixé. Dans les bâtiments pour lesquels on vise une performance moyenne, il convient de se concentrer en priorité sur les fuites les plus importantes. Il incombe au concepteur de définir pour chaque projet (selon sa géométrie spécifique, son métré et son niveau d'ambition) les nœuds à traiter en priorité ainsi que la nature et l'ampleur du traitement accordé aux nœuds constructifs du bâtiment. En fonction du métré du bâtiment

concerné, certaines fuites jugées moins prioritaires pourraient en effet avoir une plus grande influence que d'autres.

### 3.3 Classes d'étanchéité à l'air des éléments de construction

Les raccords d'étanchéité à l'air, particulièrement au niveau des parois légères, sont régulièrement le siège de fuites d'air importantes lorsqu'ils ne sont pas réalisés avec soin. Ces fuites peuvent être à l'origine de graves problèmes de condensation interne. Afin de limiter ce risque, en particulier dans les toitures à versants, un niveau minimal de qualité a été défini pour la mise en œuvre de l'étanchéité à l'air de la paroi et des raccords (L1 ou mieux selon la composition; voir tableau E). En pratique, il ne peut subsister aucune fuite visible à l'œil nu.

En l'absence de raccordement correct (classe L0), les fuites d'air peuvent être considérables. Une surface libre de 1 cm<sup>2</sup>



10 | Exemple de jonction 'sec-sec'.

laisse passer un débit d'air de l'ordre de 2 à 3 m<sup>3</sup>/h pour une différence de pression de 50 Pa. Dans un bâtiment moyen, par exemple, un raccord mal exécuté entre une toiture à versants et un mur pignon (2 mm d'ouverture sur 25 m de raccord) pourrait engendrer, sous une différence de pression de 50 Pa, une fuite d'air à allant jusqu'à 1.000 m<sup>3</sup>/h (9).

### 3.4 Assurer la continuité de l'étanchéité à l'air

La NIT 251 (annexe D) énonce de manière détaillée les règles de continuité de l'étanchéité à l'air. En premier lieu, il est nécessaire d'identifier, au sein de chaque paroi, la couche assurant l'étanchéité à l'air (fonction de barrière à l'air). Au niveau des nœuds constructifs, il convient de garantir la continuité de cette étanchéité entre les éléments assurant la fonction de barrière à l'air au sein des parois adjacentes. Pour ce faire, différents types de jonctions sont possibles :

- la jonction 'sec-sec' (voir figure 10), qui assure la continuité de l'étanchéité à l'air entre des éléments tels que la membrane souple, le panneau en bois et l'enduit intérieur sec. Les produits permettant de réaliser correctement ce type de jonction sont les bandes adhésives (simple ou double face), les colles et les mastics ou encore les bandes compressibles. Ce type de raccord est particulièrement adapté à la rénovation de bâtiments existants
- la jonction 'sec-humide', qui garantit la continuité de l'étanchéité à l'air entre des éléments tels que la membrane souple ou

(9) Une telle fuite représente, dans un bâtiment de 700 m<sup>3</sup>, une variation de 1,4 h<sup>-1</sup> (= 1.000/700) du taux de renouvellement d'air à 50 Pa (n<sub>50</sub>).

### F | Comparaison des solutions possibles pour la réalisation du raccord.

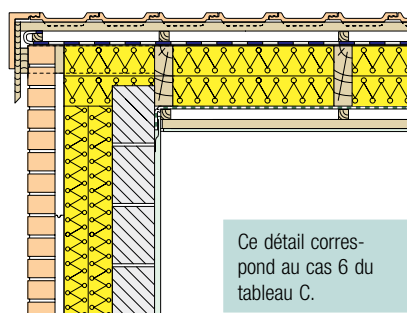
Type de traitement	Performance initiale	Aspect de mise en œuvre	Durabilité
Absence de traitement (fuite visible)	Classe Lo – non autorisé	–	–
Réalisation d'un raccord 'sec-sec'	Classe L1 (ou L2)	Seule solution possible si le pignon est préalablement enduit (notamment en cas de rénovation)	La durabilité de ces deux types de raccords est équivalente
Réalisation d'un raccord 'sec-humide'		Rôle particulier pour le plafonneur	

le panneau et un enduit à l'état frais lors de la réalisation du raccord d'étanchéité à l'air. Des produits spécifiques sont souvent nécessaires pour conférer les performances et la durabilité nécessaires à cet assemblage. Pour ce faire, deux types de produits de raccord peuvent être utilisés : les produits à enduire fixés au support et les bandes noyées dans l'enduit.

### 3.5 Exemple de jonction d'une toiture à versants avec un mur pignon

Dans une toiture à versants, le pare-vapeur remplit généralement la fonction d'étanchéité à l'air. Dans les murs maçonnés, ce rôle est exercé par l'enduit mural intérieur dans la plupart des cas. La continuité de l'étanchéité à l'air entre ces deux parois doit être assurée au moyen d'un raccord approprié (jonction 'sec-sec' ou 'sec-humide'). Ces jonctions sont représentées ci-après pour les murs maçonnés (figure 11) et les murs à ossature en bois (figure 12).

Les différentes solutions envisageables pour la réalisation du raccord sont reprises dans le tableau comparatif F.



11 | Jonction d'une toiture à versants avec un mur pignon maçonné; raccordement du pare-vapeur à l'enduit intérieur.

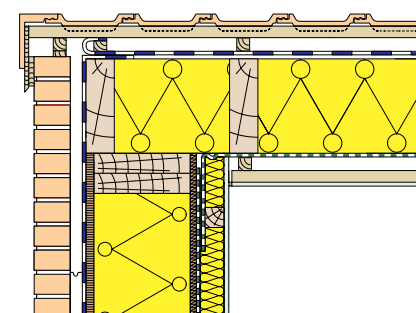
Notons qu'en fonction des exigences imposées, la configuration proposée peut nécessiter des adaptations en vue d'améliorer les performances acoustiques. Le choix de l'isolant et de la finition intérieure ainsi que le découplage entre la structure de cette dernière et la charpente par le biais des profilés métalliques sont des solutions envisageables.

## 4 Conclusions

Les performances d'étanchéité à l'air et d'isolation thermique sont intimement liées. Les niveaux de performances envisagés peuvent être basiques ou au contraire très élevés, mais la performance des nœuds doit, dans tous les cas, correspondre à la performance globale visée au niveau du bâtiment. La qualité de réalisation des nœuds constructifs est essentielle et ne peut être obtenue que si on l'envisage dès le stade de la conception.

X. Loncour, ir., A. Tilmans, ir., et C. Mees, ir.,  
division Energie, CSTC

Article rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes  
Energie financée par le SPF Economie.



12 | Jonction d'une toiture à versants avec un mur pignon à ossature en bois.