



cstc.be
Recherche • Développe • Informe

Contact

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

2015/1

Edition spéciale

Le détail constructif : un concentré d'exigences



**Aspects
énergétiques**
p7

Accessibilité
p14

**Isolation
acoustique**
p18

**Sécurité
incendie**
p25



Source : ULg

Sommaire 2015/1

Le détail constructif : un concentré d'exigences	3
Aspects énergétiques des nœuds constructifs.....	7
Vers une amélioration de l'accessibilité.....	14
Rôle des détails constructifs dans l'isolation acoustique des bâtiments.....	18
La sécurité incendie des détails et des raccords dans les bâtiments.....	25
Aspect économique des ponts thermiques.....	31
Projets du CSTC.....	35





Là où il y a quelques années encore, on exigeait d'un bâtiment qu'il soit stable et étanche à l'eau, force est aujourd'hui de constater qu'il doit satisfaire à une pléthore d'exigences pas toujours conciliables, en particulier lorsqu'il s'agit d'assurer la continuité des performances au droit des détails constructifs, c'est-à-dire aux points d'assemblage des éléments entre eux.

Le détail constructif : un concentré d'exigences

1 Nouveaux défis, nouvelles exigences

Il n'y a pas si longtemps, les performances imposées aux bâtiments se limitaient à la stabilité et à l'étanchéité à l'eau, lesquelles devaient être garanties pour une durée minimum de 10 ans.

Ces dernières années, nombre de nouveaux critères performantiels ont vu le jour dans les réglementations ou les cahiers des charges, motivés par la nécessité de répondre aux multiples enjeux environnementaux, économiques et sociétaux que nous connaissons. Il nous faut en effet :

- réduire l'empreinte environnementale liée à l'acte de construire, d'occuper, de rénover et de démolir
- densifier l'habitat pour répondre à la croissance démographique, sans impacter le confort d'occupation de nos logements
- rendre les bâtiments à la fois plus accessibles aux personnes à mobilité réduite et plus sûrs quant au risque d'intrusion
- permettre aux ouvrages de s'adapter à l'évolution des fonctionnalités tout au long de leur cycle de vie
- satisfaire aux critères de qualité souhaités, en ce compris ceux liés à l'aspect
- faciliter l'accès au logement en optimisant les solutions proposées pour qu'elles soient techniquement performantes et économiquement supportables.



1 | Des quelques performances imposées il y a peu ...

Ces performances peuvent concerner l'ouvrage fini, mais également le processus de construction ou de démolition ainsi que la phase d'utilisation et les opérations d'entretien. Elles peuvent découler des sept exigences essentielles définies dans le Règlement européen relatif aux produits de construction (RPC), des souhaits de l'auteur de projet ou de considérations technicoéconomiques propres à l'entreprise de construction en charge des travaux, par exemple.

Les exigences concernées portent entre autres sur :

- l'impact environnemental du bâtiment et des éléments qui le composent
- la performance énergétique globale intégrant des critères d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air
- la sécurité de l'ouvrage et des usagers : sécurité au feu – résistance au feu (capacité portante), étanchéité à la flamme et isolation thermique (critères dits REI) –, protection contre l'effraction
- le confort d'occupation (visuel, thermique et acoustique), pour lequel les attentes

seront fonction notamment de l'activité exercée, de l'environnement et/ou de la sensibilité des occupants

- l'hygiène et la santé des utilisateurs, qui peuvent conditionner le choix des matériaux et la gestion de la qualité de l'air et de l'eau
- l'accès aux personnes à mobilité réduite
- l'aspect des ouvrages, les tolérances de fabrication et de mise en œuvre
- la rapidité et la facilité d'exécution
- le coût de construction, d'utilisation et de démolition.

2 De nouvelles exigences compatibles entre elles ?

Considérées indépendamment les unes des autres, nombre de ces exigences peuvent être satisfaites moyennant des dispositions constructives adéquates et/ou un choix judicieux des matériaux. Ainsi, pour respecter un niveau d'isolation thermique croissant dans une toiture, il 'suffit' d'augmenter l'épaisseur de l'isolant et/ou de choisir un matériau d'isolation caractérisé par une conductivité



2 | ... le bâtiment est passé à un véritable enchevêtrement d'exigences.



thermique plus faible. Mais lorsque cette démarche résulte d'une volonté d'occuper des combles jusqu'alors utilisés comme grenier, c'est parfois beaucoup plus complexe. En particulier lorsque l'occupant souhaite disposer de grandes baies vitrées pour profiter au maximum de la vue et de la lumière extérieure ou que son habitation est située dans un environnement particulièrement bruyant (au voisinage d'un aéroport, par exemple). Des solutions doivent dès lors être trouvées pour maintenir un confort d'occupation adéquat, que ce soit pour éviter le risque de surchauffe en été ou les nuisances induites par le bruit extérieur.

Ces 'nouveaux' critères ne sont cependant pas toujours vraiment neufs, car ils conditionnent de longue date l'obtention de certaines performances de base. L'un des meilleurs exemples pour illustrer ce propos est peut-être l'étanchéité à l'air, qui fait depuis longtemps l'objet d'une attention particulière dans les médias du CSTC.

A titre d'exemple, pour assurer l'étanchéité à l'eau d'un mur creux ou d'une menuiserie extérieure, l'obtention de performances élevées a souvent été liée à l'étanchéité à l'air de l'élément considéré.

Il en est de même pour le complexe toiture; l'étanchéité à l'air a toujours été considérée comme essentielle pour limiter le risque de fuites convectives pouvant être à l'origine d'importants problèmes de condensation interne.

Imposée à l'échelle d'un élément ou d'une paroi, l'étanchéité à l'air est également essentielle pour assurer le confort d'occupation, puisqu'elle préserve des courants d'air froid pouvant gêner les occupants et permet une isolation accrue aux bruits aériens grâce à l'absence de fuites d'air.

3 L'importance du détail à l'échelle du bâtiment

On le voit, dans certains cas, il s'avère difficile de concilier l'ensemble des exigences, d'autant que les niveaux de performances imposés pour chacune d'elles ne cessent d'augmenter. La difficulté est encore plus criante si l'on considère que les exigences portent non seulement sur l'élément constructif (une paroi, une menuiserie ou une toiture, par exemple), mais également sur l'ensemble du bâtiment. C'est donc au droit des points

économie

Antenne Normes 'Smart Connect' : détails constructifs

Ce CSTC-Contact est l'une des premières actions menées dans le cadre de la nouvelle Antenne Normes 'Smart Connect'. Soutenue par le SPF Economie, celle-ci s'est notamment donné pour mission de créer un espace web spécifique visant à aider le professionnel à mieux intégrer les critères des normes et réglementations au niveau des détails constructifs.

A terme, cet espace pourrait comporter une base de données reprenant les normes de référence et une sélection de détails types validés, commentés et accompagnés de leurs performances (feu, accessibilité, isolation thermique, etc.) selon les critères normatifs et réglementaires en vigueur et selon la grille d'évaluation qualitative adoptée dans la présente publication.

d'assemblage des éléments entre eux que nous devons redoubler d'attention. Précisément là où la continuité des performances doit être garantie, où plusieurs matériaux et systèmes constructifs pas toujours compatibles doivent se connecter, mais là aussi où plusieurs corps de métier sont amenés à intervenir de façon successive, voire parfois presque simultanée.

Or, la manière de garantir la continuité des performances au niveau des détails et des raccords doit être étudiée dès la phase de conception. C'est également au concepteur qu'il revient de préciser les niveaux d'exigence souhaités pour tous ces critères. Car il est parfois impossible, pour des raisons techniques et/ou économiques, d'atteindre le niveau maximal pour chacun d'eux. Un tel objectif n'est d'ailleurs pas toujours opportun, puisqu'il influence également le coût de la construction.

En d'autres termes, des tâches habituellement réservées à l'architecte, mais qui doivent idéalement être discutées avec

l'ensemble des corps de métier concernés avant le début des travaux.

Sur chantier, le contrôle de cette continuité incombe bien évidemment à l'entrepreneur général, qui coordonne les activités des sous-traitants.

Il existe ainsi, chez les professionnels, un besoin grandissant de disposer de détails de référence qui prennent en compte les différents niveaux de performances à atteindre et qui peuvent guider l'auteur de projet et l'entrepreneur dans leur conception et leur exécution. Même si chaque bâtiment possède ses particularités propres, le fait de pouvoir se baser sur des détails types permet de dégager des principes et des pistes de réflexion pour satisfaire aux exigences requises. Fidèle aux missions qui lui ont été confiées, le CSTC s'est d'ores et déjà attelé à la tâche en publiant plusieurs référentiels en la matière, les derniers en date étant la [NIT 244](#) sur les ouvrages de raccord des toitures plates et la [NIT 250](#) sur les détails de référence pour les constructions enterrées.

Détail ou nœud constructif

La notion de détail constructif ne doit pas être confondue avec celle de nœud constructif considérée dans les réglementations PEB (voir définition en page 8). Un détail constructif désigne toute jonction ou tout raccord entre éléments ou composants d'un bâtiment (raccord mur/toiture, mur/menuiserie, etc.), mais également toute interruption linéaire ou ponctuelle d'une paroi, telle que le percement d'une cloison pour le passage de conduites, l'encastrement d'un élément dans une paroi (prise électrique, spot) ou le percement d'une toiture par un conduit de cheminée.

Bon à savoir : un nœud constructif est toujours un détail constructif. L'inverse n'est pas nécessairement vrai !



4 Du 2D au 3D+ ou nD

Depuis toujours, entrepreneurs, architectes, bureaux d'étude et fabricants communiquent entre eux sur la base de vues en plan ou en coupe. Sur le plan juridique, plus que l'écrit et le contenu du cahier spécial des charges, ce sont les plans qui priment (art. 24 du Cahier général des charges des marchés publics de travaux).

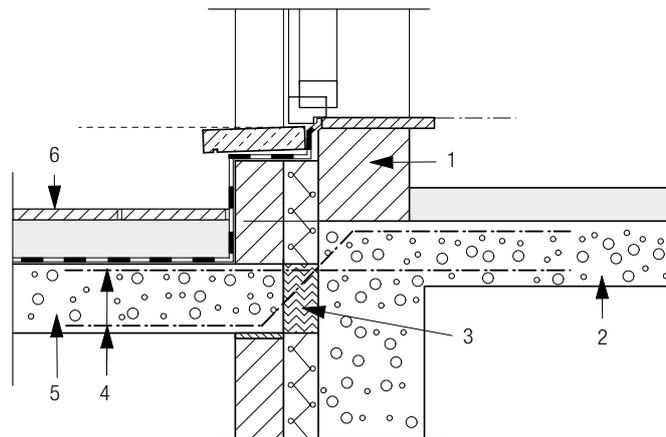
Depuis quelques années, grâce aux développements informatiques, des détails 3D remplacent ou complètent utilement les croquis ou détails 2D. Une aubaine pour faciliter la compréhension de détails complexes concentrant de multiples difficultés. Dans ses médias, le CSTC en fait d'ailleurs abondamment usage lorsque le sujet le justifie. Tel est certainement le cas lorsqu'il s'agit d'expliquer comment poser une membrane de drainage dans le creux d'un mur (figures 3 et 4).

Aujourd'hui, pour faire face à la complexité croissante induite par des exigences plus sévères et plus nombreuses, la méthode de travail traditionnelle en deux dimensions (plans sur papier complétés par des informations issues du cahier des charges) est très souvent remplacée par l'application de modèles constructifs où l'aspect tridimensionnel de l'ouvrage est émaillé d'informations figurant d'ordinaire dans le cahier des charges.

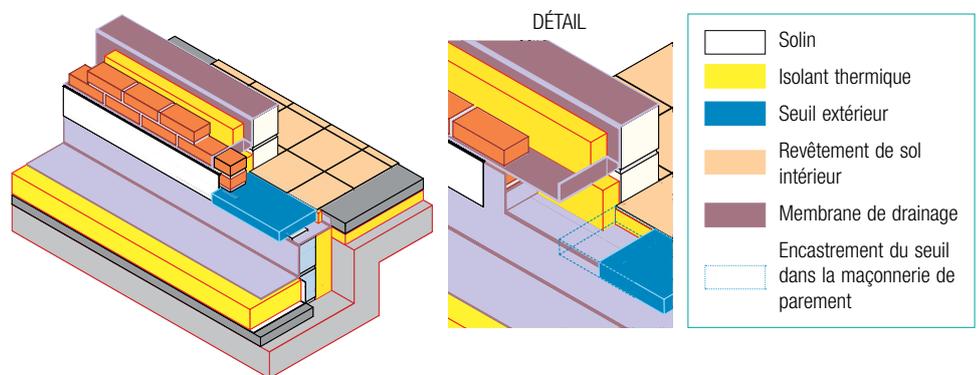
Dans ces modèles constructifs digitalisés, les lignes et les points d'un simple dessin sont remplacés par des 'objets communicants'. Ainsi, un mur n'est plus représenté par un ensemble de traits, mais par un objet indépendant assorti d'informations relatives notamment aux matériaux utilisés ou à la fonction exercée. Le résultat obtenu par une telle numérisation des données porte le nom de *Building Information Model* ou BIM. Un BIM peut donc être considéré comme une visualisation 3D+, la 3D étant combinée à des informations supplémentaires propres à chaque objet. Le modèle n'est toutefois pas limité à une représentation 3D, puisqu'il peut être associé à un planning (simulation 4D), au calcul du prix de revient (5D), voire à l'impact environnemental (6D).

5 2015 : amorce de classification

C'est précisément cette approche 3D+ ou nD que le CSTC souhaite adopter de manière plus



3 | Du croquis 2D (extrait de la NIT 196 'Les balcons', 1995) ...



4 | ... au détail 3D (extrait de l'Infocarte n° 20 'Drainage d'un mur creux au droit d'un seuil', 2007).

systématique dans le futur. Déjà intégrée dans les NIT 244 et 250 précitées, l'approche 3D+ pourrait être complétée par de nouvelles fonctionnalités visant notamment à faciliter l'importation de détails types dans des logiciels de dessin. Elle devrait également être plus structurée pour permettre la mise en ligne d'une base de données, dont cette édition thématique préfigure d'ailleurs la mise sur pied. Les articles qui suivent s'attachent à une ou plusieurs exigences régulièrement imposées et revêtant une importance particulière lors du traitement d'un détail. Exemples à l'appui, l'objectif est de préciser les points requérant de l'attention et la façon de les traiter selon la réglementation ou les normes en vigueur, la situation rencontrée (construction neuve ou rénovation, par exemple), les aspects de conception et d'exécution qui s'y rapportent, voire les outils de calcul ou de contrôle éventuels.

Deux nouveautés sont à évoquer : la première concerne l'évaluation qualitative des détails, la seconde leur évaluation économique.

Nous nous sommes ainsi attachés, tout au long de cette édition, à classer chaque détail

du plus performant (4+ et 4++) au moins performant (0+) par rapport au critère considéré. Lorsqu'il n'est pas classable ou pas évalué, il est noté par (-). Une évaluation moins favorable ne signifie pas que la solution est déconseillée. Elle peut même être la meilleure possible dans le contexte envisagé. Son champ d'application peut toutefois s'en trouver restreint. Par exemple, au raccord d'une toiture avec un mur pignon qu'il n'est pas envisageable d'isoler par l'extérieur, l'option (3+) consistant à isoler le mur par l'intérieur se retrouve être le meilleur choix sur le plan thermique (voir la figure 5 et le tableau A en page 6).

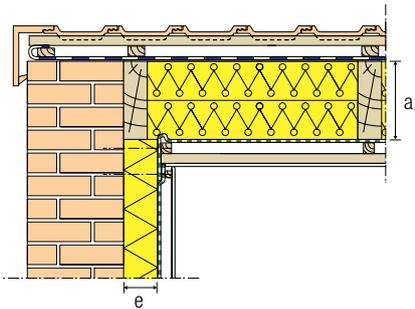
Il en est de même pour une performance de base telle que l'étanchéité à l'eau. Un même détail constructif pourrait parfaitement suffire dans certaines configurations (paroi peu exposée ou protégée des pluies, par exemple) et se révéler inadéquat dans d'autres.

Lorsque les exigences imposées accentuent la complexité des détails, leur coût de réalisation s'en trouve généralement accru. Il y a donc lieu de ne pas exagérer le nombre et les niveaux de performance souhaités,



A | Evaluation qualitative du détail représenté à la figure 5 (extrait du tableau C de la page 11).

Cas	Explication de la variante – Type de bloc porteur	Caractéristiques a_1, a_2, b, c, d, e en cm U en $W/m^2.K$	«PEB-conforme» selon les règles de base	«PEB-conforme» $\psi \leq \psi_{limite}$ [W/m.K]	$f_{0,25}$ [-]	Déperdition thermique du nœud [%]	Classification du nœud
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★



5 | Traitement du raccord d'une toiture avec un mur pignon en rénovation.

sous peine d'impacter significativement le coût de construction. Toutefois, des choix judicieux peuvent être opérés au niveau de la conception et de l'exécution du détail.

Car un détail bien pensé – et nous abordons là notre seconde nouveauté – est un détail facile à réaliser, donc moins coûteux et moins sujet au risque d'erreur. Dans certains cas, il est même possible de calculer la rentabilité d'une solution constructive. Tel est précisément l'exercice auquel nous nous sommes livrés dans l'article 'Aspect économique des ponts thermiques' (p. 31) où nous avons envisagé plusieurs scénarios de rénovation énergétique d'un pied de mur.

Loin de constituer un catalogue de détails optimisés et intégrés, ce CSTC-Contact thématique a pour ambition d'inciter les professionnels à se poser les bonnes questions et à acquérir les bons réflexes lorsqu'ils

sont amenés à concevoir ou à exécuter un détail constructif. Le système d'évaluation par étoiles poursuit le même objectif. Il est à interpréter différemment selon le niveau d'exigence attendu pour la performance considérée, selon la réglementation en vigueur ou selon l'obligation de satisfaire à des critères spécifiques (réglementation incendie, par exemple). Le tableau B reprend les domaines d'utilisation selon la classification étoilée minimale recommandée et le type de performance souhaité. Pour plus d'informations, le lecteur se référera aux articles publiés dans les pages qui suivent. ■

O. Vandooren, ing., directeur Information et soutien aux entreprises, CSTC

B | Domaine d'application des détails constructifs selon la classification étoilée minimale recommandée et le type de performance.

Performance souhaitée	4★	3★	2★	1★	0★
Etanchéité à l'eau (p. 7)	Niveau d'exigence élevé Tout niveau d'exposition	Niveau d'exigence élevé Niveau d'exposition faible	Niveau d'exigence faible Tout niveau d'exposition	Niveau d'exigence faible Niveau d'exposition faible	Pas d'exigences ou niveau d'exposition nul
Sécurité incendie (p. 25)	Réglementation en vigueur				Réglementation pas d'application
Isolation thermique (p. 7)	Bâtiment très basse énergie ou à consommation d'énergie quasi nulle Bâtiment au climat intérieur très humide (4★)		Bâtiment soumis aux exigences de la réglementation PEB	Autres cas de bâtiments chauffés (y compris rénovation)	Bâtiments non chauffés
Etanchéité à l'air (p. 7)					
Isolation aux bruits intérieurs (p. 18)	Exigences particulières	Exigences supérieures selon NBN S 01-400-1	Exigences normales selon NBN S 01-400-1	Exigences faibles (p. ex. en rénovation)	Pas d'exigences
Isolation aux bruits extérieurs (p. 18)	Classe de bruit extérieur L4 (CAN)	Classe de bruit extérieur L3 (CAN)	Classe de bruit extérieur L2 (CAN)	Classe de bruit extérieur L1 (CAN)	Pas d'exigences
Accessibilité (p. 14)	Réglementation en vigueur (Wallonie)	Réglementation en vigueur (Flandre et Bruxelles)	Niveau d'accessibilité réduit	Niveau d'accessibilité faible	Niveau d'accessibilité nul



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 ψ et χ) 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.

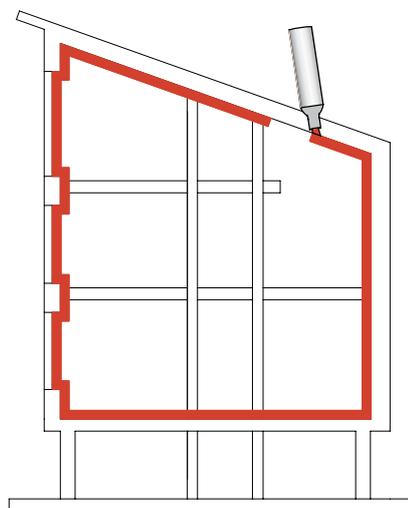
Aucune exigence réglementaire concernant la performance d'étanchéité à l'air ne s'applique aux nœuds constructifs en tant que tels. La présence éventuelle de fuites d'air se reflétera dans la performance mesurée lors d'un test de pressurisation réalisé au niveau du bâtiment. Cette performance ne peut 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

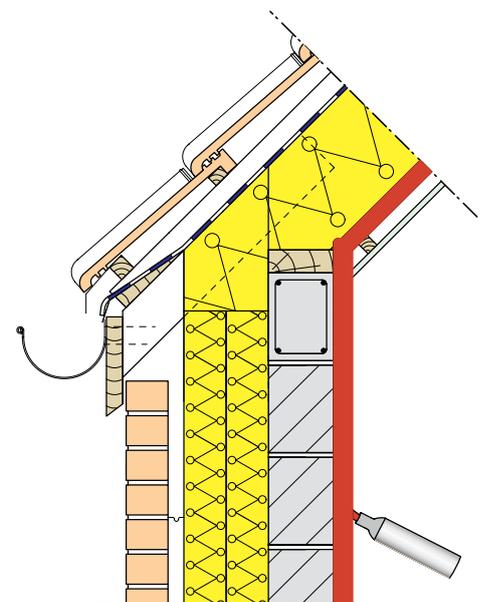
2.1 Prise en compte des nœuds constructifs dans la réglementation PEB

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 pour Bruxelles, energie.wallonie.be pour la Wallonie et 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

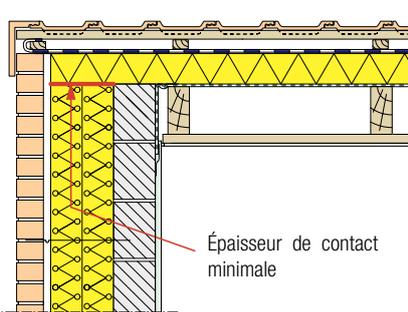


1 | Continuité de l'isolation thermique et de la barrière à l'air (trait rouge) à l'échelle du bâtiment et des nœuds constructifs.

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 ψ ou χ 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 ?

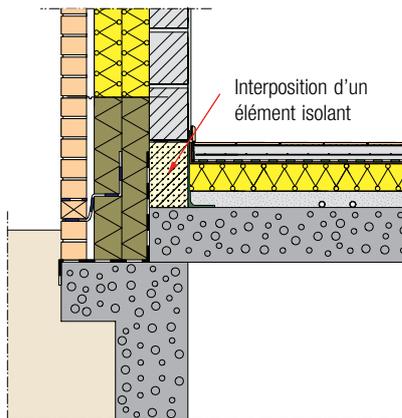
Dans les réglementations PEB, le terme 'nœuds constructifs' désigne :

- 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

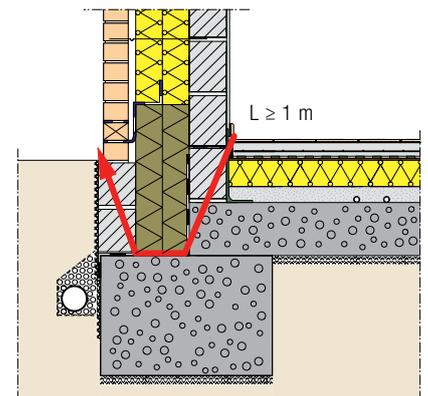


Performance thermique : 4★ (voir tableau A)
Étanchéité à l'air – Priorité dans le traitement du nœud : 3/4 (voir tableau D)

- 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 ψ ($W/m.K$). Pour les nœuds constructifs ponctuels (colonne traversant l'isolant, par exemple), la correction thermique est caractérisée par un coefficient de transmission thermique ponctuel χ (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).



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 $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

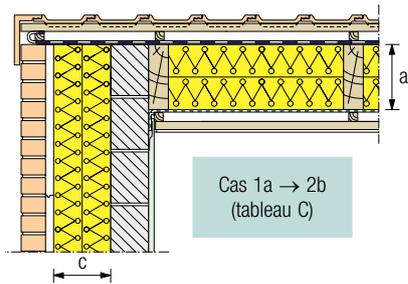
coefficient de conductibilité thermique (λ) de la maçonnerie portante, la présence ou l'absence d'isolation en tête de mur et le niveau d'isolation des parois (valeurs U) (voir tableau C) (4). Des solutions applicables à la rénovation sont également présentées. Pour que ce nœud soit considéré comme «PEB-conforme», la valeur ψ_{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 λ élevée dans la gamme des produits disponibles sur le marché ainsi qu'une des valeurs λ 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.

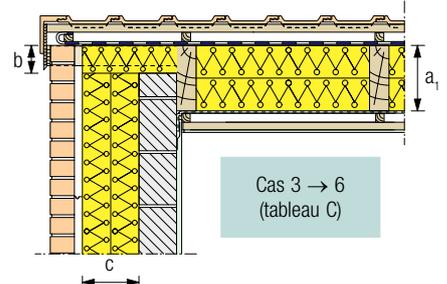
Les compositions les plus performantes étudiées consistent à raccorder deux parois présentant des performances thermiques améliorées. Le cas 6 correspond à une isolation de la toiture entre les chevrons et à une isolation de la tête de mur (voir figure 12, p. 13). Le cas 7 correspond à la réalisation 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-



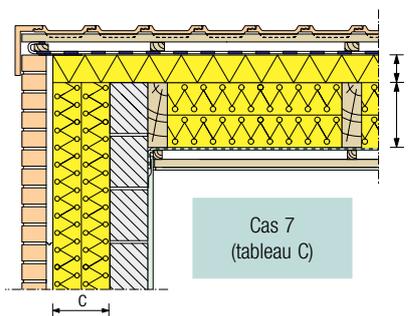
Cas 1a → 2b (tableau C)
Performance thermique : 0★ → 2★/1★ (ou 3★) (voir tableau A)

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



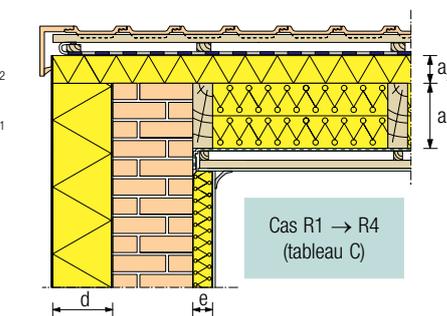
Cas 3 → 6 (tableau C)
Performance thermique : 3★ → 4★ (voir tableau A)

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 ψ) sont uniquement valables pour les cas spécifiques considérés (géométrie du nœud, dimensions, épaisseur et performance thermique des matériaux, valeurs λ). 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 ⁽¹⁾ U en $W/m^2 \cdot K$	«PEB-conforme» selon les règles de base	«PEB-conforme» $\psi \leq \psi_{limite}$ [W/m.K]	$f_{0,25}$ [-]	Déperdition thermique du nœud [%]	Classification du nœud
1a	Tête de mur non isolée – bloc porteur en béton (valeur λ 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 λ 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 λ 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 λ faible)	$a_1 = 23 - c = 10$ $U_{mur} = 0,21 - U_{toit} = 0,20$	✗	✓ (✗) ⁽²⁾ $\psi = -0,012$	0,80	99 %	3★ (2★/1★)
3	Tête de mur isolée – bloc porteur en béton (valeur λ élevée)	$a_1 = 23 - b = 10 - c = 10$ $U_{mur} = 0,23 - U_{toit} = 0,20$	✓	✓ $\psi = -0,024$	0,84	100 % Cas de référence	3★
4	Tête de mur isolée – bloc porteur en terre cuite (valeur λ 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★
Rénovation							
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) ⁽³⁾	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

(1) Les paramètres a_1, a_2, b, c, d, e pour lesquels aucune valeur n'est reprise dans le tableau ont une valeur nulle.

(2) Selon l'épaisseur des différentes couches et les performances des matériaux mis en œuvre, la valeur ψ de cette variante se situe juste au-dessus ou en dessous de la valeur ψ_{limite} . Dans tous les cas, il est possible d'effectuer un calcul numérique *ad hoc* démontrant la performance de la composition.

(3) Dans ce cas, la valeur ψ est de -0,42 W/m.K.

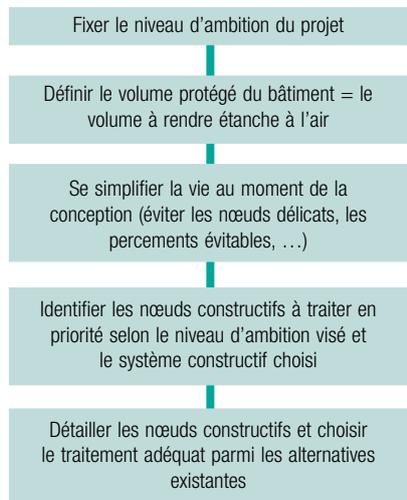


pressurisation. Aucune exigence réglementaire explicite ne s'applique actuellement à l'étanchéité à l'air. Par contre, une exigence volontaire, fixée par le maître d'ouvrage, peut être d'application pour des projets particuliers. La Région de Bruxelles-Capitale a annoncé qu'elle fixerait une exigence 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 cm²



10 | Exemple de jonction 'sec-sec'.

laisse passer un débit d'air de l'ordre de 2 à 3 m³/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 m³/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 m³, une variation de 1,4 h⁻¹ (= 1.000/700) du taux de renouvellement d'air à 50 Pa (n₅₀).

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

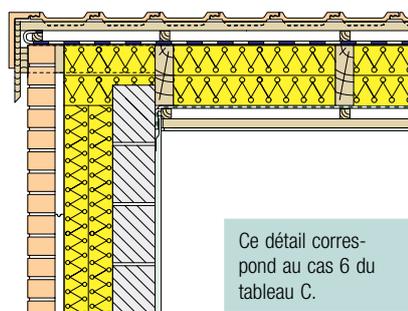
Type de traitement	Performance initiale	Aspect de mise en œuvre	Durabilité
Absence de traitement (fuite visible)	Classe Lo – non autorisé	–	–
Réalisation d'un raccord 'sec-sec'	Classe L1 (ou L2)	Seule solution possible si le pignon est préalablement enduit (notamment en cas de rénovation)	La durabilité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

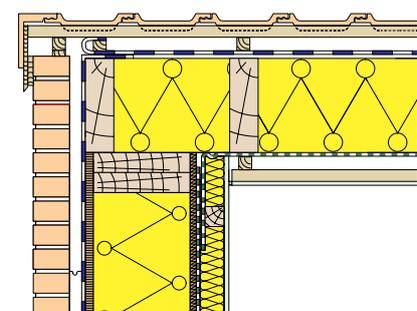
Notons qu'en fonction des exigences imposées, la configuration proposée peut nécessiter des adaptations en vue d'améliorer les performances acoustiques. Le choix de l'isolant et de la finition intérieure ainsi que le découplage entre la structure de cette dernière et la charpente par le biais des profilés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



À l'heure actuelle, on attend d'un bâtiment performant qu'il soit intégralement accessible à un large groupe d'utilisateurs. Cette contrainte est toutefois difficilement conciliable avec certaines autres exigences, en particulier au niveau du seuil de la porte d'accès du bâtiment. Si aucune adaptation supplémentaire n'est prévue, la réalisation d'une 'entrée accessible' pourrait entraîner une diminution de l'étanchéité à l'air, l'apparition de ponts thermiques ainsi que la création d'un raccord non étanche à la pluie (voir figure 1). Cet article montre comment obtenir un niveau acceptable pour chacune de ces exigences.

Vers une amélioration de l'accessibilité

1 Quelle différence de niveau est acceptable ?

L'accessibilité des menuiseries est déterminée par toute une série de caractéristiques telles que les efforts de manœuvre, l'ergonomie, la largeur de passage, le dégagement, etc. Certains de ces aspects ont déjà été décrits dans le [Dossier du CSTC 2006/4.4](#). Le seuil ou la différence de niveau au droit de la porte d'accès constitue souvent le maillon faible de la 'chaîne d'accessibilité'.

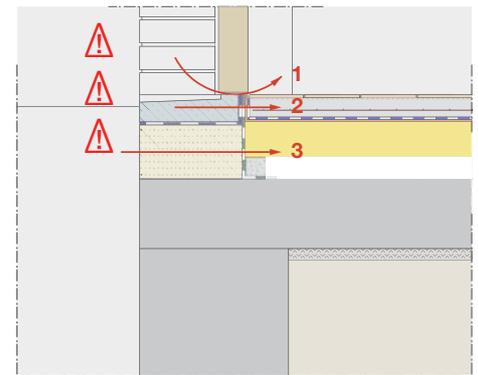
Certains bâtiments accessibles au public doivent être conformes aux réglementations régionales (voir tableau A).

La différence de niveau maximale de 20 mm figurant dans le tableau A est également reprise dans nos pays voisins et constitue dès lors un bon point de départ pour la conception de ce détail constructif. Le présent article aborde la réalisation des détails individuels au droit d'une porte d'accès au rez-de-chaussée, à une toiture-terrasse et, enfin, à un balcon. On peut se baser sur le tableau B en ce qui concerne la classification de l'exigence performantielle en matière d'accessibilité.

2 La porte d'accès au rez-de-chaussée

L'absence de seuil surélevé au droit d'une porte d'accès au rez-de-chaussée présente un risque d'infiltrations d'eau, et ce non seulement via la menuiserie, mais aussi au bas des murs. Cette problématique a été examinée en détail dans le [Dossier du CSTC 2007/1.12](#) qui énonce différentes solutions visant à réduire ce risque (mise en place d'un auvent ou d'une grille d'évacuation devant la porte, etc.).

Comme indiqué précédemment, le choix d'une entrée dépourvue de seuil surélevé peut également avoir un impact sur les performances thermiques et sur l'étanchéité à l'air de ce détail constructif.



1. Diminution de l'étanchéité à l'air
2. Présence d'un pont thermique
3. Raccord non étanche aux infiltrations d'eau

1 | L'optimisation de l'accessibilité a parfois des répercussions défavorables sur les autres exigences performantielles.

B | Classification des différences de niveau.

Symbole	Différence de niveau
4★	Entrée dépourvue de différence de niveau
3★	Entrée à différence de niveau faible (différence maximale de 20 mm)
2★	Différence de niveau de 21 à 100 mm
1★	Différence de niveau de 101 à 150 mm
0★	Différence de niveau supérieure à 150 mm

A | Différences de niveau admissibles selon les réglementations régionales.

Région	Réglementation	Article concernant l'accessibilité	Différence de niveau (°)
Région de Bruxelles-Capitale	Règlement régional d'urbanisme – Titre IV : accessibilité des bâtiments pour personnes à mobilité réduite	Article 6	Maximum 20 mm et chanfreinage maximal de 30°
Wallonie	Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, du patrimoine et de l'énergie (CWATUPE) (articles 414 et 415) (°)	Article 415/1/1°	Aucune différence de niveau autorisée (°)
Flandre	Stedenbouwkundige verordening betreffende toegankelijkheid (Besluit van de Vlaamse Regering van 05/06/2009 en 18/02/2011)	Article 18	Maximum 20 mm

(°) Il s'agit de la différence de niveau maximale admissible. Lorsque des différences de niveau plus importantes doivent être compensées, il convient de prévoir une pente correctement exécutée, un plateau élévateur vertical ou un ascenseur.

(°) Cette réglementation sera remplacée par le Code du développement territorial (CoDT) au 1^{er} juillet 2015; le numéro d'article pourrait dès lors changer.

(°) Cet article stipule que le chemin entre le parking et l'entrée du bâtiment accessible au public ne peut comporter aucune différence de niveau.



2.1 Étanchéité à l'eau de la menuiserie et du pied de mur

Lorsqu'on réalise une porte d'entrée accessible, il convient de veiller à ce que le niveau du revêtement extérieur corresponde, dans la mesure du possible, à celui de la porte, afin de limiter au maximum la hauteur du seuil. Le rehaussement du revêtement extérieur nécessite d'accorder une attention particulière aux détails d'exécution du pied de mur de manière à éviter les infiltrations d'eau (telles que l'humidité ascensionnelle, les infiltrations d'eau en provenance des murs creux et les infiltrations latérales). Ce sujet a déjà été abordé dans les [Infiches 7 et 20](#).

La membrane de drainage des murs creux doit toujours se situer au-dessus du niveau du revêtement extérieur. On devra donc interrompre localement la membrane de drainage et en rabattre les bords de part et d'autre d'une porte d'entrée accessible.

Il y a en outre lieu de placer une membrane d'étanchéité sous le seuil dans le but d'évacuer l'eau récoltée et d'empêcher les infiltrations latérales. La membrane d'étanchéité située le plus bas (n° 7 sur la figure 2) doit donc être constituée de membranes étanches à l'eau dont les joints sont soudés ou collés. Étant donné que l'adhérence de cette membrane au support ne peut être garantie, on prévoit généralement un système de drainage supplémentaire en pied de mur. Dans le cas contraire, vu la perméabilité limitée des sols argileux ou limoneux par exemple, une pression d'eau temporaire pourrait en effet

se manifester dans la partie basse des murs en cas de pluie, ce qui pourrait entraîner le contournement de l'étanchéité. Par ailleurs, le système de drainage assure l'évacuation de l'eau infiltrée dans le mur creux sous la membrane de rejet de la coulisse.

Lorsque le revêtement extérieur est également rehaussé en d'autres endroits qu'au niveau de la porte d'entrée, il convient d'appliquer ce détail d'exécution tout autour du bâtiment. Dans ce cas, le relevé de la membrane d'étanchéité située le plus bas (n° 7 sur la figure 2) doit toujours se trouver au-dessus du niveau du revêtement ou des terres environnantes.

2.2 Effet d'un cadre dormant sur les performances de la porte d'entrée

L'absence de cadre dormant a un impact négatif sur l'étanchéité à l'air et à l'eau d'une porte traditionnelle (voir [Infiche 1](#)) et donne souvent lieu à un pont thermique à cet endroit. Dans cette configuration, les infiltrations d'eau de pluie sous la porte ne peuvent pas toujours être évitées, mais elles peuvent être limitées grâce à une série de mesures telles que :

- le placement d'une grille d'évacuation juste devant la porte
- la réalisation du revêtement en pente (2 %) à partir de la porte
- l'installation d'un rejet d'eau sur la porte.

Même si l'on suit toutes ces recommandations à la lettre, il est impossible d'empêcher

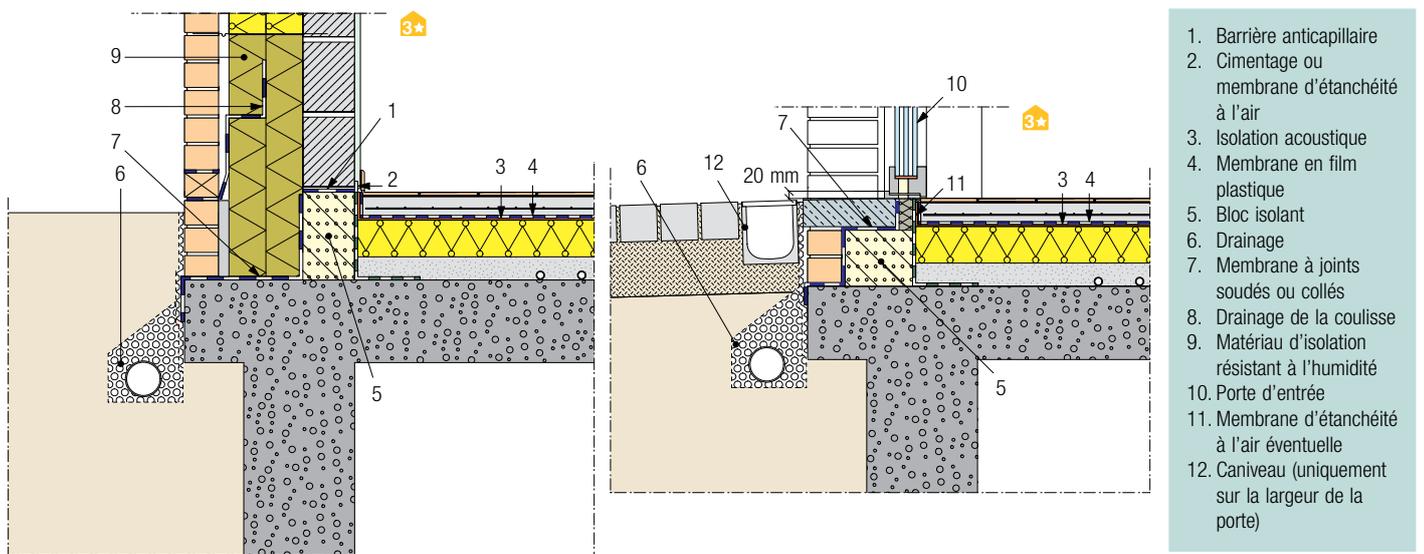


3 | Porte pourvue d'un cadre dormant.

complètement que de la neige fondante ou de la pluie soufflée par le vent ne pénètre par le dessous de la porte. L'installation d'un cadre dormant permet de résoudre en partie ce problème (voir figure 3).

Pour assurer une bonne accessibilité, le cadre doit alors impérativement être intégré dans le seuil ou présenter une hauteur limitée. Dans ce dernier cas, on ne parle pas d'entrée 'dépourvue de différence de niveau', mais de porte 'à différence de niveau faible' (voir tableau B).

La présence d'un cadre permet en outre d'améliorer l'étanchéité à l'air de la menuiserie et de réduire considérablement le pont thermique au droit de la menuiserie à condition qu'il se compose d'un matériau isolant ou qu'il soit muni d'une coupure thermique.



2 | Combinaison d'une membrane d'étanchéité sous le seuil, d'une membrane de drainage en pied de mur et d'un drainage de la coulisse au-dessus du niveau des terres.

1. Barrière anticapillaire
2. Cimentage ou membrane d'étanchéité à l'air
3. Isolation acoustique
4. Membrane en film plastique
5. Bloc isolant
6. Drainage
7. Membrane à joints soudés ou collés
8. Drainage de la coulisse
9. Matériau d'isolation résistant à l'humidité
10. Porte d'entrée
11. Membrane d'étanchéité à l'air éventuelle
12. Caniveau (uniquement sur la largeur de la porte)

Il est dès lors clair que le développement de solutions permettant de répondre à tous ces défis présente un large potentiel innovant.

3 La porte menant à une toiture-terrasse

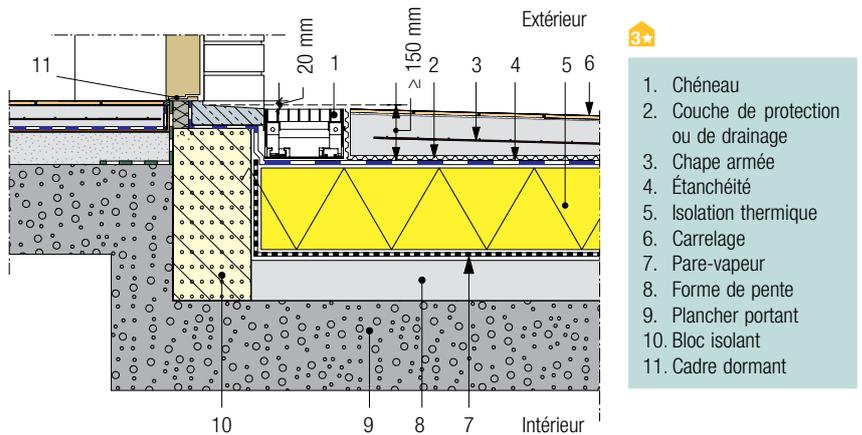
Le même problème peut se poser dans le cas de l'accès à une toiture-terrasse (voir à ce propos les principes généraux énoncés dans la NIT 244). Dans ce contexte, on distingue les revêtements collés sur chape (voir figure 4) et les systèmes de dalles sur plots (voir figure 5). Dans les deux cas, il est conseillé de limiter le risque de stagnation d'eau en plaçant une grille juste devant la menuiserie, et ce afin de compenser quelque peu le manque de hauteur du relevé d'étanchéité. Ce détail présente néanmoins un risque accru, en particulier lorsqu'il se situe dans une partie de la façade exposée aux pluies (battantes).

La figure 6 illustre, quant à elle, une mise en œuvre traditionnelle avec un relevé de 50 mm (pour un revêtement non adhérent) ou de 150 mm (pour un revêtement adhérent).

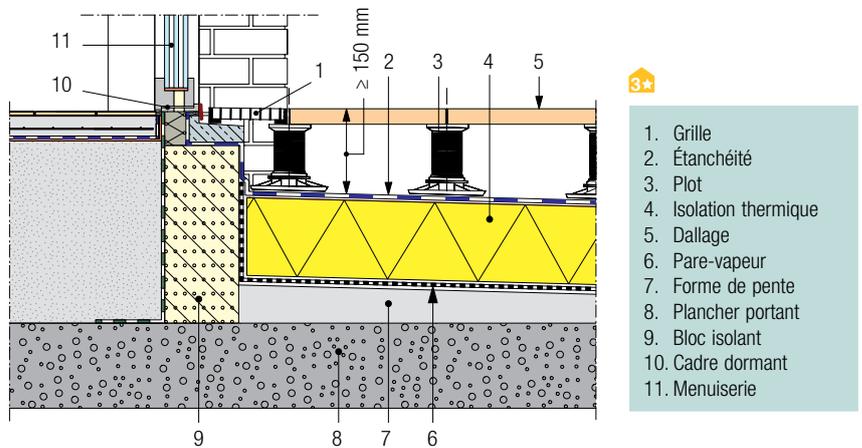
Dans ce cas aussi, la mise en place d'un cadre dormant peut avoir un impact positif sur l'étanchéité à l'air, sur l'étanchéité à la pluie et sur l'isolation thermique (voir figures 4 et 5).

La NIT 244 reprend une série d'autres points auxquels il convient d'accorder une attention particulière lors de la mise en œuvre des toitures-terrasses. Ainsi, le drainage du mur creux sous le châssis ou sous le seuil doit être compatible avec l'étanchéité de toiture. Si le dallage est posé en adhérence sur la terrasse, il importe de prêter attention au dispositif d'évacuation des eaux pluviales du chéneau. Ce dernier peut, si nécessaire, être prolongé sur toute la longueur de la terrasse et être doté d'un système d'évacuation sur sa face latérale. Il ne peut pas faire obstacle au drainage du mur creux (voir figure 7, p. 17), ni jouer le rôle de dispositif d'évacuation pour la terrasse. En effet, le chéneau sert uniquement à limiter le risque d'infiltrations d'eau à hauteur de la menuiserie.

Le débit pouvant être collecté et évacué par le chéneau doit correspondre aux débits attendus, et ce en fonction de la quantité d'eau qui s'écoule à cet endroit de la façade et de la hauteur d'eau maximale. La terrasse doit elle-même être pourvue d'un système



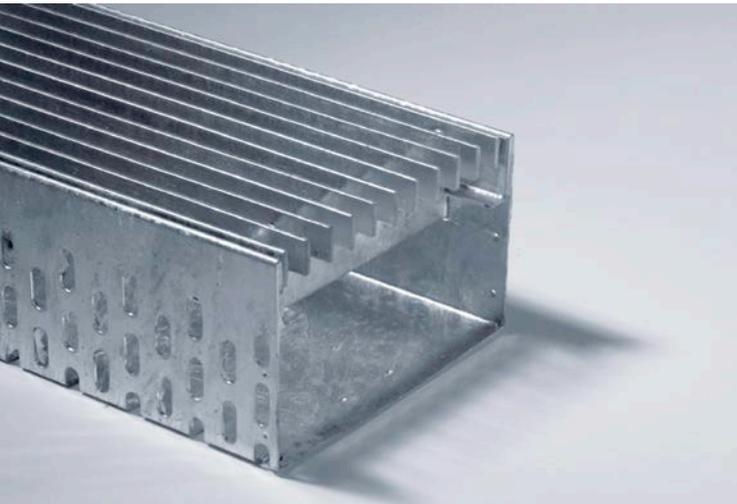
4 | Raccord entre une porte et une toiture-terrasse munie d'un revêtement sur chape armée.



5 | Raccord entre une porte et une toiture-terrasse revêtue de dalles sur plots.

	L'étanchéité se prolonge sans interruption sous et derrière le seuil	L'étanchéité est interrompue sous le seuil (finition à l'aide d'une bande métallique)
Revêtement de sol adhérent	<p>1★ ou 0★</p>	<p>0★</p>
Revêtement de sol non adhérent	<p>2★</p> <p>≥ 50 mm</p>	<p>2★</p> <p>≥ 50 mm</p>

6 | Raccords traditionnels entre une porte et une toiture-terrasse avec un relevé de 50 ou 150 mm.



7 | Exemple de grille perforée qui n'entrave pas l'évacuation des eaux.

Afin d'assurer une bonne accessibilité, on peut opter pour un revêtement de sol surélevé (dalles sur plots, revêtement de terrasse en bois, etc.) pourvu d'une structure suffisamment ouverte au droit du raccord avec le seuil (grille intégrée, par exemple) en vue de garantir une évacuation rapide des eaux de pluie. Il y a en outre lieu de veiller à laisser un joint suffisamment large (≥ 20 mm) entre la première dalle et le relevé. Pour empêcher les stagnations d'eau éventuelles, on peut prévoir une pente à hauteur du revêtement d'étanchéité (ou à hauteur du béton lorsque celui-ci assure l'étanchéité) en partant de la porte (voir figure 8).

On ne peut déroger à cette règle que si le balcon est doté d'une protection contre les précipitations (auvent).

Le revêtement d'étanchéité ou le relevé du côté de la façade dépassera de préférence le niveau de la rive libre du balcon, de façon à ce que l'eau ne pénètre pas à l'intérieur du bâtiment en cas d'obstruction du dispositif d'évacuation. ■

S. Danschutter, ir.-arch., laboratoire Développement durable, et J. Wijnants, ing., division Avis techniques, CSTC

Cet article a été rédigé dans le cadre de la Guidance technologique 'Eco-construction et développement durable' en Région de Bruxelles-Capitale.

d'évacuation suffisamment dimensionné et de gargouilles. Enfin, il importe d'entretenir régulièrement le chéneau, afin d'éviter les problèmes d'obstruction.

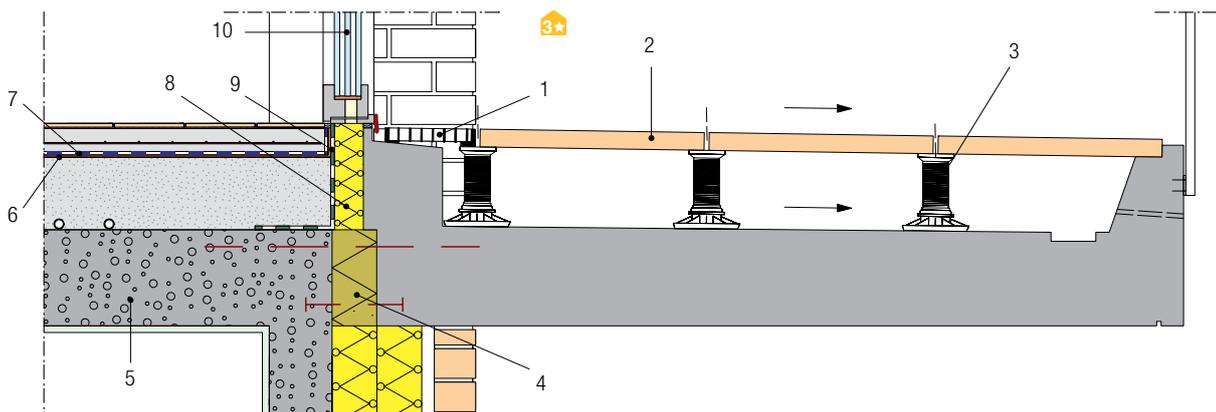
Une telle approche nécessite donc une certaine attention et une coordination adéquate avant, pendant et après la mise en œuvre.

4 La porte donnant sur un balcon

Dans certains cas, les balcons doivent eux aussi être accessibles, notamment dans les établissements de soins ou les rési-

dences-services individuelles qui ne sont accessibles que via des galeries. Bien qu'il n'y ait aucune obligation légale en la matière, on s'efforce de plus en plus souvent – au vu du vieillissement de la population – de tenir compte des aspects d'accessibilité pour les balcons des habitations privées.

Un relevé théorique du revêtement d'étanchéité (*) de 150 mm au minimum est néanmoins conseillé sur les balcons afin d'assurer l'étanchéité à l'eau, en particulier lorsque ces derniers ne sont dotés que d'une pente limitée pour des raisons de confort (pour éviter que les meubles penchent, par exemple).



- | | | | | |
|------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Grille | 3. Plot | 5. Plancher portant | 7. Membrane en film plastique | 9. Membrane d'étanchéité à l'air |
| 2. Dallage | 4. Attache de coupe thermique | 6. Isolation acoustique | 8. Isolation thermique | 10. Menuiserie |

8 | Entrée accessible menant à un balcon.

(*) L'étanchéité des balcons en encorbellement qui ne séparent pas l'espace intérieur et l'espace extérieur peut également être assurée par le béton. Dans ce cas, elle doit présenter un relevé de 150 mm.



Les détails constructifs jouent un rôle essentiel dans la conception acoustique d'un bâtiment, dans la mesure où ils affectent non seulement l'isolation aux bruits extérieurs, mais également celle entre locaux intérieurs. En mettant en évidence ce rôle particulier, le présent article démontre qu'un choix judicieux et une réalisation adéquate des détails constructifs permettent d'atteindre les niveaux de confort acoustique préconisés par la norme.

Rôle des détails constructifs dans l'isolation acoustique des bâtiments

1 Bruits aériens et bruits de choc

En matière d'isolation acoustique, il convient avant tout d'identifier la nature du bruit dont on souhaite se protéger. C'est ainsi qu'on fait la distinction entre bruits aériens et bruits de choc selon la source qui les émet :

- les **bruits aériens** prennent naissance dans l'air et se transmettent à la structure par vibration de l'air (par exemple : conversation, radio, télévision, trafic)
- quant aux **bruits de choc**, ils sont issus d'un contact direct avec un élément de construction et provoquent une mise en vibration de la structure (bruit de pas, chute d'un objet, déplacement d'une chaise sur le sol, etc.).

Selon que la source se situe à l'extérieur ou à l'intérieur du bâtiment, on parlera d'**isolation acoustique des façades** (§ 3) ou d'**isolation acoustique entre locaux** (§ 4). Dans les deux cas, la notion de détail constructif aura alors une connotation différente.

2 Normes acoustiques du bâtiment

En Belgique, les exigences relatives à l'isolation acoustique des façades, à l'isolation aux bruits aériens et à l'isolation aux bruits de choc sont définies dans une série de normes, dont chacune s'applique à un type de bâtiment bien particulier. Ainsi, la norme NBN S 01-400-1, parue en 2008, traite des critères acoustiques relatifs aux immeubles d'habitation, tandis que la NBN S 01-400-2 définit depuis 2012 le cadre acoustique des bâtiments scolaires.

La troisième partie (NBN S 01-400-3), encore en cours d'élaboration, fixera les exigences performancielles applicables aux bâtiments non résidentiels, actuellement couverts par les normes NBN S 01-400 (1977) et NBN S 01-401 (1987).

A | Exemples illustrant la différence entre le concept d'étanchéité à l'air et d'étanchéité aux bruits.

Critères		Etanches à l'air	
		Oui	Non
Etanches aux bruits	Oui	Mastics aux silicones, enduits	Grilles de ventilation insonorisées
	Non	Films, mousses PUR	Jours, fentes ou interstices, maçonneries poreuses

La norme NBN S 01-400-1 relative aux immeubles d'habitation distingue deux niveaux de performances : un **confort acoustique normal** (CAN) et un **confort acoustique supérieur** (CAS). Le premier est le niveau de performance minimum censé procurer un isolement aux bruits aériens et aux bruits de choc satisfaisant au moins 70 % des occupants, lorsque ceux-ci sont exposés à des nuisances sonores normales et que le bâtiment concerné est une construction lourde érigée selon des méthodes traditionnelles au moyen de matériaux pierreux (?). Par contre, pour revendiquer un confort acoustique supérieur, il convient de satisfaire plus de 90 % des utilisateurs (voir [Les Dossiers du CSTC 2012/2.18](#)).

Les autres normes de la série S 01-400 ne prévoient qu'un seul niveau de performance. Les exigences seront toutefois plus sévères lorsque les conditions acoustiques seront plus contraignantes.

3 Isolation acoustique des façades

3.1 Détails constructifs propres aux façades

Lorsqu'on se penche sur la problématique des bruits aériens extérieurs, on constate que l'isolation entre un local et l'extérieur

dépend généralement des éléments acoustiquement 'faibles' de la façade (fenêtres, grilles de ventilation, toiture, etc.). Dans un environnement très bruyant, il convient dès lors d'opter pour des éléments de construction optimisés sur le plan acoustique. Plus les performances acoustiques de ces éléments seront élevées, plus la manière de les connecter entre eux et avec le reste du bâtiment aura de l'importance. On considère ces raccords comme des détails acoustiques linéaires. En revanche, des orifices de ventilation sont à considérer comme des détails acoustiques ponctuels.

Si, dans un contexte énergétique, des détails constructifs mal réalisés engendrent des déperditions thermiques ou des infiltrations d'air, sur le plan acoustique, ils constitueront autant de points de passage du bruit. Toutefois, un raccord étanche à l'air n'est pas forcément étanche au bruit et *vice versa*. Ce principe est illustré au tableau A à l'aide de quelques exemples.

3.2 Classification des détails constructifs en façade

Les exigences d'isolation acoustique des façades imposées par la norme NBN S 01-400-1 sont d'autant plus sévères que les surfaces concernées sont exposées aux

(?) Les exigences de la norme NBN S 01-400-1 ne permettent pas de garantir un confort acoustique suffisant dans les constructions légères.



nuisances sonores. Cette norme distingue quatre **classes de bruits extérieurs**. Il est évident que certains détails constructifs en façade ne sont plus envisageables lorsque le bruit environnant dépasse un certain seuil. On peut dès lors classer les détails constructifs des façades selon leur applicabilité au regard des quatre classes de bruits extérieurs (voir tableau B). Une performance de **0★** serait, elle, applicable aux détails d'un bâtiment qui n'est soumis à aucune exigence.

3.3 Jonction entre un châssis de fenêtre et un mur creux

La figure 1 montre, à titre d'exemple, la coupe verticale d'un raccord thermiquement performant entre un châssis de fenêtre et un mur creux.

Si les retours de baie sont recouverts de matériaux légers et que la coulisse du mur creux est remplie d'isolant rigide et léger, ce détail ne peut s'envisager qu'en classe de bruit extérieur 1.

4 Transmission des bruits aériens et des bruits de choc au sein des bâtiments

4.1 Détails constructifs à l'intérieur des bâtiments

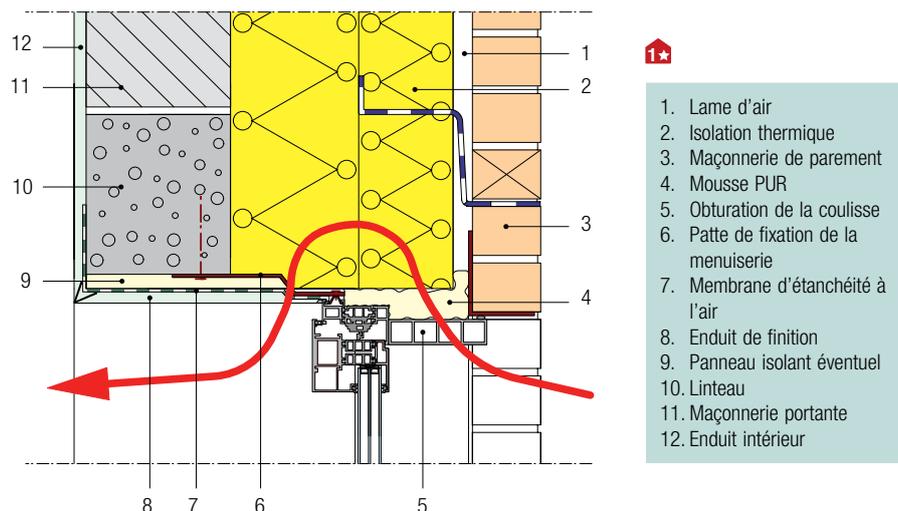
Nous avons vu au § 1 que les bruits aériens et les bruits de choc pouvaient indistinctement générer des vibrations dans les éléments de construction. Ces vibrations sont transmises par la structure, qui les rayonne sous forme audible dans les locaux voisins et les propage éventuellement à d'autres éléments via leurs points d'assemblage, lesquels les transmettront à leur tour aux autres espaces du bâtiment. C'est la raison pour laquelle il arrive que l'on perçoive, dans certaines pièces, des bruits provenant de locaux relativement lointains. Les détails constructifs, au sein desquels peuvent se connecter deux à quatre éléments de construction, jouent ainsi le rôle d'échangeurs de vibrations dans la propagation du bruit au travers des bâtiments.

4.2 Transmission directe et indirecte du bruit

Lorsqu'on évoque la transmission des bruits aériens et des bruits de choc entre locaux adjacents, on a tendance à ne considérer que

B | Domaine d'application des détails selon l'isolation acoustique *in situ* d'une façade permettant d'atteindre un confort acoustique normal dans une salle de séjour soumise au bruit extérieur d'un seul côté (NBN S 01-400-1).

Classe de bruit extérieur	Description	Isolation acoustique minimale des façades (CAN)
1	Chemins calmes ou champêtres, lotissements calmes avec circulation locale, rues en ville avec trafic réduit	$D_{Atr} \geq 26$ dB 1★
2	Rues asphaltées en ville avec trafic normal sur une seule bande de circulation dans chaque sens	$D_{Atr} \geq 31$ dB 2★
3	Trafic intense et lourd	$D_{Atr} \geq 36$ dB 3★
4	Rues à trafic dense en ville, routes dont le revêtement est en béton et le trafic important, routes nationales, voies d'accès des grandes villes, routes de liaison avec des zones industrielles régulièrement fréquentées par des véhicules lourds	$D_{Atr} \geq 43$ dB 4★



1 | Raccord thermiquement performant entre un châssis de fenêtre et un mur creux. La flèche rouge indique la voie de passage potentiel du bruit.

la transmission directe à travers le mur ou le plancher contigu. Or, le bruit peut également pénétrer dans les locaux voisins par des voies indirectes. La part de transmission indirecte dans le transfert global du bruit augmente à mesure que l'isolation acoustique directe de la paroi de séparation augmente elle aussi. Le cas échéant, c'est la transmission indirecte qui conditionne l'isolation acoustique maximale réalisable *in situ*.

La transmission indirecte du bruit peut s'opérer par transfert vibratoire d'un élément de construction à l'autre. C'est ce qu'on

appelle la transmission structurelle indirecte ou **transmission latérale du bruit**. Une autre forme de transmission indirecte est celle que subissent les bruits aériens lorsqu'ils se propagent **au travers des espaces adjacents** (couloirs, par exemple), de l'environnement extérieur ou des systèmes de ventilation (voir [Les Dossiers du CSTC 2013/3.16](#)). Ce type de transmission n'est toutefois pas envisagé dans le présent article.

Dans le cas d'une transmission structurelle indirecte, la proportion de vibrations transmises dépend entre autres du type de détail

(T, croix ou angle) et des rapports de masse entre les éléments de construction qui s'y concentrent. Les normes NBN EN 12354-1 à 5 proposent des modèles de calcul permettant d'évaluer ces phénomènes complexes. Dans de nombreux cas, la transmission structurelle indirecte s'avère moins importante lorsqu'elle s'opère au sein d'une structure lourde.

Certaines voies de transmission indirecte peuvent être éliminées en grande partie en déconnectant les éléments au niveau des détails constructifs au moyen d'une coupe antivibratoire. On peut également les atténuer par la mise en place, dans le local d'émission et/ou de réception, d'une structure indépendante devant l'élément de construction concerné. Les deux stratégies sont illustrées ci-après à l'aide de quelques exemples.

4.3 Transmission du bruit aérien

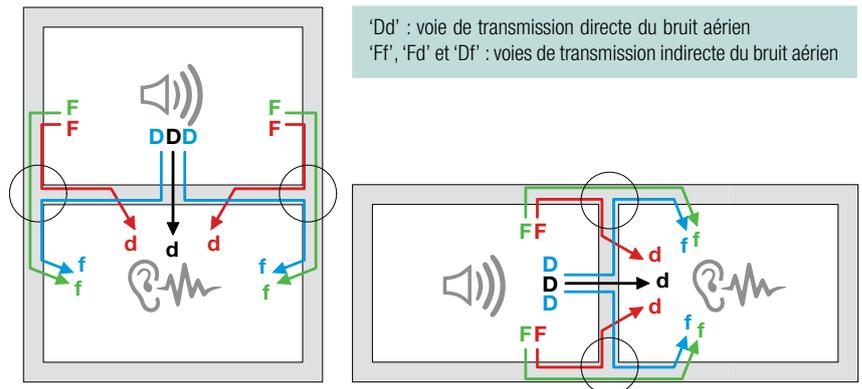
Dans le cas de la transmission directe des bruits aériens, les ondes sonores émises dans le local font vibrer la paroi de séparation (mur ou plancher), qui transmet les vibrations sous forme de bruits dans le local de réception. Cette **voie de transmission directe** est représentée à la figure 2 par la flèche noire partant de 'D' et aboutissant à 'd'.

Les **voies de transmission indirecte** y sont représentées par des flèches de couleur traversant les deux détails constructifs visibles sur chaque coupe. Afin d'identifier clairement les trajets empruntés par le bruit, les parois du local d'émission sont désignées par des lettres majuscules et celles du local de réception par des minuscules. Les parois de séparation sont représentées par les lettres 'D' et 'd'; quant aux murs et planchers latéraux, ils sont représentés par les lettres 'F' et 'f'.

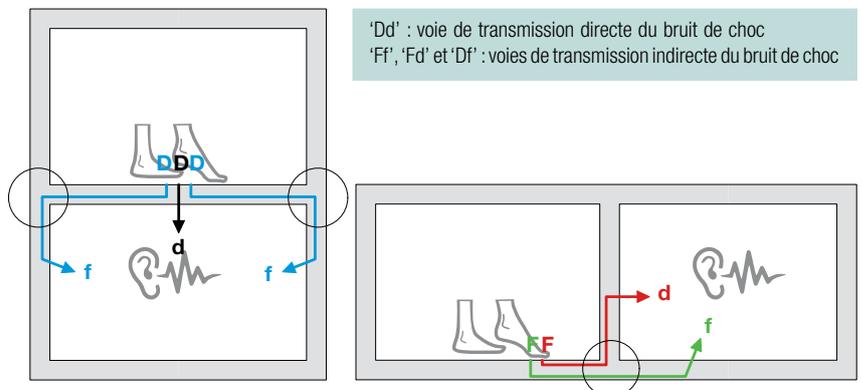
Dans un local délimité par deux murs, un plafond et une dalle (soit quatre détails constructifs) se prolongeant chacun dans les locaux voisins, on distingue 12 voies de transmission latérale du bruit aérien (autrement dit trois voies de transmission par détail constructif : 'FF', 'Fd' et 'DF'), mais une seule voie directe ('Dd').

4.4 Transmission du bruit de choc

Soumis à un choc, un élément de construction tel qu'un plancher ou un escalier est mis directement en vibration. Dans le cas



2 | Voies de transmission du bruit aérien en sens vertical (à gauche) et horizontal (à droite); le bruit pénètre dans le local voisin par une seule voie de transmission directe ('Dd'), mais par 12 voies latérales (trois par détail). Sur les schémas, seuls deux détails sont visibles dans chaque direction.



3 | Voies de transmission du bruit de choc entre locaux superposés (à gauche) et entre locaux juxtaposés (à droite). Dans les locaux superposés, on distingue, outre la voie de transmission directe 'Dd', au maximum quatre voies de transmission latérale 'Df' (une par détail). Les schémas ne représentent que deux des quatre détails. Entre locaux juxtaposés, on compte uniquement deux voies de transmission latérale ('Fd' et 'Ff').

de locaux superposés, ces vibrations se propagent non seulement par le plafond (**transmission directe des bruits de choc**), mais également par les murs en contact avec le plafond. Cette **transmission latérale du bruit de choc** à l'étage inférieur n'emprunte qu'un seul et même trajet pour chaque détail, à savoir la voie 'DF' qui relie le plancher au mur porteur, ce qui représente au maximum quatre voies de transmission latérale dans le cas d'une dalle sur quatre appuis. Cela ne signifie cependant pas que la transmission latérale des bruits de choc soit négligeable. Communiquées directement à la structure du plancher, les vibrations seront d'un ordre de grandeur nettement supérieur à celui qui prévaut pour la transmission des bruits aériens. Ainsi, l'installation seule d'un plafond suspendu ne suffira pas pour bénéficier d'un confort acoustique satisfaisant. Tous les planchers d'appartements devront par

conséquent être munis d'une chape flottante suffisamment lourde reposant sur une couche de matériau antivibratoire performante. Comme le montre la figure 3, cette mesure se révélera efficace pour réduire sensiblement à la source aussi bien la transmission structurelle indirecte que la transmission directe. La mise en œuvre de la chape flottante requiert donc un soin particulièrement vigilant, puisqu'elle joue un rôle essentiel dans l'isolation aux bruits aériens (voir [Les Dossiers du CSTC 2009/3.15](#)).

Entre deux locaux juxtaposés, on compte un seul détail (point d'intersection du mur mitoyen avec la dalle), soit, en tout et pour tout, deux voies de transmission latérale possibles pour le bruit de choc : 'FF' et 'Fd'. Ici aussi, un manque de soin lors de la mise en œuvre de la chape flottante suffira généralement à saper le confort acoustique escompté.



4.5 Rôle clé des détails constructifs dans les concepts acoustiques

Une isolation acoustique adéquate entre deux locaux ne dépend pas d'un mur ou d'un plancher mitoyen que l'on se contenterait d'isoler de manière optimale; il convient également de s'attarder sur les voies de transmission structurelle indirecte. Les normes NBN EN 12354-1 et 2 permettent d'évaluer l'isolation acoustique *in situ* en se basant sur les caractéristiques des éléments constitutifs d'une construction (déterminées en laboratoire). Il s'agit là d'un processus relativement complexe qui n'est pas encore applicable à tous les types de détails constructifs et qui requiert de solides connaissances en acoustique.

La future Note d'information technique relative à l'acoustique (en préparation) proposera une approche par **concept constructif** (ou 'détail robuste'). Elaborés dans un premier temps pour le logement, ces concepts sont fondés sur des méthodes de construction courantes et font appel à des éléments du bâtiment auxquels sont imposées des exigences techniques permettant d'atteindre le niveau de confort acoustique requis (normal ou supérieur) sur la base de calculs fiables. Les solutions ainsi proposées intègrent des éléments de construction et des détails d'exécution spécifiques (fondations, chapes flottantes, raccords de toiture, etc.).

4.6 Effet des détails constructifs sur l'isolation acoustique entre appartements

Les concepts illustrés et commentés au tableau C (p. 22-23) montrent que le soin apporté à la mise en oeuvre des jonctions dalle/mur séparatif, dalle/murs porteurs et murs porteurs/mur séparatif influe sur le niveau de confort acoustique escompté entre appartements. Nous avons examiné l'isolation aux bruits aériens et aux bruits de contact tant en sens vertical qu'en sens horizontal.

Le tableau D propose, quant à lui, des exemples de matériaux pouvant être utilisés pour atteindre les masses surfaciques minimales mentionnées au tableau C.

Enfin, le tableau E reprend les exigences formulées dans la norme NBN S 01-400-1 en vue de garantir un confort acoustique normal ou supérieur entre appartements (voir [Les Dossiers du CSTC 2012/2.18](#)).

D | Exemples de matériaux utilisables pour atteindre les masses surfaciques minimales reprises au tableau C (*)

Masse surfacique minimale	Matériaux utilisables
700 kg/m ²	Béton armé 30 cm
600 kg/m ²	Béton armé 26 cm
500 kg/m ²	Béton armé 22 cm
400 kg/m ²	Béton armé 17 cm
370 kg/m ²	Éléments silicocalcaires 21 cm
300 kg/m ²	Béton armé 13 cm
260 kg/m ²	Éléments silicocalcaires 15 cm / Blocs pleins en béton lourd 14 cm
200 kg/m ²	Blocs silicocalcaires légers 15 cm / Blocs creux en béton lourd 14 cm
160 kg/m ²	Blocs creux lourds en terre cuite 14 cm / Blocs silicocalcaires lourds 10 cm
125 kg/m ²	Blocs creux en terre cuite 14 cm

(*) Les murs séparatifs et les murs porteurs sont supposés être parachevés avec un enduit.

E | Critères de performance acoustique applicables aux appartements selon la norme NBN S 01-400-1.

Local d'émission situé en dehors de l'habitation	Local de réception situé à l'intérieur de l'habitation	Confort acoustique normal (CAN)	Confort acoustique supérieur (CAS)
Tout type de local	Tout type de local, sauf locaux techniques et halls d'entrée	<ul style="list-style-type: none"> Isolement aux bruits aériens : $D_{nT,w} \geq 54$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nT,w} \leq 54$ dB (*) 	<ul style="list-style-type: none"> Isolement aux bruits aériens : $D_{nT,w} \geq 58$ dB Isolement aux bruits de choc : $L'_{nT,w} \leq 50$ dB

(*) Cette valeur peut être portée à 58 dB lorsque le local de réception n'est pas une chambre à coucher ou que le local d'émission et le local de réception sont tous deux des chambres à coucher.

Classification acoustique des concepts constructifs

On pourrait bien sûr entreprendre un classement acoustique des détails constructifs (en se basant, par exemple, sur l'indice d'affaiblissement vibratoire K_{vj} des raccords, voir NBN EN 12354-1 à 5), mais cela présenterait peu d'intérêt, puisque le niveau d'isolation aux bruits entre locaux dépend de plusieurs détails.

Par contre, un classement des divers concepts constructifs selon le degré de satisfaction des occupants serait beaucoup plus judicieux. Les études psychoacoustiques à l'origine du projet de norme NBN S 01-400-1 révèlent en effet que le nombre de sujets satisfaits augmente de quelque 5 % lorsque l'isolation acoustique croît de 1 dB. C'est la raison pour laquelle on constate une différence de 4 décibels entre le confort normal (CAN / 2★ / 70 % de satisfaits) et le confort supérieur (CAS / 3★ / 90 % de satisfaits).

En l'absence d'exigences spécifiques (rénovation sans permis de bâtir, par exemple), un niveau d'isolation aux bruits aériens et aux bruits de choc inférieur de 4 dB au confort acoustique normal pourrait se voir attribuer une étoile (CAN - 4 dB / 1★). De même, on pourrait décerner quatre étoiles à un niveau d'isolation aux bruits de choc et aux bruits aériens qui se situerait 4 dB au-dessus du confort supérieur (CAS + 4 dB / 4★). Un tel niveau d'isolation ne se justifierait toutefois que dans des situations bien particulières (studio d'enregistrement ou salle de concert, par exemple). Un détail 0★ serait, quant à lui, réservé aux bâtiments pour lesquels l'isolation acoustique ne constitue pas un critère de choix.



C | Effet du traitement des détails 'dalle-mur séparatif', 'dalle-murs porteurs' et 'murs porteurs-mur séparatif' sur le niveau de confort acoustique de divers concepts d'appartement. Les flèches représentent les principales voies de transmission du bruit aérien (suite).

Concepts d'appartement		Niveau de confort acoustique visé				
		Confort acoustique normal (CAN) 2★		Confort acoustique supérieur (CAS) 3★		
		Masse surfacique minimale [kg/m ²]				
Solutions avec dalles interrompues et murs creux sans ancrages de type lourd		Dalle porteuse	500	600	600	700
		Mur séparatif (une seule paroi) et murs porteurs	160	125	200	160
		<ul style="list-style-type: none"> L'absence quasi totale de transmission structurelle indirecte en sens horizontal garantit un haut niveau d'isolation acoustique. L'isolation acoustique verticale est déterminée à la fois par la transmission directe des bruits ('Dd') au travers de la dalle et par la transmission structurelle indirecte ('FF' et 'Fd'). 				
Solutions avec dalles interrompues et murs de type mi-lourd sur bandes acoustiques		Dalle porteuse	300	400	500	600
		Mur séparatif (une seule paroi) et murs porteurs	160	125	160	125
		<ul style="list-style-type: none"> L'absence quasi totale de transmission structurelle indirecte en sens horizontal garantit un haut niveau d'isolation acoustique. Dans le sens vertical, les voies de transmission structurelle indirecte 'FF' et 'Fd' sont interrompues, de sorte que l'isolation acoustique est principalement déterminée par la transmission directe des bruits ('Dd'). 				

La réalisation d'une chape flottante performante est une condition indispensable pour pouvoir respecter les exigences d'isolation aux bruits de choc. Pour plus de détails au sujet des directives de mise en œuvre et des exigences techniques complémentaires, nous renvoyons à la future NIT dans laquelle d'autres concepts seront envisagés, notamment en ce qui concerne les constructions légères (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/2.13](#)).

4.7 Effet des cloisons de doublage dans le cas d'une rénovation

Remplacer des éléments porteurs s'avère la plupart du temps trop fastidieux lorsqu'on souhaite rénover un bâtiment. On préférera dès lors recourir au doublage des planchers, des plafonds et/ou des murs. Ce principe aura évidemment un impact sur le comportement acoustique des détails constructifs.

L'exemple présenté au tableau F (p. 24) concerne une structure de base constituée

d'une dalle et de murs d'une masse surfacique de 300 kg/m², structure sur laquelle on a ensuite greffé successivement une chape flottante ($\Delta L_w = 24$ dB, $\Delta R_w = 7$ dB), un plafond suspendu ($\Delta R_w = 12$ dB) et des contre-cloisons ($\Delta R_w = 12$ dB), conduisant à la réalisation d'une structure gigogne. Cette présentation permet ainsi de visualiser la manière d'atteindre les différentes catégories de confort acoustique. ■

L. De Geetere, dr. ir., B. Ingelaere, ir.-arch., et M. Géhu, ing., division Acoustique, CSTC

Article rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes 'Acoustique' (financée par le SPF Economie), de la Guidance technologique 'Ecoconstruction et développement durable' (subsidée par InnovIRIS) et de la Guidance technologique 'Matériaux et techniques de construction durables' (subsidée par le Service public de Wallonie).



F | Effet des parois de doublage sur l'isolation aux bruits de choc et aux bruits aériens entre appartements. Outre la catégorie de confort, on a précisé les écarts en plus ou en moins par rapport aux valeurs minimum du confort normal ou supérieur. Les schémas montrent également quel type de source sonore (symbole figuratif) et quelle voie de transmission (flèche rouge) déterminent le niveau de confort final.

	Représentation schématique	Composition	Evaluation	Ecart
1		Configuration de base constituée d'une dalle portante et de murs d'une masse surfacique de 300 kg/m ²	0★	CAN - 25 dB
2		Configuration de base (1) complétée par une chape flottante	1★	CAN - 3 dB
3		Configuration 2 complétée par un plafond suspendu	1★	CAN - 3 dB
4		Configuration 3 complétée par une contre-cloison de part et d'autre des murs séparatifs	2★	CAN + 3 dB
5		Configuration 4 complétée par une contre-cloison sur la paroi intérieure du mur de façade à l'étage supérieur	3★	CAS
6		Configuration 4 complétée par une contre-cloison sur la paroi intérieure du mur de façade à l'étage supérieur et inférieur	4★	CAS + 6 dB



La réglementation en matière de sécurité incendie a des répercussions non négligeables sur la conception et la mise en œuvre de différents détails et raccords dans les bâtiments. Afin d'éviter la propagation de l'incendie via les façades, il convient notamment d'effectuer les bons choix dès la conception. Les traversées de parois résistant au feu doivent, quant à elles, être pourvues d'un dispositif d'obturation résistant au feu. Les parois de compartiments doivent également être réalisées avec soin. Bien que la législation impose de nombreuses autres exigences importantes, nous nous limiterons, dans cet article, aux trois aspects précités.

La sécurité incendie des détails et des raccords dans les bâtiments

L'arrêté royal fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion ⁽¹⁾ du 7 juillet 1994 et ses modifications ⁽²⁾ fixent les exigences en terme de sécurité incendie auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire. Cet arrêté comporte sept annexes, dont l'annexe 2 pour les bâtiments bas ($h < 10$ m), l'annexe 3 pour les bâtiments moyens ($10 \text{ m} \leq h \leq 25$ m), l'annexe 4 pour les bâtiments élevés ($h > 25$ m) et l'annexe 6 spécifiquement dédiée aux bâtiments industriels.

La dernière révision des 'normes de base' (en vigueur depuis le 1^{er} décembre 2012) a apporté des modifications substantielles à la réglementation belge. Ainsi, les exigences en matière de sécurité incendie sont désormais exprimées selon les classes européennes (REI ⁽³⁾), tandis que l'ancienne classification belge (Rf) n'est plus d'application et disparaîtra après une période de transition de quatre ans.

Les normes de base s'appliquent à tous les nouveaux bâtiments, à l'exception des maisons unifamiliales ⁽⁴⁾. Les rénovations ne sont en revanche pas concernées par les normes de base, même si les services

d'incendie s'y réfèrent pour l'évaluation de la sécurité incendie.

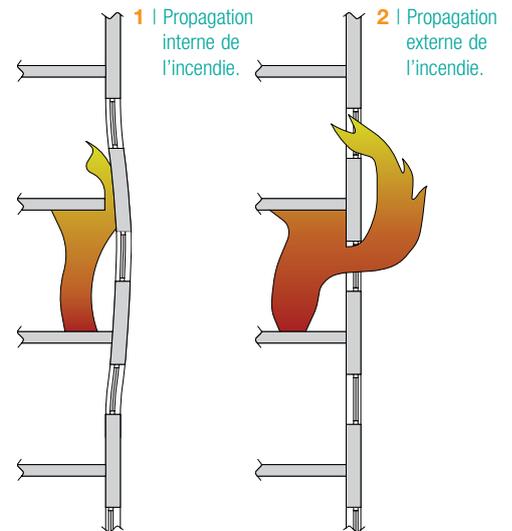
Notons également que les Régions, les Communautés et les Services publics fédéraux (SPF) sont habilités à promulguer des textes complétant l'arrêté royal précité, en vue de tenir compte des spécificités de certains bâtiments. Les prescriptions des normes de base ainsi que celles de la réglementation et des textes en vigueur sont disponibles sur le site Internet de l'Antenne Normes 'Prévention au feu' (www.normes.be/feu) et sur celui du SPF Intérieur (www.besafe.be).

1 Propagation de l'incendie via les façades

1.1 Réglementation

Le § 3.5 des annexes 2, 3 et 4 des normes de base précise les mesures à mettre en œuvre afin d'éviter la propagation interne et externe de l'incendie (voir figures 1 et 2).

On distingue les façades à simple paroi des façades à double paroi ⁽⁵⁾. Dans cet article, nous nous concentrons sur le premier type



de façade. Il s'agit, par exemple, de murs creux, d'ETICS, de bardages sur ossature ou de façades-rideaux (voir le [Dossier du CSTC 2013/3.8](#)).

En vue de limiter le risque de propagation interne de l'incendie, le joint de resserrage entre le plancher de compartiment et la façade doit au moins répondre aux exigences du tableau A. Dans une construction tradition-

A | Exigences imposées au joint de resserrage entre le plancher de compartiment et la façade.

Type de bâtiment	Exigence pour le joint de resserrage
Bâtiment bas ($h < 10$ m)	EI 60, sauf si le joint linéaire a une largeur inférieure ou égale à 20 mm.
Bâtiment moyen ($10 \leq h \leq 25$ m)	EI 60
Bâtiment élevé ($h > 25$ m)	EI 60 (*)

(*) L'arrêté royal 'Normes de base' de 2012 exige que ce joint présente une résistance au feu de EI 120. L'élément étanche au feu de la façade ne devant assurer l'étanchéité au feu que durant 60 minutes, il se peut que celui-ci cède après 60 minutes. Il est donc inutile d'imposer des exigences plus strictes au joint qui relie l'élément de façade étanche au feu. Dans une prochaine révision des normes de base, cette exigence devrait dès lors être ramenée à EI 60.

(1) Dans le présent article, cet arrêté royal sera désigné sous l'appellation de 'normes de base'.

(2) Arrêtés royaux du 19/12/1997, du 04/04/2003, du 13/06/2007, du 01/03/2009 et du 12/07/2012.

(3) R étant le critère de 'stabilité', E le critère d'"étanchéité au feu" et I le critère d'"isolation thermique".

(4) On entend par maison unifamiliale un bâtiment indépendant destiné principalement au logement d'une famille.

(5) Le terme 'façade à double paroi' est ici employé dans le sens de 'façade à double peau'.

nelle composée de maçonneries portantes et de dalles de béton, la résistance au feu au droit de ce joint de resserrage est de toute façon assurée. Dans les façades-rideaux et les bardages sur ossature qui sont fixés à une structure portante discontinue, il est par contre essentiel que le joint de resserrage soit bien obturé.

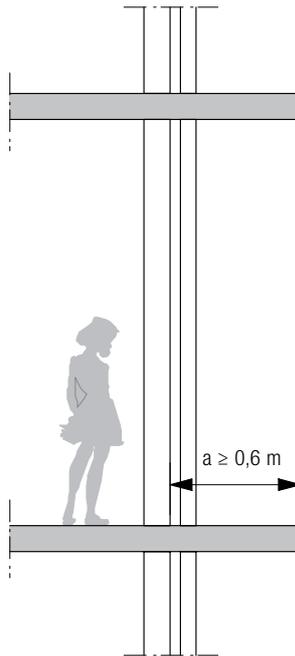
L'arrêté royal 'normes de base' ne définit aucune exigence pour limiter le risque de propagation externe de l'incendie dans les bâtiments bas. La hauteur du bâtiment étant limitée (≤ 10 m), l'intervention des services d'incendie et l'évacuation des occupants sont facilitées. Par conséquent, les autorités compétentes estiment que des mesures spécifiques ne se justifient pas.

En revanche, il fixe des exigences pour les bâtiments moyens et élevés, afin de réduire le risque de propagation externe de l'incendie. Afin de satisfaire à ces exigences, on utilise habituellement des éléments de façade dont l'étanchéité au feu (E) est garantie pendant 60 minutes. Ces éléments peuvent être mis en œuvre de différentes manières. On peut ainsi le réaliser avec un dépassant horizontal étanche au feu d'une longueur d'au moins 0,6 m (voir figure 3) ou placer un élément étanche au feu (composé d'un linteau et/ou d'une allège) qui présente une longueur développée ($a + b + c + d$) supérieure ou égale à 1 m dans le plan de la façade (voir figure 4).

Rappelons que les revêtements de façade doivent répondre à la classe de réaction au feu (°) D-s3, d1 dans les bâtiments bas et B-s3, d1 dans les bâtiments moyens et élevés. Cette classe de réaction au feu s'applique dans les conditions d'application finale et inclut donc les couches sous-jacentes (isolation, panneaux, etc.). Les revêtements de façade des bâtiments industriels (annexe 6 de l'AR 'Normes de base') ne sont pas soumis à des exigences de réaction au feu.

1.2 Élément de façade étanche au feu vertical

Dans un mur creux traditionnel, il convient d'assurer l'étanchéité au feu sur une longueur développée d'au moins 1 m dans la maçonnerie de parement. Par ailleurs, il y a lieu de

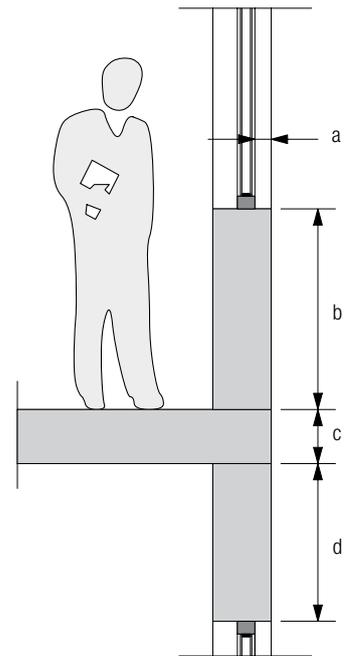


3 | Élément de construction étanche au feu (E 60) réalisé avec un dépassant horizontal d'au moins 0,6 m.

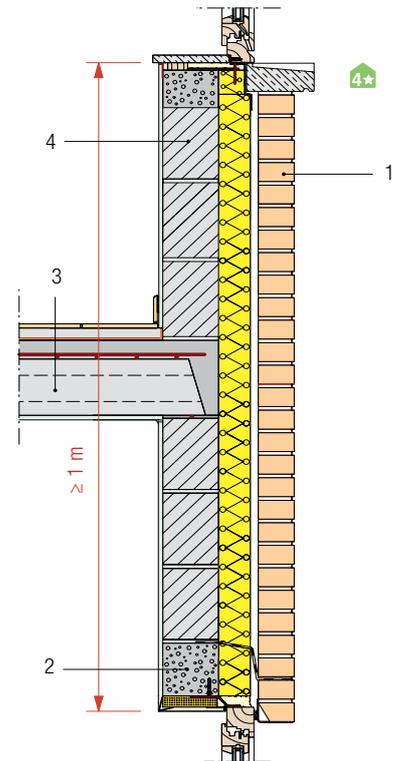
s'assurer que la somme « hauteur du 'linteau' (c'est-à-dire la partie de la maçonnerie située au-dessus de la menuiserie) et de l'allège + épaisseur du plancher de compartiment » est supérieure ou égale à 1 m. Notons qu'un de ces composants peut avoir des dimensions nulles.

La figure 5 montre de manière schématique comment obtenir un élément étanche au feu E 60 dans un mur creux traditionnel constitué d'une maçonnerie de parement et d'éléments portants en béton.

En raison du renforcement croissant de la réglementation thermique, les épaisseurs d'isolant dans les façades ne cessent d'augmenter. Les menuiseries extérieures sont par conséquent de plus en plus éloignées du plan de la maçonnerie portante, d'où le risque qu'un éventuel incendie se propage tout de même dans le compartiment supérieur via le mur creux, et ce, malgré la présence d'un élément étanche au feu d'une longueur de 1 m dans la maçonnerie de parement. Pour l'instant, la législation ne fixe toutefois aucune exigence qui permette de limiter la propagation du feu via l'isolation d'un mur creux (voir figure 6, p. 27), l'isolation d'un



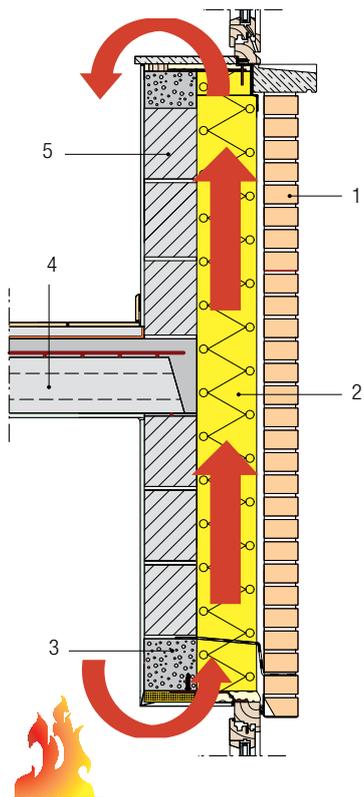
4 | Placement d'un élément étanche au feu (E 60) dont la longueur développée est supérieure ou égale à 1 m dans le plan de la façade.



- | | |
|-----------------------------|------------|
| 1. Maçonnerie de parement | 2. Linteau |
| 3. Plancher de compartiment | 4. Allège |

5 | Réalisation d'un élément de façade d'une résistance au feu de E 60 dans un mur creux traditionnel constitué d'une maçonnerie de parement et d'éléments portants en béton.

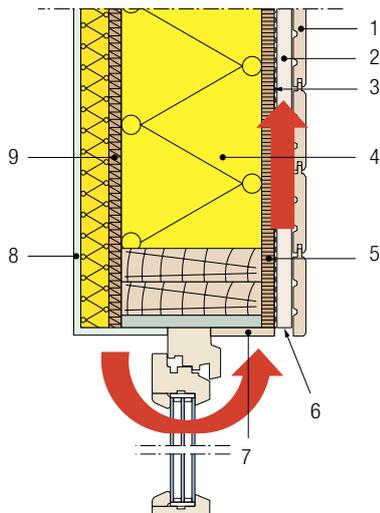
(°) Pour de plus amples informations concernant les différentes classes de réaction au feu, on consultera l'article 'Méthodes d'essai et classification européennes de la réaction au feu des produits de construction. 1^{ère} partie : le point de la situation' paru dans le CSTC-Magazine 2003/2.



- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Maçonnerie de parement | 3. Linteau |
| 2. Isolation du mur creux | 4. Plancher de compartiment |
| | 5. Allège |

6 | Risque de propagation de l'incendie via l'isolation du mur creux.

ETICS ou la cavité d'un bardage ventilé (voir figure 7). Un groupe de travail du SPF Intérieur se penche actuellement sur cette question.



- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. Bardage en bois | 6. Grille de protection |
| 2. Lattes | 7. Lame de bois |
| 3. Pare-pluie | 8. Finition intérieure |
| 4. Isolation | 9. Panneau de type OSB |
| 5. Panneau | |

7 | Risque de propagation de l'incendie via la cavité d'un bardage ventilé.

Afin d'éviter la propagation de l'incendie via l'isolation de façade, des barrières 'coupe-feu' (réalisées, par exemple, à l'aide d'un matériau isolant incombustible présentant une classe de réaction au feu minimale A2-s1, d0) peuvent être installées dans certaines zones bien définies. Une autre possibilité consiste à obturer la cavité à l'aide d'un fin solin métallique. Une telle méthode est moins indiquée du point de vue thermique, puisqu'elle crée un pont thermique linéaire.

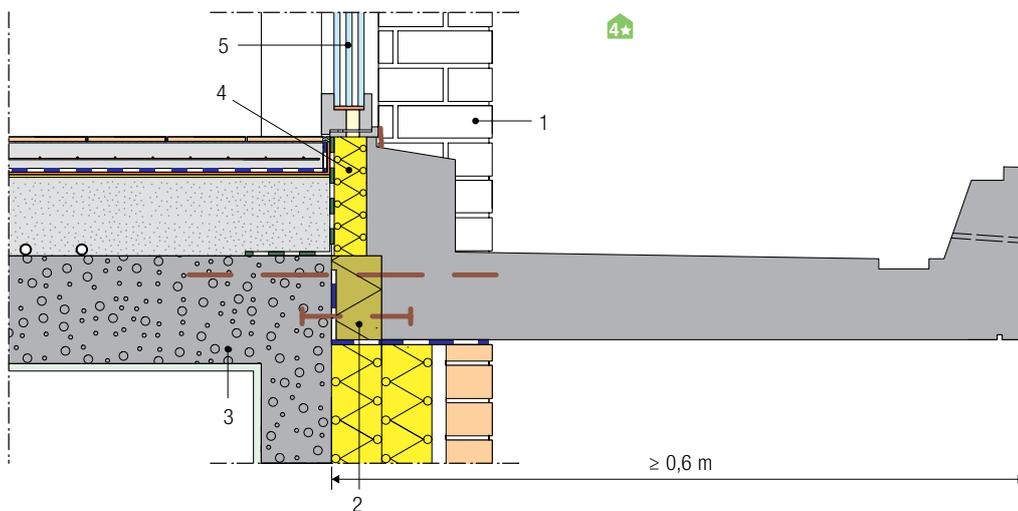
1.3 Élément de façade étanche au feu horizontal

En pratique, les balcons sont souvent utilisés dans le but d'empêcher la propagation externe de l'incendie. Étant donné que les balcons en encorbellement en béton forment en général un pont thermique, ils sont fréquemment équipés d'une coupure thermique (voir figure 8) dans les bâtiments chauffés, afin de satisfaire à la réglementation thermique. Cette coupure est généralement réalisée à l'aide de panneaux d'isolation combustibles rigides, qui ne peuvent en principe pas assurer l'étanchéité au feu durant 60 minutes.

En fonction de chaque situation, des mesures supplémentaires devront donc être prises afin d'obtenir l'étanchéité au feu requise. Différents paramètres influencent en effet le risque de propagation de l'incendie, comme le type de menuiseries (bois, PVC, etc.), leur position et le type d'isolation de façade, par exemple.

On peut notamment remplacer l'isolation combustible par un matériau incombustible (classe de réaction au feu minimale A2-s1, d0). Une autre option consiste à appliquer un panneau étanche au feu au droit de la coupure thermique ou du raccord entre la fenêtre et l'isolation. Dans tous les cas, il convient de s'assurer que la température de l'armature destinée à l'ancrage du balcon au plancher reste suffisamment basse, afin de garantir la stabilité de l'ensemble pendant 60 minutes.

Lorsque c'est la façade, et non le balcon en



- | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|---------------|
| 1. Maçonnerie de parement | 2. Ancrage à coupure thermique | 3. Plancher portant | 4. Isolation thermique | 5. Menuiserie |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|---------------|

8 | Balcon équipé d'une coupure thermique.

encorbellement, qui sert d'élément étanche au feu (voir § 1.2) et que ce dernier n'est pas utilisé comme terrasse d'évacuation, les normes de base n'imposent aucune exigence en matière de stabilité au feu. En effet, celles-ci ne considèrent pas les balcons comme des éléments structurels (pour de plus amples informations concernant les éléments structurels et non structurels, on consultera le [Dossier du CSTC 2011/4.4](#)). Néanmoins, afin de préserver la sécurité des services de secours et des personnes à évacuer, il est parfois souhaitable que les balcons en encorbellement (en fonction de leur taille et de leur localisation dans le bâtiment) conservent leur stabilité au feu pendant une certaine période. Pour ce faire, on peut protéger l'armature au moyen d'un enrobage en matériau isolant incombustible ou intégrer des plaques résistant au feu dans la composition.

2 Traversées de parois

2.1 Conduites, câbles et conduits d'air

2.1.1 Réglementation

Les annexes 2, 3, 4 et 6 de l'AR 'Normes de base' stipulent que les traversées de conduites, de câbles, de conduits d'air et autres affaiblissements dans des éléments de construction résistant au feu (tels que les parois de séparation, les murs et les planchers) ne peuvent avoir d'influence négative sur la résistance au feu de ceux-ci. Autrement dit, lorsqu'une paroi doit être résistante au feu, cela vaut également pour ses traversées.

Les traversées doivent donc satisfaire à la fois aux exigences d'isolation thermique (I) et aux exigences d'étanchéité au feu (E). Seules les traversées simples de conduites (et donc pas de conduits d'air ou de fumée ou autres) d'un diamètre inférieur ou égal à 160 mm – sans isolation ou avec isolation incombustible (classe de réaction au feu minimale A2-s1, do) – ne sont soumises qu'au critère d'étanchéité au feu. L'annexe 7 de l'AR précité considère en effet que l'incidence de ces traversées sur l'isolation thermique est négligeable (voir à ce sujet la [NIT 254](#), à paraître).

L'obturation de la traversée doit satisfaire aux critères requis pendant un temps au moins équivalent à celui prescrit pour l'élément de construction traversé. Cependant, lorsque

l'élément de construction correspond à la paroi d'une gaine (trémie) contenant des conduites, la durée de résistance au feu requise pour la traversée de conduite correspond au moins à la moitié du temps prescrit pour la paroi de la gaine (avec un minimum de 30 minutes).

2.1.2 Mise en œuvre

La législation propose plusieurs solutions types au domaine d'application limité (voir annexe 7 de l'AR 'Normes de base') pour la mise en œuvre de traversées simples résistant au feu de conduites et de câbles (pas les conduits d'air et de fumée, etc.) dans des parois résistant au feu. Par ailleurs, on peut également utiliser des dispositifs résistant au feu spécifiques tels que des manchons, des coquilles isolantes et des coussins résistant au feu. Ces dispositifs doivent être testés selon les conditions de mise en œuvre dans lesquelles ils seront appliqués (diamètre et matériau des conduites, par exemple). Pour la réalisation de la traversée de conduits d'air, on peut utiliser soit un clapet résistant au feu portant un marquage CE, soit un conduit d'air résistant au feu. La figure 9 illustre un essai au feu réalisé sur une série de traversées de conduites.

Pour de plus amples informations à ce sujet, on consultera la [NIT 254](#) (à paraître).

2.2 Conduits de fumée

2.2.1 Réglementation

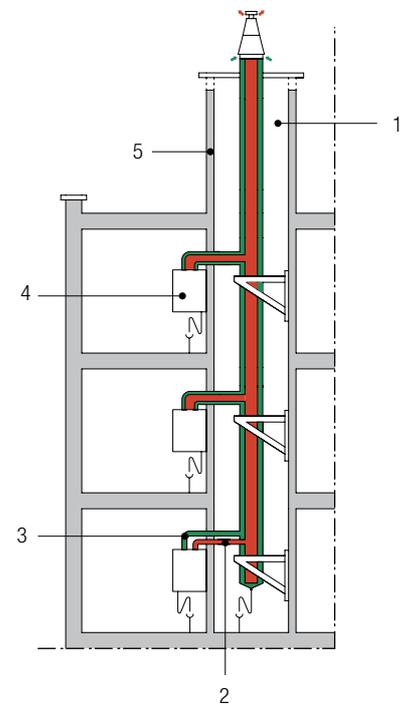
Comme mentionné précédemment, les traversées et autres affaiblissements d'éléments de construction résistant au feu (parois de séparation, murs, planchers, par exemple) ne peuvent avoir une influence négative sur la résistance au feu de l'ensemble du bâtiment. Il en va de même pour les conduits de fumée. Les prescriptions de l'annexe 7 de l'AR 'Normes de base' ne sont toutefois pas applicables aux traversées de conduits de fumée.

De nos jours, de plus en plus d'appartements sont équipés d'un système de chauffage raccordé à une chaudière à gaz individuelle à circuit étanche (voir figure 10). Les conduits d'évacuation de fumée et d'amenée d'air comburant de toutes les chaudières sont dès lors rassemblés dans une gaine technique commune (système collectif de type CLV (?)).



9 | Essai au feu sur une série de traversées de conduites.

La paroi résistante au feu de cette gaine est de ce fait traversée en divers endroits par



1. Gaine technique commune
2. Conduit d'évacuation de fumée
3. Conduit d'amenée d'air comburant
4. Chaudière à gaz à circuit de combustion étanche
5. Paroi résistante au feu de la gaine technique

10 | Traversée de la paroi résistante au feu d'une gaine technique commune par les raccordements entre les chaudières et les conduits d'évacuation de fumée et d'amenée d'air comburant.

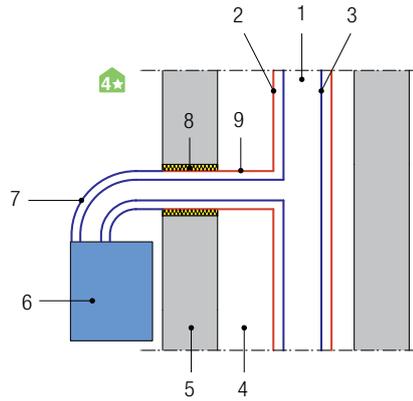
(?) 'Combinatie luchttoevoer verbrandingsgasafvoer' ou 'système combiné de conduit d'amenée d'air comburant et d'évacuation de fumée'. Ce système est parfois aussi appelé 3CE ou 'conduit collectif pour chaudières étanches'.



les raccords entre les chaudières et les conduits se trouvant dans la gaine. Ces traversées ne peuvent cependant pas affaiblir la résistance au feu de la paroi.

À défaut de normes d'essai spécifiques à cette application, le Conseil supérieur de la sécurité contre l'incendie et l'explosion a approuvé, en collaboration avec le CSTC et la commission de normalisation NBN E 166 'Cheminées', les règles de bonne pratique suivantes ⁽⁶⁾ :

- soit la mise en œuvre d'un dispositif d'obturation résistant au feu validé par un essai au droit de la traversée
- soit la mise en œuvre de la traversée conformément à une solution type dispensant de tout essai de contrôle. La solution type doit néanmoins répondre à une série de conditions permettant d'éviter la propagation de l'incendie d'un compartiment à l'autre (appartements, par exemple).



- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1. Conduit vertical concentrique de type CLV | 6. Générateur de chaleur |
| 2. Conduit extérieur | 7. Conduit de raccordement |
| 3. Conduit intérieur | 8. Resserrage à la laine de roche |
| 4. Gaine technique | 9. Conduit de liaison horizontal |
| 5. Paroi résistant au feu | |

11 | Solution type pour la traversée du conduit de raccordement d'un système CLV dans la paroi d'une gaine technique.

traversée du raccordement de la chaudière à un conduit vertical concentrique de type CLV, ainsi que tous les autres éléments soumis à des exigences dans le cadre de l'application de la solution type.

Il n'est pas nécessaire de placer des dispositifs résistants au feu au droit des traversées de conduits de raccordement si les conditions auxquelles la solution type doit répondre sont respectées. Ces conditions sont reprises dans le tableau B respectivement pour une durée de résistance au feu de E 30 (bâtiments bas et moyens) et de E 60 (bâtiments élevés); elles ont pour but d'empêcher la propagation de l'incendie entre deux compartiments via la gaine technique. Si les conditions permettant d'obtenir une durée de résistance au feu de E 60 sont remplies, on considère évidemment que les conditions permettant d'obtenir une durée de résistance au feu de E 30 sont également respectées.

2.2.2 Solution type

La solution type décrite ci-après, qui ne nécessite donc aucun dispositif résistant au feu spécifique, est applicable uniquement à la traversée d'éléments de construction

par des conduits de systèmes de chauffage central au gaz à circuit étanche de type C.

La figure 11 représente l'obturation de la

3 Parois de compartiments

3.1 Réglementation

L'AR 'Normes de base' fixe les exigences relatives à la résistance au feu des parois

B | Solutions types ne nécessitant pas de dispositif résistant au feu validé par un essai au droit de la traversée (NIT 254, à paraître).

Type de traversée	Exigence pour la traversée	
	E 30 ⁽¹⁾	E 60 ⁽²⁾
Conduit de liaison (partie du conduit de raccordement traversant la paroi résistant au feu)	<ul style="list-style-type: none"> • Matériau du conduit extérieur et des tés de piquage extérieurs : rigide et incombustible ⁽³⁾ • Deux conduits parallèles DN ≤ 80 mm espacés de minimum 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Matériau du conduit extérieur et des tés de piquage extérieurs : rigide, incombustible et température de fusion > 727 °C ⁽⁴⁾ • Deux conduits parallèles DN ≤ 80 mm espacés de minimum 40 mm ou un conduit concentrique avec conduit extérieur DN ≤ 125 mm
Espace entre un conduit horizontal de liaison et l'élément de construction (paroi) résistant au feu	Les conduits de liaison d'allure horizontale traversent entièrement l'épaisseur de la paroi résistant au feu. L'espace entre les conduits de liaison et la paroi résistant au feu est compris entre ± 10 et 25 mm et est resserré sur toute la profondeur de la paroi au moyen de laine de roche bien comprimée.	
Conduit vertical de fumée dans la gaine technique	Matériau du conduit extérieur et des tés de piquage extérieurs : rigide et incombustible.	Matériau du conduit extérieur et des tés de piquage extérieurs : rigide, incombustible et température de fusion > 727 °C.
Gaine technique d'un conduit de fumée	Uniquement destinée à cet usage et répondant aux prescriptions des articles 5.1.5.1 des annexes 2/1, 3/1 et 4/1 de l'AR 7-7-1994. La gaine technique doit être réservée aux conduits de fumée. Aucune autre conduite, ni câble électrique, ... n'est autorisé dans la gaine technique, sauf si une séparation EI 30 est prévue entre le conduit de fumée et le reste de la gaine ou si les parois de ce conduit sont résistantes au feu.	

⁽¹⁾ Par exemple, traversée d'une paroi de gaine d'un bâtiment bas ou moyen.

⁽²⁾ Par exemple, traversée d'une paroi de gaine d'un bâtiment élevé.

⁽³⁾ Par exemple, acier ou aluminium.

⁽⁴⁾ Par exemple, acier (l'aluminium, d'une température de fusion de 660 °C, n'est pas autorisé).

⁽⁶⁾ HR 1525 R3, approuvé lors de la réunion du Conseil supérieur du 18 septembre 2014.

C | Résistance au feu des parois de compartiments.

Niveau	Bâtiments bas		Bâtiments moyens	Bâtiments élevés	Bâtiments industriels	
	Un niveau	Plusieurs niveaux			Classe A	Classes B et C
Situé au-dessus du niveau d'évacuation E_i	El 30	El 60	El 60	El 120	El 60	El 120
Situé au niveau d'évacuation E_i ou en dessous de celui-ci	El 60		El 120	El 120	–	

qui forment la séparation entre deux compartiments. Le tableau C donne un aperçu de ces exigences. Afin de limiter le risque de propagation de l'incendie et de la fumée aux compartiments voisins, une exigence supplémentaire s'applique aux bâtiments industriels : la paroi de compartiment doit dépasser le niveau fini de la toiture de 1 m et le plan de la façade de 0,50 m (voir annexe 6 de l'AR). Les annexes 2, 3 et 4 de l'arrêté royal ne comportent en revanche pas d'exigences similaires. L'annexe 6 autorise, comme solution alternative, le placement, de part et d'autre de la paroi de compartiment, d'un élément étanche au feu (E) d'une largeur de 1 ou 2 m (en fonction de l'application, en façade ou en toiture), dont la durée de résistance au feu requise est égale à celle de la paroi de compartiment. Dans cette zone, les matériaux du complexe de toiture ou de mur – à l'exception de l'étanchéité de toiture – doivent présenter au moins la classe de réaction au feu A1 (9).

3.2 Solutions applicables aux bâtiments industriels

Étant donné que la toiture et la façade des bâtiments industriels sont inévitablement traversées par les parois de compartiments ou raccordées à celles-ci, on peut trouver à ces endroits d'importants détails constructifs, auxquels il convient d'accorder l'attention nécessaire tant lors de la conception que lors de l'exécution, afin de maintenir des performances thermiques acceptables. Le [Dossier du CSTC 2011/4.4](#) décrit les différentes méthodes possibles pour l'exécution des parois de compartiments.

En pratique, on utilise généralement des éléments préfabriqués en béton ou en béton cellulaire ou des panneaux sandwichs pour réaliser les parois de compartiments. Lorsque la partie courante de la toiture est traversée par une paroi en béton, un pont thermique se

forme évidemment à cet endroit. En d'autres termes, cette méthode donne naissance à un détail constructif qui, bien qu'il respecte la réglementation incendie, ne satisfait pas à la réglementation PEB. Afin de garantir également la conformité à la réglementation PEB, on peut choisir d'isoler la partie de la paroi qui dépasse de la toiture, de façon à ce que le chemin de moindre résistance thermique soit supérieur ou égal à 1 m. L'étanchéité du relevé de toiture doit, quant à elle, satisfaire à l'exigence $B_{ROOF}-t1$.

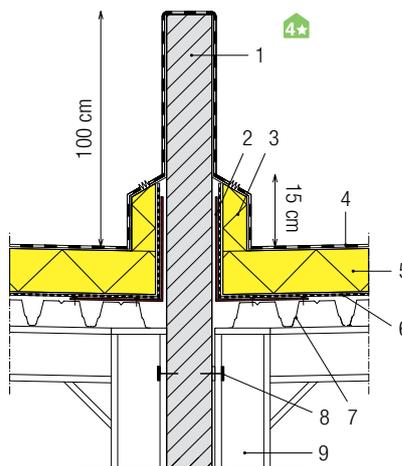
Les figures 12A et 12B fournissent une représentation schématique de deux solutions de principe pour la réalisation d'une paroi de

compartiment qui dépasse la toiture et qui répond à la fois à la réglementation incendie et à la réglementation PEB.

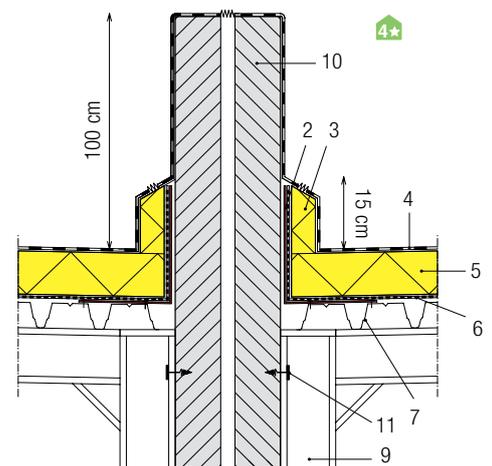
Enfin, nous insistons sur le fait que la stabilité au vent, dans des conditions normales (en dehors de tout incendie), des éléments de la paroi dépassant du toit doit également être prise en considération. Lorsque cela s'avère nécessaire, des profilés intermédiaires doivent être mis en œuvre, afin de garantir la bonne fixation du dernier panneau. Dans ce contexte, il convient de respecter à la lettre les instructions des fabricants des panneaux (béton cellulaire, béton, panneau sandwich, etc.).

*S. Eeckhout, ing., division Avis techniques, et
Y. Martin, ir., division Enveloppe du bâtiment et menuiserie, CSTC*

A. SIMPLE PAROI DE COMPARTIMENT AVEC UNE ISOLATION RÉPONDANT À L'EXIGENCE $\psi_e \leq 0 \text{ W/mK}$



B. DOUBLE PAROI DE COMPARTIMENT



- | | | |
|--|--|--|
| 1. Simple paroi de compartiment en béton | 5. Isolation thermique de la toiture plate | 9. Structure portante |
| 2. Relevé métallique | 6. Pare-vapeur | 10. Double paroi de compartiment en béton cellulaire |
| 3. Isolation thermique du relevé | 7. Tôles d'acier profilées | 11. Fixations de la paroi de compartiment |
| 4. Étanchéité de toiture | 8. Ancrages fusibles | |

12 | Solutions de principe pour la réalisation d'une paroi de compartiment qui dépasse la toiture et qui répond à la fois à la réglementation incendie et à la réglementation PEB.

(9) La prochaine adaptation des normes de base devrait imposer une classe de réaction au feu minimale A2-s1, do.



Bien souvent, les détails constructifs concentrent les difficultés et constituent des zones susceptibles d'influencer les coûts d'une construction ou d'une rénovation. Paramètres très importants pour la rentabilité des entreprises, ces coûts doivent également rester supportables pour les ménages et les pouvoirs publics.

Aspect économique des ponts thermiques

De manière générale, la complexité des détails, et par conséquent leur coût de réalisation, croît proportionnellement aux exigences imposées. Il importe donc de rester raisonnable et de trouver un équilibre en ce qui concerne les performances souhaitées, sous peine d'alourdir exagérément les frais de construction. De nombreuses considérations peuvent entrer en ligne de compte : mise en conformité avec la réglementation PEB, changement d'affectation, modifications éventuelles de l'environnement pouvant, par exemple, augmenter le niveau de bruit extérieur, ... Il appartient donc au donneur d'ordre de décider des performances à appliquer au détail, tout en veillant à respecter les prescriptions réglementées qui dépendent très souvent de la fonction du bâtiment (isolation thermique, sécurité incendie, accessibilité, ...).

1 Introduction

L'isolation thermique des détails constructifs lors de travaux de rénovation constitue un cas particulier intéressant, dans la mesure où elle ne fait pas l'objet d'imposition et que la rentabilité économique de l'investissement peut être évaluée. Toutefois, il convient d'étudier cette dernière en considérant le bâtiment dans son ensemble, et ce compte tenu du niveau d'ambition que l'on se fixe (rénovation passive, par exemple) et des risques induits par l'absence de traitement de certains détails (développement de moisissures, par exemple).

La rentabilité économique dépend généralement de l'investissement nécessaire à la réalisation des travaux et du retour financier calculé sur la base de la consommation énergétique. La coordination des travaux peut également exercer une influence sur leur coût. Dans le cadre d'une rénovation, il est judicieux d'étudier le projet dans son intégralité – et même si les travaux sont réalisés en plusieurs étapes – et d'envisager, si possible, le traitement de certains raccords

durant la phase la plus favorable financièrement.

La suite de cet article abordera, à titre d'exemple, le cas concret de l'isolation des façades et du traitement de leurs raccords avec le plancher du rez-de-chaussée. La rentabilité du traitement de ce détail a été étudiée en considérant une habitation 4 façades caractérisée par une surface de maçonnerie de 300 m² et une longueur de pied de façade de 40 m (figure 1). Une approche globale prenant en compte le bâtiment complet ainsi que ses équipements techniques fera l'objet d'une publication ultérieure.

2 Rentabilité des investissements

La rentabilité des investissements est calculée en considérant les paramètres figurant dans l'encadré ci-dessous.

Il est évident que, si le coût de l'énergie continue à diminuer au cours des prochaines années, le taux de rentabilité sera revu à la baisse; inversement, une augmentation du

coût de l'énergie rendrait les travaux plus rentables.

Les charges d'intérêts et les éventuelles primes octroyées n'ont pas été considérées pour la valorisation des travaux de rénovation.

Le taux d'actualisation, qui tient compte de la valeur temporelle de l'argent (un euro aujourd'hui ne vaudra pas un euro demain), s'élève à 3 %. Ce taux moyen communément utilisé est susceptible d'évoluer en fonction de la conjoncture.

Le suivi de la rentabilité des investissements



1 | La rentabilité du traitement du détail a été étudiée pour une habitation 4 façades caractérisée par une surface de maçonnerie de 300 m² et une longueur de pied de façade de 40 m.

Paramètres de calcul

- Prix du combustible : 0,083 €/kWh, ce qui correspond à 0,88 € par litre de mazout
- Evolution du coût de l'énergie : 3 %
- Taux d'actualisation : 3 %
- Période d'analyse considérée : 30 ans
- Taux de TVA : 6 %

Remarque : compte tenu de la variabilité de ces données et de leur influence sur les résultats, il peut être intéressant d'effectuer les simulations selon plusieurs scénarios.



2 | Réalisation du soubassement.



3 | Exécution du pied de façade.



nécessaires au traitement des ponts thermiques a été réalisé au moyen de trois indicateurs ⁽¹⁾ :

- **le délai de récupération (ou pay-back period, PBP)**. Il s'agit du délai, exprimé en années, nécessaire pour récupérer le montant de l'investissement initial. Les gains réalisés après la période de récupération ne sont plus pris en compte
- **la valeur actuelle nette (VAN)** des investissements permet de comparer le montant de l'investissement à la somme des économies d'énergie générées et actualisées :
 - VAN > 0 : le projet rapporte plus qu'il a coûté
 - VAN = 0 : le projet rapporte autant qu'il a coûté
 - VAN < 0 : d'un point de vue strictement économique, l'investissement coûtera plus cher qu'il ne rapportera, compte tenu des hypothèses de calcul

- **le taux de rentabilité interne (TRI)**. Il s'agit du rendement annuel généré par le projet, en fonction du taux d'actualisation choisi. Généralement, un projet d'investissement ne sera retenu que si son TRI prévisible est suffisamment supérieur au taux bancaire.

3 Méthode de calcul pour valoriser le traitement des ponts thermiques

L'outil de calcul C PRO[®], téléchargeable sur le site www.cstc.be, permet d'estimer le montant des travaux nécessaires au traitement du détail. Toutefois, une multitude de paramètres peuvent avoir un impact sur la valorisation des ponts thermiques : salaires horaires, normes de temps prévues, choix et coûts des matériaux, coûts indirects, accès au chantier, quantités à mettre en œuvre, ...

Afin de valider les montants calculés, nous les avons comparés aux prix pratiqués par plusieurs entreprises.

Les travaux suivants ont été valorisés :

- phase 1 : postisolation de la façade par insufflation du mur creux (laine minérale de 5 cm d'épaisseur). Le prix estimé pour ces travaux est de 7.000 € (TVAc)
- phase 2 : isolation de la façade par application d'un système d'enduit sur isolation de 10 cm d'épaisseur et pose d'une pierre de soubassement (figure 2). Le prix de ces travaux est estimé à 46.000 € (TVAc)
- phase 3 : terrassement, fourniture et placement de l'isolant au pied de la façade (panneaux de 10 cm de polystyrène extrudé) (figure 3), fourniture et placement d'une membrane gaufrée en polyéthylène et remblai. Le prix estimé pour ces travaux est de 2.500 € (TVAc).

⁽¹⁾ Nos simulations ne prennent pas en compte les frais d'entretien.



Les montants précités sont des estimations moyennes en raison des fluctuations, parfois importantes, des coûts des travaux. Ces variations peuvent par exemple être induites par l'accessibilité du chantier.

4 Méthode de calcul de la consommation énergétique et des gains sur facture

Les calculs sont réalisés en tenant compte de la situation avant et après les différentes phases de travaux. Nous avons déterminé, pour chacune d'entre elles, les valeurs ψ_e et le facteur de température permettant respectivement d'identifier les pertes énergétiques liées au pont thermique au bas de la façade (et donc d'établir une consommation de combustible) et d'estimer le risque de condensation superficielle. Celui-ci est avéré lorsque le facteur de température est inférieur à 0,7.

Le tableau à la page suivante résume les différents paramètres liés aux phases de travaux étudiées. Les consommations et les coûts mentionnés ne concernent que les pertes énergétiques des façades (surface de 300 m²) et du raccord plancher/façade (longueur de 40 m). Le rendement de l'installation de chauffage est de 89 %.

Il ressort du tableau que les principaux gains sont consécutifs à la postisolation du mur creux ainsi qu'à la mise en œuvre du système d'enduit sur isolation. Toutefois, nous nous limiterons à étudier la valorisation de l'économie engendrée par l'isolation du pied de façade. L'économie annuelle de combustible réalisée grâce à l'isolation de ce raccord est estimée à 106 litres. Sur la base d'un prix du mazout à 0,88 €/l, elle se chiffre à 90 € par an.

5 Résultats de calcul

Sur la base du coût de l'intervention (2.500 €) et des gains énergétiques engendrés par les travaux (économie sur facture de 90 €), les indicateurs économiques retenus s'élevèrent à :

- **délai de récupération** : 20 ans
- **valeur actuelle nette** : 190 €
- **taux de rentabilité interne** : 3,50 %.

Sur la base des paramètres de l'étude, on peut considérer que le traitement du pied de mur est économiquement rentable, étant



- 4 | Pour chacune des phases de travaux nous avons déterminé les valeurs ψ_e et le facteur de température permettant respectivement d'identifier les pertes énergétiques liées au pont thermique au bas de la façade et d'estimer le risque de condensation superficielle.

donné que :

- le délai de récupération est inférieur à la durée de vie théorique de l'ouvrage. En effet, la somme des gains sur facture a dépassé le montant des travaux après 20 ans
- la valeur actuelle nette est positive
- le taux de rentabilité interne est supérieur aux taux bancaires pratiqués.

Sur la période étudiée, le traitement du détail rapporte donc plus qu'il a coûté. Il permet en outre de réduire drastiquement le risque de développement de moisissures dans cette zone (facteur de température de 0,80), ce qui influence également les coûts d'utilisation du bâtiment, puisque des dégâts occasionneraient inévitablement des frais de réparation. Cet aspect n'a toutefois pas été quantifié dans l'étude présentée ici.

6 Conclusions générales

L'aspect économique des détails constructifs doit toujours être étudié à la lumière du niveau d'ambition que l'on se fixe, mais également du risque de dégradation que représenterait l'absence de traitement du détail. En effet, s'il n'est pas toujours économiquement rentable de prendre des dispositions pour tous les détails, le non-traitement de certains d'entre eux peut avoir des conséquences importantes sur le confort des occupants, les frais d'entretien et la prévention des désordres. Il faut donc analyser les risques et l'efficacité des solutions proposées.

Les résultats d'une telle valorisation dépendent non seulement de la géométrie du détail, mais aussi des paramètres considérés. Par exemple, un changement du coût du combustible peut influencer à la hausse ou à la baisse la rentabilité des travaux. Celle-ci dépend également du taux de TVA applicable, des charges d'intérêts, des frais d'entretien et des primes octroyées par les pouvoirs publics.

Il ne faut cependant pas s'arrêter au seul critère du délai de récupération. Il convient en effet d'avoir une vision à long terme et de ne pas négliger non plus les éventuelles plus-values financières du bien immobilier.

A l'heure où les taux bancaires sont peu élevés, l'indicateur relatif au taux de rentabilité interne permet d'identifier si le rendement des travaux envisagés est supérieur au rendement financier.

Enfin, il convient également de garder à l'esprit que le traitement des ponts thermiques permet de contribuer aux objectifs collectifs d'économie d'énergie fossile et de réduction des émissions de CO₂.

D. Pirlot, m.s.c.f., et T. Vissers, ing., division Gestion, qualité et techniques de l'information, A. Tilmans, ir., laboratoire Caractéristiques énergétiques, et J. Vrijders, ir., laboratoire Développement durable, CSTC



Pertes énergétiques des façades et du raccord plancher-façade.

Phase de travaux	Phase 0 : situation initiale	Phase 1 : isolation du mur creux
Perte d'énergie ψ_e (W/mK)	-	✗ 0,1
Facteur de température (-)	✗ 0,5	✗ 0,6
Classification du détail	0*	0*
Valeur $U_{\text{façade}}$ (W/m ² K)	2,14	0,57
Coût des travaux (€)	-	7.000 (par rapport à la phase 0)
Consommation (MJ/an)	127.000	35.600
Coût énergétique annuel (€/an)	3.080	860
Phase de travaux	Phase 2 : pose d'un enduit sur isolant	Phase 3 : isolation du pied de façade
Perte d'énergie ψ_e (W/mK)	✗ 0,09	✓ -0,39
Facteur de température (-)	✓ 0,7	✓ 0,8
Classification du détail	2*/1*	3*
Valeur $U_{\text{façade}}$ (W/m ² K)	0,21	0,21
Coût des travaux (€)	46.000 (par rapport à la phase 1)	2.500 (par rapport à la phase 2)
Consommation (MJ/an)	13.750	9.900
Coût énergétique annuel (€/an)	330	240

Projets du CSTC

En vue de répondre aux demandes du secteur de la construction, le CSTC mène actuellement plusieurs recherches ou actions de sensibilisation incluant la problématique des détails constructifs. Citons notamment les projets suivants :



Wallonie



NBN



- CIMEDE – Construction industrielle de maisons évolutives, durables et économiques
- OPTIDUBO – Développement et optimisation de toitures et parois à base de bois innovantes et durables dans le temps
- GT COM-MAT – Matériaux et techniques de construction durables
- Construire adaptable
- GT Eco-construction et développement durable
- Innov-ETICS – Systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur : investigations techniques de solutions émergentes innovantes à hautes performances pour la rénovation du logement
- DO-IT Houtbouw – Duurzame innovatie op het vlak van technologie- en leefcomfort voor houttoepassingen in de bouw
- RENOFASE – Stappenplan voor een kwaliteitsvolle energetische renovatie : gestroomlijnd en prestatiegericht werken
- Geïsoleerde binnenvloeren – Hedendaagse praktijk en toekomstige innovatieve trends
- METSELWERK IV – Innovaties in de metselwerksector : implementering door innovatievolgers
- Nieuw Industrieel Beleid – Luchtdicht bouwen van A tot Z
- Nieuw Industrieel Beleid – Buitengevelisolatie met ETICS
- Evaluation des performances et de la durabilité des fenêtres à hautes performances et de leur jonction au gros œuvre
- RaDS II – Robust Acoustic Details Standard II
- Structures étanches : vers une classification performantielle (WASH – Watertight structures)
- Antennes Normes Acoustique, Prévention au feu, Energie et climat intérieur, Eurocodes, Parachèvement et Eléments de façades, *Smart Connect*
- Fire safe use of bio-based building products (COST)
- STAR – Sustainable Thermal Acoustic Retrofit (ERACOBUILD)
- EMERISDA – Effectiveness of methods against rising damp in buildings : European practice and perspective
- LEEMA – Low Embodied Energy Advanced (Novel) Insulation Materials and Insulating Masonry Components for Energy Efficient Buildings

Publications

Les publications du CSTC sont disponibles :

- sur notre site Internet :
 - gratuitement pour les entrepreneurs ressortissants
 - par souscription pour les autres professionnels (enregistrement sur www.cstc.be)
- sous forme imprimée et sur clé USB.

Pour tout renseignement, appelez le 02/529.81.00 (de 8h30 à 12h00) ou contactez-nous par fax (02/529.81.10) ou par e-mail (publ@bbri.be).

Formations

- Pour plus d'informations au sujet des formations, contactez J.-P. Ginsberg par téléphone (02/625.77.11), par fax (02/655.79.74) ou par e-mail (info@bbri.be).
- Lien utile : www.cstc.be (rubrique 'Agenda').

Une édition du Centre scientifique et technique de la construction, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Editeur responsable : Jan Venstermans, CSTC, rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles

Revue d'information générale visant à faire connaître les résultats des études et recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.

La reproduction ou la traduction, même partielles, des textes et des illustrations de la présente revue n'est autorisée qu'avec le consentement écrit de l'éditeur responsable.

www.cstc.be

Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 85.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 50 ans *le* centre de référence en matière scientifique et technique, contribuant directement à l'amélioration de la qualité et de la productivité.

Recherche et innovation

L'introduction de techniques innovantes est vitale pour la survie d'une industrie. Orientées par les professionnels de la construction, entrepreneurs ou experts siégeant au sein des Comités techniques, les activités de recherche sont menées en parfaite symbiose avec les besoins quotidiens du secteur.

Avec l'aide de diverses instances officielles, le CSTC soutient l'innovation au sein des entreprises, en les conseillant dans des domaines en adéquation avec les enjeux actuels.

Développement, normalisation, certification et agréation

A la demande des acteurs publics ou privés, le CSTC réalise divers développements sous contrat. Collaborant activement aux travaux des instituts de normalisation, tant sur le plan national (NBN) qu'europpéen (CEN) ou international (ISO), ainsi qu'à ceux d'instances telles que l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBATc), le Centre est idéalement placé pour identifier les besoins futurs des divers corps de métier et les y préparer au mieux.

Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

Pour mettre le fruit de ses travaux au service de toutes les entreprises du secteur, le CSTC utilise largement l'outil électronique. Son site Internet adapté à la diversité des besoins des professionnels contient les ouvrages publiés par le Centre ainsi que plus de 1.000 normes relatives au secteur.

La formation et l'assistance technique personnalisée contribuent au devoir d'information. Aux côtés de quelque 650 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 26.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

SIÈGE SOCIAL

Rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles
tél. 02/502 66 90
fax 02/502 81 80
e-mail : info@bbri.be
site Internet : www.cstc.be

BUREAUX

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
tél. 02/716 42 11
fax 02/725 32 12

- avis techniques – publications
- gestion – qualité – techniques de l'information
- développement – valorisation
- agréments techniques – normalisation

STATION EXPÉRIMENTALE

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette
tél. 02/655 77 11
fax 02/653 07 29

- recherche et innovation
- formation
- bibliothèque

CENTRE DE DÉMONSTRATION ET D'INFORMATION

Marktplein 7 bus 1, B-3550 Heusden-Zolder
tél. 011/22 50 65
fax 02/725 32 12

- centre de compétence TIC pour les professionnels de la construction (ViBo)
- centre d'information et de documentation numérique pour le secteur de la construction et du béton (Betonica)

BRUSSELS MEETING CENTRE

Boulevard Poincaré 79, B-1060 Bruxelles
tél. 02/529 81 29