



Buildwise

Magazine

Édition
Enveloppe



Shutterstock

sept-oct
2023

P14. Impact environnemental des toitures à versants

P22. Vitrage isolant sous vide

P26. Jumeau numérique d'un bâtiment

Sommaire

Buildwise Magazine sept-oct 2023



04

Prévenir la fissuration des murs de cave en béton par une exécution appropriée



06

Nouveau label CO₂ pour des bétons plus durables à plus faible empreinte carbone



08

Rénovation énergétique des bâtiments patrimoniaux



10

Monitoring en temps réel : une avancée majeure dans l'amélioration des structures



12

Plomb en toiture : des alternatives sûres et durables pour la réalisation des solins



14

Rénovation des toitures à versants : quel impact sur l'environnement ?



16

Isolation d'une toiture verte : quelles sont les conditions à remplir ?



18

Choisir les colles à bois en fonction de l'application visée



20

Calcul de l'épaisseur du verre feuilleté



22

Rénovations et vitrage isolant sous vide



24

Mesures sur site des performances thermiques réelles d'éléments de construction



26

Un jumeau numérique du bâtiment : source d'opportunités ou pur gadget ?



28

Outils 3D innovants pour mieux comprendre les détails constructifs



30

Réaction au feu des isolants des murs creux des bâtiments bas



32

FAQ



33

Nouvelles de nos partenaires



34

Focus

Au plus proche des besoins des couvreurs

Le métier de couvreur, tout comme d'autres professions de la construction, est confronté à des **défis de plus en plus complexes**. Ces défis se posent dans un contexte général marqué par la pénurie de main-d'œuvre, le manque d'attrait pour le secteur chez les jeunes et les difficultés d'approvisionnement en matériaux. De plus, cette réalité doit être gérée en parallèle avec la crise énergétique et les enjeux climatiques mondiaux que nous connaissons tous.

La pression sur l'environnement et les ressources nous pousse à **explorer des matériaux plus respectueux de l'environnement**. Vous trouverez notamment dans ce magazine un article (voir pages 14 et 15) présentant les résultats d'une étude sur l'impact environnemental de différentes solutions de rénovation de toitures à versants.

Malgré l'apparition de nouveaux matériaux, le savoir-faire des artisans demeure essentiel.

En outre, le manque de main-d'œuvre nous oblige à **revoir nos méthodes et à envisager de nouvelles approches**. L'article des pages 12 et 13 évoque, par exemple, l'utilisation de substituts au plomb. Il montre que malgré l'apparition de nouveaux matériaux qui peuvent sembler plus simples à appliquer, le savoir-faire des artisans demeure essentiel. De **nouvelles pratiques** peuvent également vous faire gagner du temps et réduire les risques liés au travail en hauteur. Ainsi, il est désormais possible de créer en quelques minutes un modèle de toiture à l'aide d'un drone (voir l'article [Buildwise 2021/01.10](#)). Cela évite de devoir retourner sur le chantier en cas d'oubli de mesures et accélère l'établissement des devis.

Buildwise s'engage à accompagner les couvreurs et d'autres professionnels du secteur de la construction dans ce contexte exigeant. Pour atteindre cet objectif, nous mettons



Damien De Bock,
conseiller du Comité
technique 'Couvertures'

en place divers moyens. Nous proposons notamment :

- **une assistance technique personnalisée** : nous sommes là pour vous épauler personnellement lorsque vous rencontrez des problèmes sur chantier
- **des publications** : vous trouverez sur notre site Internet buildwise.be des articles qui abordent les problèmes les plus couramment rencontrés
- **des formations pratiques** : cet hiver, nous organiserons près de chez vous des formations portant principalement sur les détails des toitures inclinées.

L'assistance technique revêt une double importance. D'une part, elle **vous soutient directement sur le terrain** lorsque vous êtes confrontés à un problème. D'autre part, elle nous permet de **recueillir des informations sur les difficultés rencontrées** que nous remontons jusqu'aux Comités techniques.

Cette approche a révélé que près de la moitié des problèmes observés dans les toitures étaient liés à l'humidité et à des raccords inadéquats. C'est pourquoi Buildwise oriente sa prochaine campagne de communication sur ces questions cruciales (voir page 35). Une NIT sur la rénovation des toitures à versants par le procédé 'sarking' sera également mise en ligne en 2024.

Buildwise souhaite être votre partenaire, profitez-en ! 



Prévenir la fissuration des murs de cave en béton par une exécution appropriée

L'armature des ouvrages en béton est indispensable pour limiter la fissuration au jeune âge du béton soumis au retrait ou à des variations de température. Ceci est d'autant plus essentiel pour les murs de cave, lesquels doivent respecter des exigences d'étanchéité strictes pour ne compromettre ni l'utilisation du bâtiment ni sa durabilité (voir l'article [Buildwise 2023/02.02](#)).

J.-F. Rondeaux, dr. ir.-arch., chef de projet, laboratoire 'Structures et systèmes de construction', Buildwise
P. Van Itterbeeck, dr. ir.-arch., cheffe de projet principale, laboratoire 'Structures et systèmes de construction', Buildwise

Le bureau d'études en stabilité détermine l'armature des ouvrages en béton sur la base de l'Eurocode 2 (NBN EN 1992-1-1 et NBN EN 1993-1) et en tenant compte de facteurs liés non seulement à la **composition du béton livré**, mais aussi aux **conditions atmosphériques** et aux **spécificités d'exécution** lors de sa mise en œuvre.

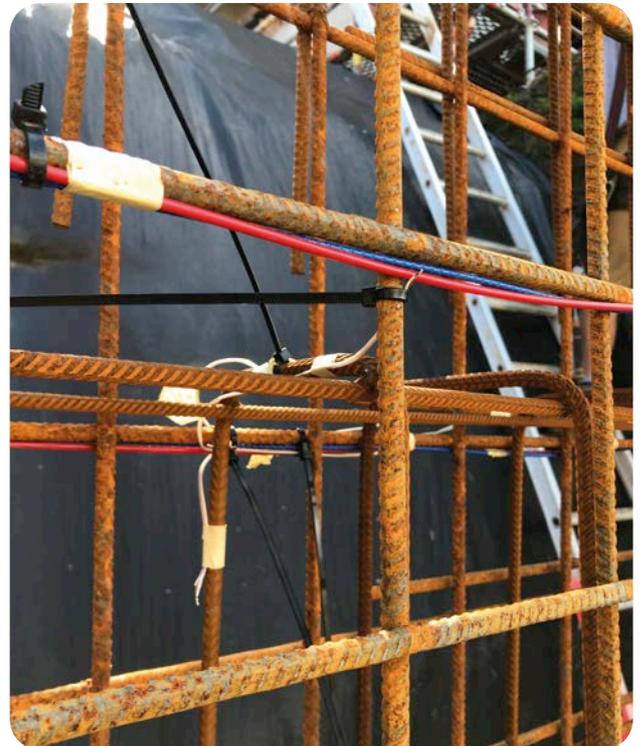
En cours de chantier, il est nécessaire que l'entrepreneur collabore avec le bureau d'études et le fournisseur de béton et qu'il respecte les tolérances d'exécution du ferrailage ainsi que les recommandations relatives au choix du coffrage et aux délais de décoffrage.

En effet, nos observations sur différents chantiers nous ont permis d'identifier que, dans certains cas, une fissuration trop importante pouvait s'expliquer par l'**inadéquation entre le ferrailage prévu par le bureau d'études (sur la base des informations à sa disposition) et les conditions de mise en œuvre réelles sur chantier**. On peut notamment citer :

- un béton très chargé en ciment
- des murs plus épais que prévu
- un enrobage excessif des armatures dû à des tolérances d'exécution difficiles à respecter
- un coffrage isolant
- un décoffrage précoce en plein été et par temps venteux.

Dans le cadre de l'étude prénormative REINFORCE, Buildwise et les universités de Leuven (campus De Nayer) et d'Hasselt ont monitoré la construction de murs de cave sur différents chantiers. L'**évolution des déformations et des températures** au sein de ces murs a ainsi été mesurée à l'aide de thermocouples et de fibres optiques fixés aux armatures (voir figure 1). Cette technique fournit en continu des mesures précises tout au long de la mise en œuvre du béton, décoffrage compris, et ce sans affecter l'apparence du mur. En outre, des échantillons de béton prélevés sur ces chantiers ont contribué à étoffer une

base de données développée en collaboration avec les fournisseurs de béton.



1 Monitoring de murs de cave en béton à l'aide de thermocouples et de fibres optiques fixés aux armatures.



- 2 Fissuration type observable en surface d'un mur de cave en béton.

Propriétés du béton

Les essais sur les échantillons de béton ont révélé que :

- la **résistance en compression** du béton livré excède parfois de plus de 20 % la résistance correspondant à la classe prévue par le bureau d'études. Cette résistance plus élevée s'accompagne souvent d'un retrait plus conséquent qui nécessiterait théoriquement une armature plus importante pour contenir la fissuration
- lors du décoffrage, en particulier si celui-ci est précoce (moins de trois jours après la mise en œuvre du béton), la **résistance en traction** du béton, qui caractérise sa capacité à ne pas se fissurer sous l'action de déformations empêchées, s'avère généralement plus faible que celle prévue par l'Eurocode 2.

Bien que ces propriétés influencent fortement la fissuration du béton, il est difficile pour le bureau d'études de les anticiper lors de la conception et pour l'entrepreneur de les contrôler lors de la mise en œuvre. Une **collaboration étroite et permanente** entre ces intervenants et une attention particulière aux opérations de ferrailage, de coffrage et de décoffrage devraient toutefois permettre de réduire le risque de fissuration.

Les aspects dont la maîtrise est essentielle sont explicités ci-après.

Tolérance d'exécution du ferrailage

L'épaisseur d'enrobage de béton est déterminée par le bureau d'études. Pour ce faire, celui-ci se base sur l'épaisseur minimale de protection de l'armature nécessaire pour assurer la durabilité de l'ouvrage. Cette épaisseur prend en compte une tolérance d'exécution de base de 10 mm.

Concernant les barres d'armatures, il faut veiller :

- d'une part, à ce qu'elles ne soient pas trop proches de la surface du béton, pour éviter leur corrosion et assurer leur protection au feu
- d'autre part, à ce qu'elles ne soient pas trop éloignées de la surface du béton, car c'est là qu'elles s'avèrent les plus efficaces pour reprendre les tensions.

Il convient donc d'appliquer strictement les tolérances d'exécution prévues pour le ferrailage (voir la [NIT 260](#) dédiée au ferrailage du béton).

Longueur de bétonnage

Plus la longueur de bétonnage est grande, plus les tensions au sein des murs en béton se développent. Il est dès lors conseillé de respecter la **longueur maximale de 15 m par phase de bétonnage** proposée dans la [NIT 247](#), afin de réduire le risque de fissuration du béton.

Conditions de coffrage

Le type de coffrage influence considérablement le risque de fissuration des murs. Par exemple, en raison de sa nature, une paroi *soil mix* peut induire plus de retrait de dessiccation et générer davantage les mouvements du béton qu'un coffrage classique. L'usage de coffrages isolants permet de limiter les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur des murs épais et d'éviter de générer des tensions excessives. Cependant, ce type de coffrage engendre une élévation de température plus importante au sein du béton, qui peut entraîner un choc thermique lors du décoffrage. L'annexe nationale de la norme NBN EN 13670 impose que **la température du béton ne dépasse pas 65 °C durant son durcissement**. La [NIT 285](#), relative à l'exécution des structures en béton, recommande également de limiter la différence de température entre le cœur et la face extérieure du béton à 20 °C. Ces températures peuvent être facilement monitorées à l'aide de capteurs. Il est donc crucial d'informer le bureau d'études des conditions de coffrage spécifiques.

Délai de décoffrage

Le coffrage fait souvent, à lui seul, office de dispositif de cure pour les murs en béton. Par conséquent, il faudra le **maintenir suffisamment longtemps**, afin de ne pas soumettre le béton à un retrait de dessiccation précoce alors qu'il n'est pas encore assez résistant. Le décoffrage des murs épais ou lors de conditions estivales nécessite une attention toute particulière afin de limiter les chocs thermiques (voir ci-dessus).

La [NIT 285](#) précise les délais de décoffrage et les autres recommandations à respecter pour prévenir l'apparition de fissures. 

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'étude REINFORCE subsidiée par le Bureau de normalisation et le SPF Économie.



Nouveau label CO₂ pour des bétons plus durables à plus faible empreinte carbone

De nombreuses initiatives existent déjà afin d'obtenir des bétons respectueux de l'environnement. La Belgique produit des bétons prêts à l'emploi à plus faible émission de CO₂ depuis de nombreuses années. Pour ce faire, elle utilise surtout le CEM III/A, ciment dont une partie du clinker est remplacée par du laitier de haut-fourneau. Récemment, le Conseil pour la durabilité du béton (officiellement *Concrete Sustainability Council* ou CSC) a créé un label CO₂ pour identifier et classer les bétons à faible empreinte carbone.

V. Dieryck, ir., cheffe de projet senior, division 'Géotechnique, structures et béton', Buildwise
B. De Schrijver, Technical Advisor, FEDBETON



Certificat CSC

Depuis 2019, les centrales à béton et les usines de préfabrication d'éléments en béton peuvent être certifiées par le CSC, une organisation mondiale qui s'engage à rendre le béton plus durable. Le certificat CSC garantit la **production durable du béton et de ses principales matières premières**. Actuellement, la certification CSC n'est pas réalisée sous accréditation en Belgique.

La certification CSC repose sur la **gestion durable de l'entreprise** et l'approvisionnement responsable en matières premières. Elle comprend quatre catégories :

- aspects environnementaux
- aspects sociaux
- aspects économiques
- aspects liés à la gestion.

La certification couvre toute la chaîne d'approvisionnement, y compris les producteurs de ciment et de granulats.

Les producteurs déclarent dans quelle mesure leur entreprise est gérée de façon durable et justifient leur déclaration avec des preuves. Un organisme de certification indépendant contrôle le titulaire du label et lui délivre une certification CSC s'il répond aux critères requis. L'évaluation porte sur pas moins de 112 éléments, pour lesquels des points sont attribués. La somme du nombre de points obtenus détermine le niveau de certification atteint (bronze, argent, or ou platine).

A Émissions maximales de gaz à effet de serre par niveau de réduction [net kg CO₂-eq./m³].

Niveau de réduction	Classe CO ₂						
	C12/15 E0	C16/20 E1	C20/25 E1	C25/30 EE2	C30/37 EE3	C35/45 EE4	C40/50 EE4
Valeurs de référence	228	244	269	294	319	344	361
Niveau 1 (↓ ≥ 30 %) (*)	160	171	188	206	226	241	253
Niveau 2 (↓ ≥ 40 %)	137	146	161	176	194	206	217
Niveau 3 (↓ ≥ 50 %)	114	122	135	147	162	172	181
Niveau 4 (↓ ≥ 60 %)	91	98	108	118	129	138	144

(*) Le niveau 1 n'est pas d'application en Belgique.

La certification CSC est reconnue comme **un système de certification pour l'approvisionnement responsable**. Ce système s'applique, entre autres, dans le contexte de la certification *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM). BREEAM est la méthode la plus ancienne et la plus utilisée pour évaluer et certifier la durabilité des bâtiments et des infrastructures.

On comptait en Belgique 57 certificats CSC en août 2023. La liste des détenteurs est disponible sur www.csc-be.be/fr/.

Label CO₂ d'un béton

Le label CO₂ est un module volontaire qui complète la certification CSC. Son objectif est de **créer une transparence concernant les émissions de gaz à effet de serre** liées à la production de bétons et d'établir un classement des niveaux de réduction de CO₂ des bétons.

Il existe plusieurs niveaux de réduction des émissions de CO₂ (voir tableau ci-dessus). Ils sont définis par rapport à des valeurs de référence. **Les bétons à faible empreinte carbone émettent environ 30 à 60 % de CO₂ en moins que le béton** composé de ciment Portland CEM I. Une composition de béton de référence a été déterminée pour chaque classe de résistance. Cette opération tient compte des compositions moyennes de béton relevées par l'inspection externe dans le cadre de la certification BENOR en 2020. Le calcul de l'impact de l'équivalent CO₂ se base sur les déclarations environnementales de produit (en anglais *Environmental Product Declaration* ou EPD). Ces déclarations sont vérifiées par une tierce partie ou sur la base d'une analyse du cycle de vie en utilisant des outils de calcul acceptés par le CSC.

Le niveau 1 n'est pas d'application en Belgique, car ce critère n'est pas assez strict. Le secteur du béton prêt à l'emploi belge produit des bétons **d'un niveau supérieur** depuis plusieurs années. Pour ce faire, il utilise majoritairement le CEM III/A, ciment dont une partie du clinker est remplacée par du laitier de haut-fourneau. À titre d'exemple, l'EPD du secteur, c'est-à-dire d'un béton prêt à l'emploi belge (C30/37 EE2 S4 CEM III/A 42,5), montre un impact CO₂-eq. de 170 kg/m³ (ce qui correspond au niveau 2).

En août 2023, 26 labels CO₂ avaient déjà été délivrés en Belgique.

Comment commander un béton à faible empreinte carbone ?

La **classe de réduction de CO₂ est à spécifier** lors de la commande. L'indication 'Béton certifié durable – réduction CO₂ : niveau 2, 3 ou 4' doit donc figurer parmi les données nécessaires à la spécification du béton (voir l'[Innovation Paper 42](#)). Il faut également s'assurer avec la centrale à béton que la composition du béton est conforme à l'application souhaitée et aux conditions de mise en œuvre.

Des travaux de recherche sont encore nécessaires afin de faciliter l'utilisation des bétons de niveau 3 et 4 dans les conditions environnementales belges et d'aller au-delà de ces niveaux. Buildwise y travaille ! 

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes 'Béton-mortier-granulats' subsidiée par le SPF Économie.



Rénovation énergétique des bâtiments patrimoniaux

La rénovation énergétique de notre parc immobilier est primordiale pour atteindre les objectifs des plans climatiques. Les bâtiments patrimoniaux ne font pas exception à cette règle. Ces bâtiments demandent toutefois beaucoup d'attention, car la transformation de leurs façades est complexe. Le projet 'Erfgoedenergieloket' est l'une des initiatives par lesquelles Buildwise entend apporter des réponses et des solutions techniques.

R. Hendrickx, dr. ir.-arch., chef de projet, laboratoire 'Rénovation et patrimoine', Buildwise
M. de Bouw, dr. ir.-arch., chef du laboratoire 'Rénovation et patrimoine', Buildwise
Y. Vanhellemont, ir., chef adjoint du laboratoire 'Rénovation et patrimoine', Buildwise
S. Dubois, dr. ir., chef de projet senior, laboratoire 'Rénovation et patrimoine', Buildwise

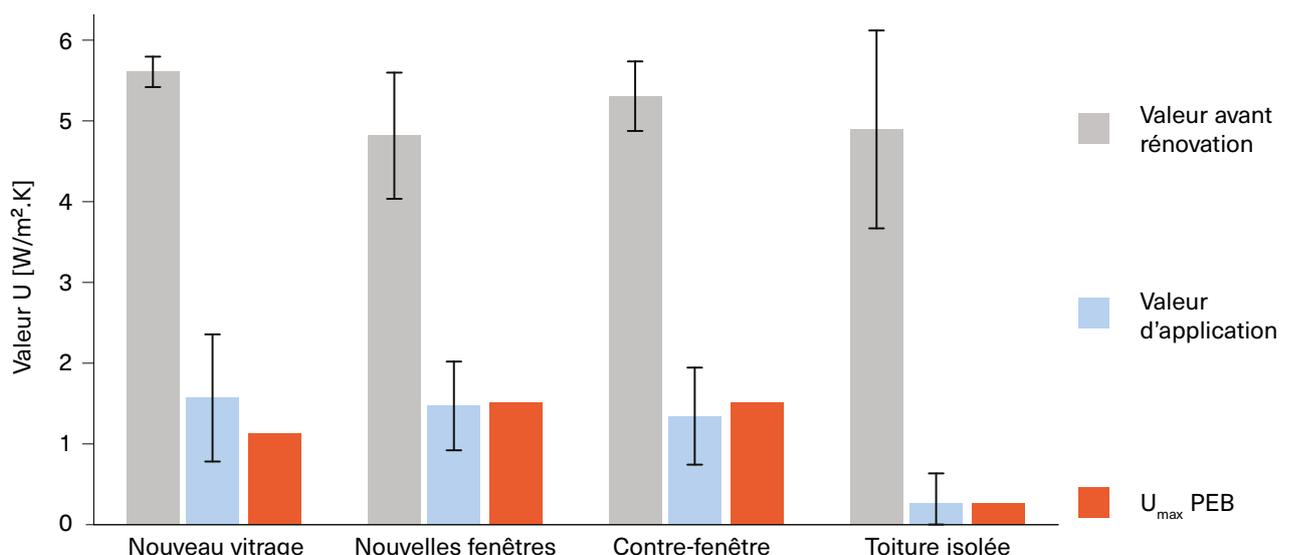
Lancement du projet et résultats

Le projet 'Gespecialiseerde Energieconsulenten voor Onroerend Erfgoed', ou 'Erfgoedenergieloket', a été mené de 2014 à 2021 avec le soutien financier du Fonds flamand pour le climat (Vlaams Klimaatfonds), sous la supervision de l'Agence flamande du patrimoine immobilier (Agentschap Onroerend Erfgoed). Cette initiative visait à former et à accompagner les architectes-restaurateurs dans l'**optimisation énergétique des bâtiments patrimoniaux**.

Dans le cadre de ce projet, un **programme de formation** a été élaboré pour les architectes-restaurateurs souhaitant améliorer leurs connaissances en matière d'interventions

énergétiques. Les modules de formation se trouvent sur le site Internet erfgoedenergieloket.be (uniquement en néerlandais) et ont été récemment retravaillés sous forme de webinaires disponibles dans l'[Académie Rénovation Buildwise](#).

Le site Internet dédié à ce projet contient également le rapport de l'analyse quantitative de l'efficacité des mesures d'économie d'énergie en matière de bâtiments patrimoniaux et toutes les fiches de projet des cas étudiés. Les résultats présentés à la figure 1 montrent que la rénovation des fenêtres et des toitures permet généralement d'atteindre la valeur U_{max} imposée par la réglementation PEB, bien que les bâtiments patrimoniaux en soient souvent exemptés. Les résultats sont moins favorables en ce qui concerne la rénova-



1 Réduction moyenne de la valeur U des éléments de construction dans les projets étudiés.

tion des sols et des murs. De plus, le délai d'amortissement de l'investissement est plus long et la complexité technique souvent plus grande.

Le rapport final présente des conclusions et des recommandations pour chaque type d'intervention visant à améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. Nous abordons deux exemples concrets ci-après.

Contre-fenêtre : une bonne idée ?

Les fenêtres authentiques méritent souvent d'être conservées. Dans certains cas, il est possible de réparer les profilés (et de les rendre suffisamment étanches à l'air), et de remplacer le simple vitrage par un vitrage feuilleté ou double. Une autre solution réside dans la pose d'une contre-fenêtre. L'installation de différents types de fenêtres a été étudiée dans le contexte du béguinage de Mont-Saint-Amand. Cette méthode de travail consiste à garder la fenêtre originale (même s'il s'agit d'un simple vitrage) et à installer une nouvelle fenêtre à ouvrants à l'intérieur du bâtiment, de sorte que l'ancienne peut encore être ouverte et entretenue (voir figure 2). Pour ce faire, il est préférable d'opter d'emblée pour des **fenêtres performantes dotées d'un verre à haute isolation thermique**. Ce dernier permet d'obtenir une meilleure isolation que la lame d'air entre l'ancien et le nouveau vitrage. Comme la nouvelle fenêtre n'est pas exposée à la pluie, elle peut être dotée d'un système à barrière d'étanchéité unique et ne doit pas posséder de châssis en bois résistant à l'eau.

Une **bonne étanchéité à l'air** est toutefois indispensable. En effet, de la condensation peut se former si l'air humide de l'intérieur s'infiltré entre les deux châssis par des fuites d'air et se condense sur l'ancien vitrage. C'est ce qui s'est passé à Mont-Saint-Amand lorsque la salle des fêtes était remplie et qu'il faisait froid à l'extérieur. Pour remédier à ce problème, il faut sceller l'encadrement de la contre-fenêtre en collant du ruban adhésif spécial contre l'enduit (cette méthode a déjà fait ses preuves dans les maisons passives). Le risque de condensation est plus faible au niveau des retours de baie, car la température y est plus élevée que sur le simple vitrage. Cependant, il est recommandé de les isoler légèrement pour éviter la formation de ponts thermiques. L'installation d'une contre-fenêtre étanche à l'air permet également d'obtenir de meilleures performances acoustiques qu'avec une fenêtre standard.

Isolation de toiture ultraperformante

Plusieurs cas pratiques étudiés concernaient l'isolation de la toiture d'un bâtiment patrimonial selon la technique du sarking, qui consiste à poser du matériau isolant et une nouvelle couverture sur la structure de la toiture existante. Des panneaux rigides sont généralement utilisés à cette fin, mais il est aussi possible de recourir à des panneaux souples en aérogel. Cette option a été choisie dans une maison de béguinage à Diest : on a posé deux nattes de seulement 1 cm d'épaisseur chacune sur le voligeage de la toiture

en ardoises du bâtiment. Dans ce cas précis, les chevrons devaient rester visibles à l'intérieur et l'extérieur de la toiture ne devait pas être trop épais, afin de ne pas alourdir la rive et de préserver les détails entourant les lucarnes. Comme la conductivité thermique de ce matériau de haute technologie est deux fois inférieure à celle du polyuréthane (PUR), on parvient à atteindre une résistance thermique considérable malgré l'épaisseur limitée de l'isolant. De plus, l'utilisation de ce matériau permet de conserver l'ondulation naturelle de l'ancienne toiture.

Plusieurs photos infrarouges et photos en couleur ont été prises avec une caméra thermique fixée sur un drone afin d'évaluer la performance après la rénovation de la toiture. Ces photos ont permis de créer un modèle 3D précis par photogrammétrie, auquel les données thermiques ont été rajoutées. Il devient ainsi possible de visualiser très précisément les performances thermiques de différents détails et raccords et de les présenter en toute transparence au client, à l'entrepreneur et au conseiller en patrimoine. 

- 2 Fenêtre à croisillons d'origine avec la contre-fenêtre en bois dans le béguinage de Mont-Saint-Amand, installé par l'entreprise de menuiserie Pollet de Kortemark.





Monitoring en temps réel : une avancée majeure dans l'amélioration des structures

Les nouvelles technologies jouent un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité et de la sécurité des structures. C'est dans ce contexte qu'a été lancée une campagne de monitoring d'un pont en béton, dont les torons de précontrainte ont été altérés par la corrosion. À cette fin, un réseau de capteurs à fibres optiques a été mis en place afin d'analyser le comportement du pont et d'en assurer le monitoring en continu.

P. Van Itterbeeck, dr. ir.-arch, cheffe de projet principal, laboratoire 'Structures et systèmes de construction', Buildwise
R. Vrijdaghs, ancien collaborateur de Buildwise

Description du pont et des dommages

L'AWV (Agence flamande des routes et de la circulation) et le MOW (Département flamand de la mobilité et des travaux publics) ont choisi ce pont comme cas d'étude en vue de tirer les leçons nécessaires pour **mieux estimer la durée de vie restante et la capacité portante résiduelle des structures**, d'une part, et pour **optimiser les stratégies d'intervention et de rénovation** de l'autre. Construit en 1957, le pont supporte le trafic routier d'une autoroute à trois voies et compte trois travées. Les travées de rive (d'une portée de 9 m) sont constituées d'éléments en béton armé. La travée centrale, d'une portée de 23 m, est constituée, quant à elle, de 13 poutres en I en béton postcontraint. Le pont est soutenu par deux rangées de cinq colonnes.

La corrosion des torons a entraîné la formation de rouille et l'apparition de fissures sur l'axe principal des poutres (voir figure 1).

1

Détail de la fissuration le long d'un câble à fibres optiques.



Monitoring en temps réel par des capteurs à fibres optiques

La partie centrale du pont a été équipée de près de **300 capteurs de déformation et de température** (voir la figure 2 à la page suivante), répartis sur quelques poutres transversales et longitudinales postcontraintes et sur les 10 colonnes. Ce vaste réseau de capteurs permet de mesurer les changements de température et les déformations. Grâce à leur haute précision, leur grande flexibilité et leur longue durée de vie, ces capteurs nous permettent de surveiller le comportement global et local du pont en utilisation.

Le suivi s'opère par l'intermédiaire d'une **plateforme IoT intégrée**. Grâce aux capteurs et aux méthodes de collecte de données innovantes, toutes les parties prenantes peuvent obtenir, consulter et analyser les données en temps réel. Ces avancées offrent un potentiel inédit en matière de détection et d'identification précoces des problèmes structurels, d'optimisation des stratégies de maintenance ainsi que de prolongation de la durée de vie des structures endommagées.

Essais de mise en charge et étalonnage

Comme le pont était déjà en utilisation lors de l'installation des capteurs, il n'était pas possible de déterminer des valeurs de référence pour les mesures obtenues. Nous ne disposons donc pas de données sur le comportement du pont dans son état initial (c'est-à-dire sous une charge nulle). Pour y remédier, un **programme d'essais de mise en charge** a été lancé en collaboration avec l'AWV, le MOW et la KU Leuven. Les tests consistaient à mesurer le comportement du pont, fermé à la circulation, exposé à



2 Équipement du pont au moyen de capteurs de déformation et de température.

différentes charges, notamment en le soumettant au poids de camions dont la charge à l'essieu était connue. Les capteurs à fibres optiques mesuraient les déformations du pont de façon continue, aussi bien sous l'effet de charges quasi statiques que de charges dynamiques.

Grâce à leur étroite collaboration, les différentes parties prenantes ont également pu utiliser des fleximètres pour mesurer le fléchissement du pont à différents endroits et des capteurs d'émission acoustique pour détecter les dommages internes de façon continue. En outre, Buildwise a effectué des **balayages laser 3D** de la face inférieure du pont à des moments précis afin d'obtenir une image 3D détaillée de la structure du pont et d'explorer les possibilités de mesure des fléchissements au moyen de balayages laser.

Toutes ces initiatives ont généré de **nombreux résultats expérimentaux** qui donnent une image globale du comportement du pont. Ces résultats peuvent être utilisés pour étalonner le monitoring en temps réel à long terme du pont (caractérisation de l'état de référence sans charges et détermination de la valeur absolue du fléchissement et de la déformation sous l'effet de charges connues). Ils peuvent également être corrélés avec une structure existante ou étalonnés par rapport à cette dernière. Comme les mesures des capteurs se poursuivront encore quelques années, les essais de mise en charge permettront de déterminer l'état actuel du pont, d'expliquer les changements structurels survenus au fil des ans et d'estimer la durée de vie résiduelle de la structure.

Applications innovantes et perspectives

Outre les techniques de mesure avancées déjà opérationnelles, ce projet comprend également une **analyse struc-**

turelle approfondie des mesures obtenues dans le cadre du projet SBO (Strategisch Basis Onderzoek) LifeMacs, qui réunit l'UGent, la KU Leuven et Buildwise. Ce projet, mené en collaboration avec le MOW, explore les possibilités de mise en place d'un système d'alerte précoce qui déclenchera une alarme en cas de dépassement d'une limite définie (déformations ou fléchissements excessifs, résistance à la compression trop limitée). Les utilisateurs, les propriétaires et les superviseurs auront ainsi le temps de prendre les mesures appropriées. À cette fin, un modèle numérique du pont est en élaboration ; il sera étalonné sur la base d'essais de mise en charge.

Ce projet montre aux entrepreneurs, aux propriétaires et aux professionnels du secteur le potentiel des nouvelles technologies, telles que les techniques de mesure innovantes et couplées ou encore l'analyse avancée de données, dans la détermination et la prédiction du comportement structurel des ouvrages en béton.

Les entrepreneurs pourront bénéficier d'informations sur l'installation de la fibre optique et sur son potentiel pour le monitoring des structures. Un tel suivi en temps réel peut contribuer à **optimiser la sécurité, le coût et la durabilité** des structures en béton et permet de **connaître l'état des structures existantes endommagées** pour détecter rapidement des problèmes structurels éventuels. Cette avancée permettra d'améliorer les stratégies de maintenance, d'accroître la sécurité et de prolonger la durée de vie des ponts et autres structures en béton, donnant aux parties prenantes la possibilité de gérer le patrimoine en béton actuel et futur de **manière plus sûre, plus efficace et plus proactive.** 

Cet article a été rédigé dans le cadre du projet 'Strategisch Basis Onderzoek (SBO)' subsidié par le Fonds flamand pour la recherche scientifique.



Plomb en toiture : des alternatives sûres et durables pour la réalisation des solins

En tant que professionnel de la couverture, il est important d'être conscient des risques associés à l'utilisation du plomb. Cet article vise à sensibiliser les couvreurs et à présenter des alternatives pour réaliser des solins sans compromettre la qualité et la durabilité des toitures.

D. De Bock, ing., conseiller principal, division 'Avis techniques et consultance', Buildwise

Risques liés à l'utilisation du plomb

Le plomb est un matériau couramment utilisé en couverture, car il est flexible et très durable. Cependant, il peut présenter des **dangers pour la santé**. Le plomb peut pénétrer dans le corps par voie respiratoire, digestive et cutanée. Par conséquent, Constructiv déconseille de manger, de boire ou de fumer lorsque l'on travaille avec du plomb (voir texte ci-contre).

Vous devez utiliser du plomb ?

Il n'est pas toujours possible de se passer de plomb en toiture. En effet, son aspect esthétique est difficile à reproduire. De plus, les plombs existants peuvent être conservés lors de rénovations. Enfin, sa durabilité n'est plus à prouver.

Fiche de prévention

Constructiv a écrit une [fiche de prévention](#) détaillée spécifique sur les risques liés à l'exposition au plomb. Elle porte la référence 1049-11/2017 et est disponible sur leur [site Internet](#).



Le plomb a donc encore de beaux jours devant lui. Voici quelques **précautions** simples pour travailler en sécurité :

- **protection individuelle :**
 - portez toujours des gants
 - s'il est impossible d'éviter les émanations de poussières ou de vapeurs, portez un masque respiratoire approprié (P3) avec une combinaison jetable et des lunettes de protection

A Avantages et inconvénients des alternatives au plomb.

Alternatives au plomb	Avantages	Inconvénients
Zinc	<ul style="list-style-type: none">• Matériau noble• Recyclable	<ul style="list-style-type: none">• Moins malléable• Demande plus de travail pour s'adapter aux formes de la couverture
Composites	<ul style="list-style-type: none">• Souples• Légers	<ul style="list-style-type: none">• Non recyclables• Exigences en matière de support et de météo

• **hygiène :**

- lavez-vous soigneusement les mains et le visage avant de manger, de boire ou de fumer
- évitez de toucher votre visage ou vos vêtements si vous travaillez avec du plomb.

Alternatives au plomb

Il existe des alternatives sûres et durables pour réaliser des solins en se passant du plomb. Les deux principales sont les **solins en zinc** et les **solins en matériaux composites** issus de combinaisons de matériaux métalliques et synthétiques (voir tableau à la page précédente).

Découvrez des exemples de produits dans notre base de données TechCom :

- exemples dans la catégorie [solins autoadhésives sur une](#)

- [face en caoutchouc butyle et revêtues de matériaux divers](#)
- exemples dans la catégorie [plomb à base d'aluminium en rouleaux \(sans plomb\)](#).

Mise en œuvre des substituts

Même si vous utilisez des matériaux autocollants, assurez-vous de les engraver ou d'appliquer un contre-solin. Ce dernier améliore l'étanchéité du raccord à long terme. L'application illustrée sur la photo ci-dessous ne peut donc pas être considérée comme suffisamment durable.

Les produits autocollants nécessitent un support sec et propre et des conditions climatiques adaptées. Par ailleurs, ce type de matériau peut poser problème en cas d'interventions ou de rénovation ultérieure, en raison de la difficulté de démontage. 

1 Exemple d'application ne pouvant pas être considérée comme suffisamment durable.





Rénovation des toitures à versants : quel impact sur l'environnement ?

L'isolation de la toiture est l'une des mesures principales à prendre pour réduire la consommation énergétique d'une habitation, et donc son impact environnemental. Cependant, le choix des matériaux et la stratégie de rénovation ont une grande influence sur l'impact environnemental global. Il convient donc d'agir en connaissance de cause pour garantir et maximiser les gains environnementaux.

N. Neelen, arch., chercheuse, laboratoire 'Performance environnementale', Buildwise
L. Wastiels, dr. ir.-arch., cheffe du laboratoire 'Performance environnementale', Buildwise

Cet article compare l'impact environnemental de différentes solutions de rénovation de toitures sur la base d'une **analyse de cycle de vie ou ACV**. Cette technique permet de déterminer l'impact environnemental d'un bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie (de la production des matériaux au traitement final des déchets) et par rapport à différentes questions environnementales (changement climatique et particules fines, par exemple) (voir l'article [Buildwise 2013/04.15](#)). Cette analyse a été effectuée selon la méthode couramment utilisée en Belgique, méthode également employée dans l'outil d'ACV TOTEM (www.totem-building.be). Grâce à cet outil, tous les professionnels du secteur peuvent analyser eux-mêmes différentes options.

Gains énergétiques et impact des matériaux

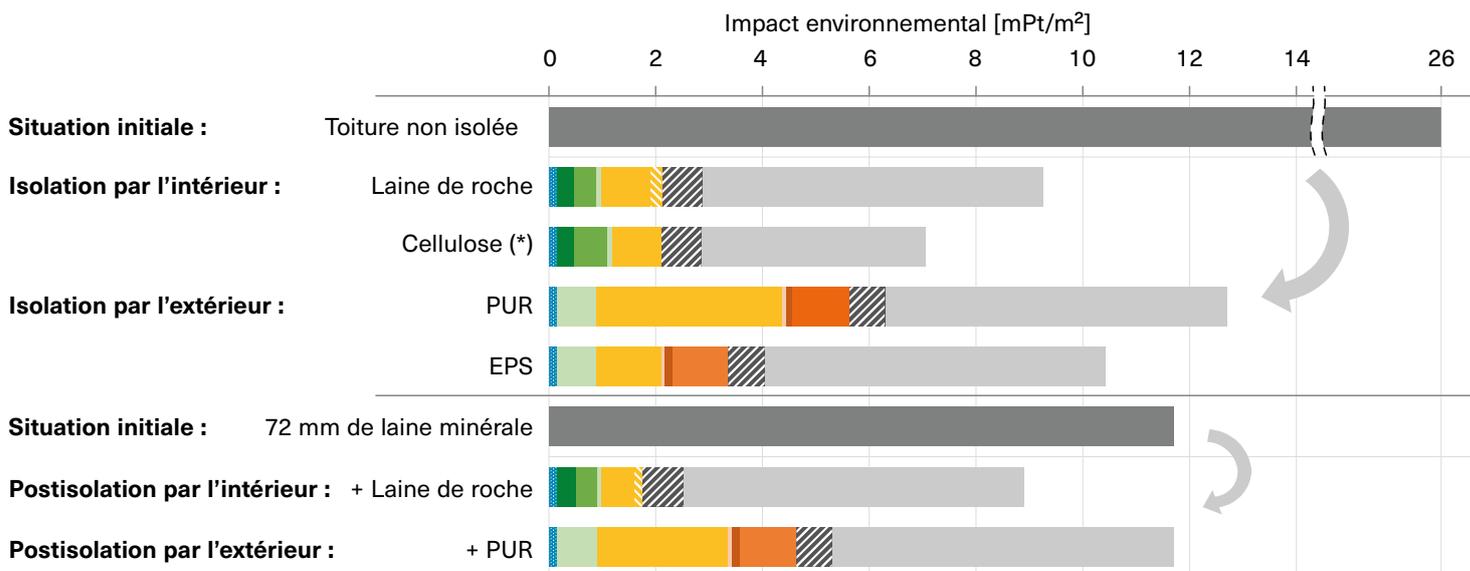
Le graphique à la page suivante montre l'impact environnemental d'une **surface de toiture de 1 m²**, isolée de diffé-

rentes manières pour atteindre une valeur d'isolation d'au moins **$U = 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$** et destinée à être utilisée pendant **60 ans**. Ce graphique indique l'impact des matériaux de chaque composant de la toiture, ainsi que l'impact lié à la consommation énergétique due au chauffage au moyen d'une chaudière à condensation au gaz.

Il ressort des résultats que l'**isolation des toitures non isolées** conduit presque toujours à des **gains environnementaux sur toute la durée de vie** des toitures en question. Les avantages environnementaux liés à la réduction de la consommation énergétique due au chauffage l'emportent donc sur l'impact de l'utilisation de matériaux supplémentaires, sauf dans certains cas de postisolation avec de la laine de mouton (voir la version longue de cet article).

Si la toiture possède déjà une faible quantité d'isolant, il vaut souvent la peine de l'isoler davantage. Dans ce cas, le choix des matériaux et la stratégie de rénovation sont encore plus importants pour réduire l'impact environnemental des matériaux.





Selon la norme NBN EN 15804+A2:2019 (normalisation et pondération EF3.0 11/2019)

(*) Isolation avec de la cellulose jusqu'à $U = 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, avec remplissage complet de la structure.

- Fin de vie des couches existantes
- Couches d'isolation (total)
- Finition extérieure
- Finition intérieure
- Pertes d'isolation
- Entretien et remplacements
- Sous-structure pour finitions intérieures
- Sous-toiture et support
- Pertes énergétiques après rénovation
- Pare-vapeur et support
- Support pour finitions extérieures
- Pertes énergétiques avant rénovation

1 Impact environnemental de la rénovation de 1 m^2 de toiture à versants, sur l'ensemble de son cycle de vie, pour différentes stratégies d'isolation (pour atteindre $U = 0,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur

L'isolation par l'intérieur a généralement un impact environnemental plus faible que l'isolation par l'extérieur (voir figure 1). En effet, pour isoler une toiture par l'extérieur selon la méthode du sarking, il faut utiliser des panneaux isolants rigides (PUR, XPS, panneaux de fibres de bois, liège, par exemple), qui ont souvent (mais pas toujours !) un impact environnemental plus élevé que la plupart des matériaux isolants souples (laine minérale, laine de bois, chanvre...). En matière d'impact environnemental, il existe de grandes différences entre les isolants souples et rigides et au sein de ces deux catégories. La version longue de cet article aborde ces différences en détail.

De plus, la méthode du sarking exige d'enlever la couverture (les tuiles et la sous-toiture). Une couverture en tuiles classique a un impact plus élevé qu'une finition intérieure typique avec une structure en bois et des plaques de plâtre.

Il va sans dire qu'il faut également tenir compte de l'état de la couverture. Si elle doit être remplacée, cette opération augmentera l'impact environnemental. Si les tuiles sont encore en bon état, on peut choisir de les réutiliser après l'isolation (voir NIT 240).

Cette étude montre également que, si l'on remplace la structure existante de la toiture et que l'on utilise un

matériau isolant à faible impact environnemental, l'impact environnemental global de la rénovation de la toiture peut être inférieur à l'impact de certaines solutions de rénovation (voir l'article long). Il est donc utile de comparer au préalable l'impact des différentes options, surtout si le remplacement de la structure de la toiture ou de la couverture s'impose également d'un point de vue technique.

Fixation de la finition intérieure

La finition intérieure classique au moyen de plaques de plâtre posées sur une structure en bois présente un impact environnemental assez limité. Cependant, il ressort de la comparaison avec d'autres finitions intérieures que l'impact d'une structure en profilés métalliques est quatre fois plus élevé que celui de son équivalent en bois (voir aussi l'article long). Le **choix de la finition joue également un rôle**. Ainsi, l'utilisation de panneaux OSB double l'impact de la finition intérieure. ≡W

Cette étude a été menée dans le cadre du projet Living Labs Brussels Retrofit subsidié par la Région de Bruxelles-Capitale et l'Union européenne. Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes 'Impact environnemental et économie circulaire' subsidiée par le SPF Économie.



Apprenez-en davantage en consultant l'article [Buildwise 2023/05.06](#). Inscrivez-vous à notre newsletter pour être informé de sa publication.



Isolation d'une toiture verte : quelles sont les conditions à remplir ?

La présence sur une toiture plate d'un substrat, parfois épais, de végétaux et d'autres couches (protection, drainage, ...) augmente les charges auxquelles elle est exposée. Les couches de la toiture, en particulier l'isolation, doivent pouvoir résister à ces charges réparties ou localisées (bac à plantes, par exemple), permanentes ou variables dans le temps (personnes circulant et travaillant sur la toiture, quantité variable d'eau dans le substrat, ...).

E. Noirfalisse, ir., coordinatrice sectorielle des Comités techniques et cheffe de projet principale, laboratoire 'Isolation, étanchéité et toitures', Buildwise

Les **classes de compressibilité C et D** de l'UEAtc (Union européenne pour l'agrément technique dans la construction) indiquent les exigences relatives au comportement de l'isolation sous l'effet de températures et de charges données. Ces exigences sont complétées par celles des **classes P3 et P4** de l'UBAtc (Union belge pour l'agrément technique dans la construction), qui tiennent également compte du comportement de l'isolation sous l'effet de la compression et du poinçonnement. En outre, une étude plus détaillée impliquant la détermination des charges réellement appliquées est nécessaire si la toiture est intensive et/ou si d'autres charges peuvent s'exercer sur cette dernière. Les déformations provoquées à court et à long terme par ces charges doivent rester limitées.

Recommandations issues des guides d'agrément

Le [Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité des toitures plates et inclinées](#) décrit **quatre classes de compressibilité**, les classes B à D s'appliquant aux toitures plates. La classe est déterminée par un essai qui évalue le comportement de l'isolation sous l'effet de charges statiques réparties et de températures élevées. Bien que les toitures vertes ne soient pas citées explicitement, elles sont reprises implicitement dans les classes C et D. Ce seul essai semble toutefois insuffisant pour évaluer les exigences relatives aux caractéristiques mécaniques de l'isolation. Le guide réfère d'ailleurs aux règlements nationaux.

Au niveau belge, l'[UBAtc](#) propose une classification différente, dans laquelle interviennent également les **résistances à la compression et au poinçonnement**. Les exigences diffèrent selon le matériau : tous ne présentent pas les mêmes comportements (sensibilité vis-à-vis de la

température, comportement élastique ou fragile, ...) et toutes les exigences ne sont pas pertinentes pour tous les matériaux. Le tableau A à la page suivante, extrait du tableau 5 de la [NIT 229 'Toitures vertes'](#), décrit les classes P3 et P4, correspondant aux classes C et D précitées et incluant respectivement les toitures vertes extensives et intensives.

Recommandations des Notes d'information technique

Le tableau 5 de la [NIT 229](#) reprend les classes P3 et P4 et les exigences correspondantes, et les complète avec d'autres recommandations :

- prendre en compte des **charges ponctuelles** (poinçonnement) éventuelles en toiture extensive (par la charge localisée d'un bac à fleurs, par exemple)
- réaliser une **étude particulière pour les toitures intensives**, qui sont susceptibles d'être soumises à des charges statiques plus élevées, des charges ponctuelles concentrées ou des charges dynamiques.

La [NIT 229](#) mentionne également que, vu les conséquences d'une infiltration éventuelle en toiture verte (intensive en particulier), il est recommandé d'avoir recours, pour une toiture chaude, à une **isolation insensible à l'humidité** permettant une pose de l'étanchéité en adhérence totale. Elle ajoute que le **verre cellulaire** constitue à ce jour le seul matériau d'isolation répondant à ces critères, ce qui en fait l'option à privilégier pour une toiture intensive. Cela n'exclut toutefois pas d'autres matériaux d'isolation si les conditions précitées sont remplies et si les mesures supplémentaires adéquates sont prises en termes d'étanchéité afin de réduire le risque d'une infiltration et d'en limiter les conséquences : compartimentage, système de monitoring de l'humidité, étanchéité bicouche, ... À ce propos, des essais d'orientation récents montrent qu'il existe des

A Classes UBAtc P3 (toiture extensive) et P4 (toiture intensive).

Classe de sollicitation	Matériaux isolants pour toitures vertes				
	MW selon NBN EN 13162	EPS selon NBN EN 13163	PUR/PIR selon NBN EN 13165	CG selon NBN EN 13167	XPS selon NBN EN 13164
P3 : toiture à végétation extensive, accessible aux piétons et se prêtant à un entretien ou à un contrôle régulier de l'ouvrage et de ses équipements (classe C selon le Guide UEAtc pour l'isolation des toitures)	DLT : ≤ 5 %, 40 kPa, 80/60 °C, 7 j.	• DLT(1)5 : ≤ 5 %, 20 kPa, 80 °C, 48 h • DLT(2)5 : ≤ 5 %, 40 kPa, 70 °C, 7 j.	DLT(2)5 : ≤ 5 %, 40 kPa, 70 °C, 7 j.	–	DLT(2)5 : ≤ 5 %, 40 kPa, 70 °C, 7 j.
	CS(10\Y) : ≥ 40 kPa	CS(10) : ≥ 120 kPa	CS(10\Y) : ≥ 120 kPa	CS(Y) : ≥ 400 kPa	CS(10\Y) : ≥ 300 kPa
	PL(5) 500 (1)	–	–	PL(P)2 (1)	–
P4 : toiture à végétation intensive apte à résister à une charge statique répartie de 7,5 kPa maximum et/ou soumise à des sollicitations sévères... (classe D selon le Guide UEAtc pour l'isolation des toitures)	DLT : ≤ 5 %, 80 kPa, 80/60 °C, 7 j.	DLT(3)5 : ≤ 5 %, 80 kPa, 60 °C, 7 j.	DLT(3)5 : ≤ 5 %, 80 kPa, 60 °C, 7 j.	–	DLT(2)5 : ≤ 5 %, 40 kPa, 70 °C, 7 j.
	CS(10\Y) : ≥ 80 kPa	CS(10) : ≥ 150 kPa	CS(10\Y) : ≥ 120 kPa	CS(Y) : ≥ 700 kPa (2)	CS(10\Y) : ≥ 300 kPa
	PL(5) 750 (1)	–	–	PL(P)1 (1)(2)	–

(1) PL : charge concentrée occasionnant une empreinte déterminée (MW), ou déformation induite par une charge de 1.000 N (CG). Par exemple : PL(5) 500 = charge concentrée de ≥ 500 N occasionnant une empreinte de 5 mm. PL(P)2 = déformation de ≤ 2 mm induite par une charge concentrée de 1.000 N.

(2) Les exigences pour CG en classe 4 ont été légèrement adaptées entretemps : CS(Y) ≥ 600 kPa et PL (P) 1,5.

panneaux d'isolation en polyuréthane (PU) qui satisfont aux critères d'une classe P4. Ils peuvent par conséquent être envisagés moyennant la prise des mesures citées plus haut. Pour les raisons qui précèdent, dans le cas d'une toiture inversée, l'étanchéité sera posée de préférence en adhérence totale sur le support.

Publiée plus récemment, la **NIT 280 'La toiture plate'** mentionne les classifications UEAtc et UBAtc et indique que la première semble insuffisante. Elle présente, pour les toitures soumises à des sollicitations spécifiques (terrasse, terrain de sport, ...), des recommandations supplémentaires et une approche similaire à celle de la **NIT 253 'Les toitures-parkings'**. Des critères indicatifs sont proposés quant aux caractéristiques mécaniques des matériaux d'isolation :

- **à court terme**, on conseille de veiller à ce que la contrainte dans l'isolation ne dépasse pas :
 - dans le cas des matériaux déformables, la contrainte donnant lieu à une déformation égale à la plus petite des valeurs suivantes : 2 % ou la limite élastique; ces données sont disponibles dans les résultats d'un essai classique de résistance en compression selon la norme NBN EN ISO 29469 (qui a récemment remplacé la norme NBN EN 826) (courbe contrainte-déformation)
 - pour les matériaux non ou très peu déformables, la résistance en compression (à la rupture) réduite par

- un facteur de sécurité (à déterminer par le fabricant)
- **à long terme** (20 ans), on conseille de ne pas dépasser une déformation de 2 %. Cette information peut être obtenue par la réalisation d'un essai de fluage en compression, de plus longue durée, selon la norme NBN EN ISO 16534 (qui a remplacé récemment la NBN EN 1606). La charge appliquée est la charge de service pondérée par les coefficients adéquats. Cette caractéristique n'est toutefois pas toujours reprise dans la fiche technique du matériau d'isolation; il peut donc être nécessaire de la demander au fabricant.

Pour déterminer la contrainte s'appliquant sur l'isolation, il faut calculer la surface sur laquelle s'exerce la charge (surface d'un plot, d'un bac à fleurs, ...) et prendre en compte la répartition éventuelle de cette dernière par les couches situées entre la charge et l'isolation (en fonction de leur rigidité).

Outre ces exigences et recommandations, rappelons que des dispositions doivent être prises pendant les travaux de toiture afin de ne pas endommager les panneaux d'isolation (chemins de circulation, par exemple). Lors du transport et de l'entreposage de matériaux, il faut notamment éviter que ces derniers entraînent des charges concentrées trop élevées sur les panneaux d'isolation. 



Choisir les colles à bois en fonction de l'application visée

Le choix de la colle pour l'assemblage d'éléments de construction en bois nécessite que l'on tienne compte de l'application visée et de l'exposition à l'humidité. Évidemment, il convient également de veiller à ce que la colle soit adaptée à l'essence utilisée ou au traitement du bois. Cette nouvelle approche complète les informations publiées dans l'article [Buildwise 2011/04.08](#).

B. Michaux, ir., chef de la division 'Matériaux de toitures et performance environnementale', Buildwise

Types d'applications

La destination des éléments en bois déterminera la colle à choisir pour les assembler. Deux types d'applications sont à distinguer :

- les **applications non structurales**, qui renvoient notamment aux éléments de menuiserie intérieure ou extérieure (profilés de châssis, éléments de support secondaires, ...)
- les **applications structurales**, qui désignent les éléments porteurs principaux, autrement dit ceux qui assurent la stabilité de la construction : poutres, colonnes, poutre maîtresse de véranda, limon principal d'un escalier, ...

Applications non structurales

La norme NBN EN 204 définit **quatre classes de sollicitation** (D1 à D4) pour les colles thermoplastiques (vinyliques, isocyanates, ...) à usage non structural.

Quatre classes similaires (C1 à C4) sont définies dans la norme NBN EN 12765 et ciblent les colles à base de résine thermodurcissable à usage non structural.

Le tableau A indique, pour chacune de ces classes, leur domaine d'application ainsi que quelques exemples.

A Classification des colles pour des applications non structurales.

Classe de sollicitation	Domaine d'application	Exemples
C1 ou D1	Intérieur avec un faible taux d'humidité	Aménagement de placards dans des chambres
C2 ou D2	Intérieur avec un risque limité de forte humidité relative de l'air	Portes intérieures, escaliers, meubles dans des locaux sans production d'humidité, ...
C3 ou D3	Intérieur avec un risque de condensation brève et fréquente et/ou un taux d'humidité relative de l'air important au cours d'une période plus longue. Le taux humidité du bois peut atteindre 18 %	Cuisines, salles de bain, parquets, sous-parquets, parois, ...
	Extérieur sans exposition directe aux intempéries	Assemblages d'angles de fenêtres et de portes protégés par un préau ou un capot
C4 ou D4	Intérieur avec un contact important et fréquent avec de la condensation ou un écoulement d'eau	Cuisines, salles de bain; sous-parquets, ...
	Extérieur avec des joints de colle directement exposés aux intempéries (à condition d'appliquer un revêtement de surface approprié)	Assemblages d'angles de fenêtres et de portes

B Types de colles utilisées pour les applications structurales.

Domaine d'application	Types de colles	Remarques	Normes de référence
Extérieur et bois exposé (classe de service 3 selon la NBN EN 1995-1-1), colle de type I	Résorcine (RF pour 'résorcine-formol' ou PRF pour 'phénol-résorcine-formol')	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur comportement au feu • Attention à la toxicité 	NBN EN 301
	Phénol-formol (PF)	Monocomposant (sans durcisseur) nécessitant une mise en œuvre à chaud	NBN EN 301
Extérieur et bois protégé (classe de service 2 selon la NBN EN 1995-1-1), colle de type I	Mélamine (MUF pour 'mélamine-urée-formol')	<ul style="list-style-type: none"> • Monocomposant • Bicomposant nécessitant une mise en œuvre à chaud ou à froid 	NBN EN 301
	Polyuréthane (PUR)	Bicomposant	NBN EN 15425
	Époxydes	Monocomposant nécessitant une mise en œuvre à chaud	-
Intérieur (classe de service 1 selon la NBN EN 1995-1-1), colle de type I ou II	Urée-formol (UF)	Bicomposant nécessitant une mise en œuvre à chaud ou à froid	NBN EN 301
	Caséine	Nécessite un contrôle spécifique	NBN EN 12436
	Polyuréthane (PUR)	Monocomposant	NBN EN 15425

Applications structurales

Pour les applications structurales, les différentes normes se réfèrent à **deux types de colles (I et II)** en fonction de leur aptitude à l'emploi. Le tableau B ci-dessus indique le type de colle à utiliser selon le domaine d'application.

Lorsque les éléments porteurs principaux sont calculés conformément à l'Eurocode 5 (NBN EN 1995-1-1), on veillera :

- à ce que le **remplacement des éléments de bois massifs par des éléments porteurs collés** soit validé par les méthodes de calcul appropriées. L'Eurocode 5 prévoit une approche spécifique pour les éléments collés, notamment au niveau des coefficients à prendre en compte
- à ce qu'un **contrôle de la qualité** soit appliqué à tout assemblage collé (via le marquage du produit, par exemple). Le rapport de ce contrôle doit stipuler le type d'adhésif, le processus de production et la qualité des joints de collage.

Le respect des conditions de mise en œuvre de la colle est indispensable pour assurer la résistance et la durabilité des assemblages d'éléments en bois par collage. À cet égard, il faudra donc également tenir compte de ces quelques points d'attention complémentaires :

- **les températures** doivent être supérieures à 10 °C (sauf indications spécifiques du fabricant). L'apport d'énergie thermique accélère le durcissement. Pour activer la polymérisation des résines phénoliques, aminoplastes et vinyliques, un générateur à haute fréquence peut être utilisé localement

- **le taux d'humidité** : il est indispensable de contrôler les variations d'humidité du bois pour éviter des mouvements dimensionnels des éléments assemblés, même si certaines colles (en particulier les colles polyuréthanes monocomposant) requièrent de l'humidité pour initier leur processus de réticulation. Le contrôle s'effectue au droit des zones assemblées. Les éléments en bois doivent être séchés jusqu'à ce que leur taux d'humidité soit compris entre 5 et 12 % (suivant les spécifications du fabricant)
- **les surfaces d'encollage** doivent s'épouser parfaitement et être nettoyées (rabotage et préponçage). Certaines colles, telles que les résines urée-formol, sont à appliquer en couche très mince
- **la pression** : les serre-joints ne peuvent pas être utilisés pour des applications sur des structures portantes, car ils n'agissent pas à pression constante. De plus, il n'est pas possible de contrôler la pression exercée
- **la compatibilité avec les essences** : toutes les colles ne sont pas compatibles avec toutes les essences. Ainsi, les bois riches en résines, gommes ou matières huileuses sont plus difficiles à coller (pin maritime, teck, ...). Il existe également des colles mixtes EPI (émulsions d'isocyanate et de polymère) particulièrement adaptées pour des bois dont le caractère hydrophobe a été renforcé notamment par transformation physicochimique ou pour des essences à haute teneur en résine
- **la dimension et l'orientation des fibres** influencent la qualité du collage. Le bois de bout se colle plus difficilement que le bois de surface ou sur chant. Le cœur et l'aubier ne se comportent pas de la même façon. Il est nécessaire de vérifier que la colle est adaptée. 



Calcul de l'épaisseur du verre feuilleté

Le verre feuilleté est composé de plusieurs feuilles de verre assemblées par un intercalaire synthétique. Calculer correctement l'épaisseur du verre offre de nombreux avantages, à savoir une réduction de l'épaisseur du vitrage, une augmentation de sa fiabilité, une plus grande facilité de mise en œuvre, des économies en matière de transport, sans oublier une amélioration de la sécurité des ouvriers.

É. Dupont, ing., conseiller principal sénior, direction 'Normalisation et certification', Buildwise

Alors que la série de normes NBN EN ISO 12543 aborde la durabilité du verre feuilleté, la norme NBN S 23-002 (et son addendum) traite du choix du verre et donc des situations dans lesquelles un verre de sécurité doit être utilisé en Belgique.

Transfert des efforts de cisaillement

La **rigidité du verre feuilleté** dépend de la qualité du transfert en cisaillement entre les différentes feuilles de verre, également appelées 'plis', qui le constituent. Ainsi, en fonction des caractéristiques mécaniques de l'intercalaire, le verre feuilleté peut se comporter différemment : soit comme un simple empilement de feuilles de verre, soit comme un verre monolithique dont l'épaisseur est égale à la somme de l'épaisseur de ses composants. La différence est très importante et influence grandement le poids du verre à mettre en œuvre.

Prenons le cas d'un verre feuilleté 33.2. Celui-ci est composé de deux plis de verre de 3 mm et de deux films PVB de 0,38 mm formant dès lors un intercalaire d'une épaisseur de 0,76 mm. Si cet intercalaire a la capacité de transférer la totalité des efforts de cisaillement d'un pli à l'autre, l'épaisseur équivalente de calcul du verre feuilleté sera de 6,76 mm. Par contre, si l'intercalaire n'a aucune capacité de transférer les charges, l'épaisseur équivalente de calcul sera de 3,76 mm.

La **norme NBN S 23-002** permet de déterminer si un verre feuilleté peut être mis en œuvre. Supposons dès lors que notre verre feuilleté 33.2 mesure 1,3 x 2,4 m, qu'il soit appuyé sur quatre côtés et soumis à une pression de vent de 1.000 Pa. Si l'intercalaire a la capacité de transférer la totalité des efforts de cisaillement d'un pli à l'autre, la contrainte dans le verre feuilleté sera de 15,6 MPa et sa déformation de 9,1 mm. Puisqu'il répond aux critères de déformation ($\leq 10,4$ mm) et de contrainte de flexion ($\leq 18,5$ MPa) établis dans la norme NBN S 23-002-2, il peut être installé. En revanche, si l'intercalaire a une capacité de

transfert nulle, la contrainte dans le verre sera de 19,2 MPa et sa déformation de 20,9 mm, ce qui signifie qu'il ne pourra pas être mis en œuvre. Un verre feuilleté 44.2 ne sera pas non plus satisfaisant, car il présente une déformation de 14,6 mm. Pour ce projet, il faudra opter pour un verre 55.2.

Ceci souligne toute l'importance de **disposer d'un modèle de calcul précis** du verre feuilleté.

Modèle de calcul selon la norme NBN S 23-002-2

La norme NBN S 23-002-2 propose actuellement un modèle de calcul relativement simpliste des épaisseurs équivalentes



Shutterstock

de verre feuilleté. Celui-ci tient compte d'une capacité forfaitaire de transfert du cisaillement, exprimé par le **coefficient ω** . Ce dernier est cependant peu précis et la méthode pour le déterminer est sujette à interprétation. En outre, la norme ne permet qu'une utilisation forfaitaire de maximum 20 % du transfert en cisaillement, c'est-à-dire un coefficient ω de 0,2.

Ainsi, si l'on applique ce modèle de calcul à un verre feuilleté 44.2, la contrainte dans le verre sera de 13,5 MPa et sa déformation de 10,7 mm. Cette fois encore, le verre est non conforme aux exigences de la norme NBN S 23-002-2 et il faut, cette fois encore, prévoir un verre 55.2.

Modèle de calcul selon la méthode EET

D'un point de vue mécanique, il se trouve que la capacité de l'intercalaire à transmettre les efforts de cisaillement dépend des paramètres suivants :

- les **conditions d'appuis du verre feuilleté** : 2, 3, 4 appuis continus, encastré à la base (garde-corps, par exemple), ...
- la **géométrie du verre**, généralement rectangulaire. Les formes triangulaires ou en losange sont possibles, mais influencent le transfert en cisaillement
- le **type de charge appliquée** : ponctuelle, linéaire ou uniformément répartie
- le **module de cisaillement de l'intercalaire**, qui est fonction de sa nature, de sa température et de la durée d'application de la charge (par exemple : courte pour le vent, moyenne pour la neige et permanente pour le poids propre du vitrage en toiture).

Afin de prendre en compte tous ces paramètres, l'université de Parme a développé la **méthode dite EET**, pour *Enhanced Effective Thickness*. Bien que les formules développées

soient compliquées, cette méthode est très précise et contribue à diminuer significativement l'épaisseur et donc le poids des vitrages. Elle a été normalisée dans le cadre des travaux effectués pour le futur Eurocode 11, dédié aux structures en verre et auxquels Buildwise participe très activement.

Toujours dans le cas de notre exemple de verre feuilleté 33.2, l'intercalaire étant formé de deux films PVB clairs classiques, le coefficient ω déterminé par la méthode EET est de 0,92. La contrainte dans le verre serait de 15,6 MPa et sa déformation de 9,6 mm, ce qui signifie que ce vitrage conviendrait. Son poids serait alors 40 % inférieur à celui calculé sur la base des hypothèses de la norme NBN S 23-002-2.

Soulignons enfin qu'en cas de vitrage isolant, il est primordial, d'un point de vue sécuritaire, de **ne pas sous-estimer le coefficient ω** . En effet, comme dans toutes structures hyperstatiques, l'erreur commise sur la rigidité réelle du verre feuilleté faussera la répartition des charges sur chacun des verres constituant le vitrage isolant et le calcul de la pression dans la cavité.

Par exemple, pour un vitrage isolant de 1,3 x 2,4 m, de composition 3/16/33.2, soumis à une pression de vent de 1.000 Pa avec un coefficient ω de 0,2 suivant la norme NBN S 23-002-2, la résultante est de 340 Pa sur le verre extérieur et de 670 Pa sur le verre intérieur. Avec un coefficient ω de 0,54 calculé suivant la méthode EET, la résultante est cette fois de 133 Pa sur le verre extérieur et de 879 Pa sur le verre intérieur. De plus, recourir à un vitrage feuilleté plus rigide, comme c'est le cas dans la réalité, provoquera une augmentation de la pression dans la cavité sous l'effet des variations de température et de pression atmosphérique.

Conclusion

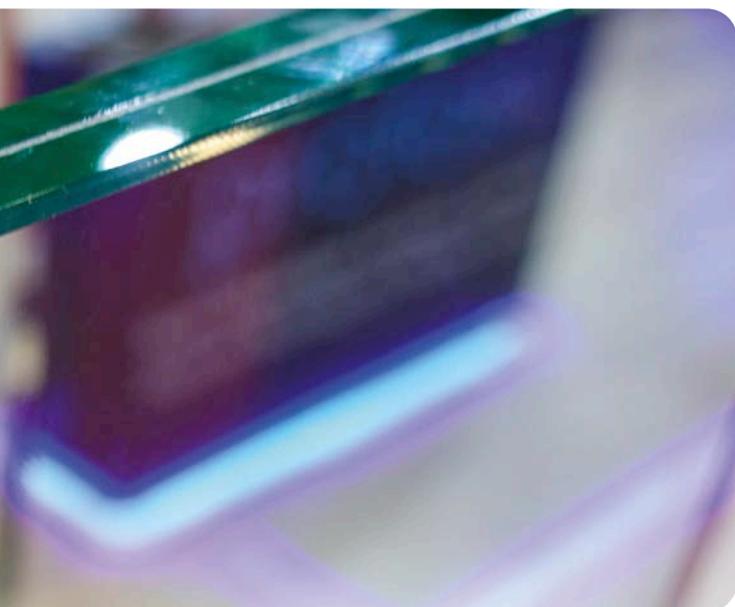
Si la méthode EET semble compliquée de prime abord, son adoption ne présente que des avantages. Elle permet effectivement :

- de réduire considérablement des épaisseurs de verre en se basant sur un calcul plus précis
- d'augmenter la fiabilité des produits verriers composés de verre feuilleté
- de faciliter la mise en œuvre
- d'effectuer des économies en matière d'énergie de transport
- d'améliorer la sécurité des ouvriers.

C'est en outre un élément très favorable pour la déclaration environnementale de produits (EPD).

Par conséquent, et en accord avec les Comités techniques concernés, Buildwise entreprendra les actions nécessaires pour adopter cette méthode dans le cadre des spécifications belges et mettre à disposition de ses membres des outils de dimensionnement simples et pratiques. 

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne-Normes 'Eurocodes structuraux' subventionnée par le SPF Économie.





Rénovations et vitrage isolant sous vide

Avant de remplacer un vitrage, il faut tenir compte des profilés de fenêtre existants. En effet, les feuillures et la quincaillerie ne sont généralement pas conçues pour les vitrages épais et lourds aux performances thermiques améliorées. Par conséquent, les vitrages sous vide plus légers et fins représentent une option intéressante dans les projets de rénovation ou de restauration.

V. Detremmerie, ir., chef adjoint de la division 'Acoustique, façades et menuiserie', Buildwise
D. Wuyts, ir.-arch., cheffe du laboratoire 'Acoustique', Buildwise

Qu'est-ce que le vitrage isolant sous vide ?

Contrairement au double ou au triple vitrage traditionnel, le vitrage isolant sous vide ou **VIG** (*Vacuum Insulating Glass unit*) est dépourvu de cavité remplie de gaz. Les deux feuilles de verre d'une épaisseur minimale de 3 mm chacune sont séparées par un écart inférieur à 1 mm par des **écarteurs** (d'un diamètre d'environ 0,5 mm). Ces derniers ne sont visibles à l'œil nu qu'à courte distance (voir figure 1). L'espace entre les feuilles de verre est **mis sous vide**. L'épaisseur totale du vitrage est donc de 6 à 7 mm au moins. Cette méthode permet d'assembler différents types de verres (recuit, trempé, durci, feuilleté, ...).

Chaque fabricant peut utiliser des matériaux différents (verre, céramique, métal ou plastique, ...) pour les écarteurs, le scellement et, éventuellement, la valve de mise sous vide.

La composition du vitrage isolant sous vide se note **X()Y**. 'X' et 'Y' représentent l'épaisseur (en mm) des feuilles de verre, tandis que '()' représente le vide entre les deux feuilles. Ainsi, la notation 4()4 fait référence à un vitrage sous vide

1

Les écarteurs d'un vitrage isolant sous vide ne sont visibles qu'à faible distance.



composé d'une feuille interne et d'une feuille externe de 4 mm chacune.

Les types de verres, les couches et les feuilletages qui composent les vitrages isolants sous vide varient selon l'application prévue (patrimoine, isolation acoustique, sécurité, ...).

Performances thermiques et acoustiques

Le tableau A à la page suivante indique les performances de différentes compositions de vitrages traditionnels et isolants sous vide en matière de transmission thermique et d'isolation acoustique, ainsi que l'épaisseur totale et la masse du verre.

L'espace sous vide entre les deux feuilles de verre d'un vitrage isolant sous vide permet d'obtenir des **valeurs d'isolation thermique et acoustique élevées**. Il n'est donc pas nécessaire de renforcer et d'épaissir le vitrage. Le coefficient de transmission thermique (U_g) d'un vitrage isolant sous vide standard s'élève à 0,7 W/m².K, ce qui est comparable à celui d'un triple vitrage à haut rendement (généralement compris entre 0,8 et 0,5 W/m².K). Cette valeur est également garantie lorsque le vitrage isolant sous vide se trouve en position inclinée.

L'indice d'affaiblissement acoustique (R_{Atr}) de ce type de vitrage équivaut à celui du vitrage feuilleté acoustique simple ayant une épaisseur totale et une masse similaires. Pour une même épaisseur totale, **l'isolation acoustique du vitrage isolant sous vide est nettement supérieure** à celle des doubles et triples vitrages traditionnels. Pour une même masse totale, un vitrage isolant sous vide affiche des performances acoustiques supérieures de plusieurs dB à celles des doubles et triples vitrages traditionnels, à l'exception des doubles vitrages acoustiques très lourds.

Le vitrage isolant sous vide constitue ainsi une **variante plus légère, plus fine et plus performante sur le plan acoustique** que le triple vitrage dans le cadre de rénovations énergétiques.

A Valeurs indicatives pour la transmission thermique et l'isolation acoustique, ainsi que pour l'épaisseur totale et la masse du verre théoriques des compositions de vitrages traditionnels et isolants sous vide.

Composition	Coefficient de transmission thermique U_g [W/m ² .K]	Indice d'affaiblissement acoustique R_{Atr} [dB]	Épaisseur totale [mm] (1)	Masse du verre totale [kg/m ²] (2)
Vitrages à remplacer				
4 mm	5,8	26	4	10
4/12/4 (3)	2,9	26	20	20
Vitrages feuilletés				
44.2A* (4)(5)	3,6	35	8	20
Doubles vitrages à haut rendement				
4/15Ar/#4 (6)(7)	1,0	26	23	20
6#/15Ar/4	1,0	30	25	25
6#/15Ar/44.2A	1,0	35	29	35
66.2A/20Ar/#44.2A	1,0	42	40	50
Triples vitrages à haut rendement				
4#/15Ar/4/15Ar/#4	0,6	27	42	30
6#/15Ar/4/15Ar/#4	0,6	29	44	35
6#/12Ar/4/12Ar/#44.2A	0,7	33	42	45
Vitrages isolants sous vide				
4()4 (8)	0,7	30	8	20
6()4	0,7	33	10	25
6()6	0,7	34	12	30
4:6()4 (9)	0,7	37	14	35
4:6()6:4	0,7	39	20	50
Vitrages isolants sous vide hybrides				
6/10Ar/6()4	0,5	35	26	40

(1) Valeur arrondie théorique calculée.
(2) Valeur arrondie théorique calculée de la masse de verre sur la base d'une masse volumique de 2.500 kg/m³ pour le verre.
(3) Notation utilisée : épaisseur du verre extérieur [mm] / cavité remplie de gaz [mm] / épaisseur du verre intérieur [mm].
(4) .2A = avec un film PVB acoustique double (polybutyral de vinyle).
(5) * = avec couche pyrolytique dure.
(6) Ar = cavité remplie avec de l'argon.
(7) # = avec couche thermoréfléchissante.
(8) () = cavité sous vide.
(9) : = avec film EVA (éthylène-acétate de vinyle).

Particularités et aspects importants

Le calage du vitrage isolant sous vide est soumis aux mêmes règles que les vitrages traditionnels. En fonction du produit utilisé pour le scellement, ce type de vitrage peut être posé en plein bain de mastic avec un mastic souple ou avec des parcloles et du mastic souple ou un profilé d'étanchéité. Des joints suffisamment larges et souples sont nécessaires (au moins 4 mm de chaque côté) pour compenser la déformation du verre due au gradient de température. En présence de vitrages de grandes dimensions, des feuilles de verre plus épaisses peuvent s'avérer

nécessaires pour assurer une résistance suffisante aux charges de vent.

Certains types de scellements (en céramique, par exemple) ne requièrent pas la ventilation et le drainage de la feuillure. Enfin, comme pour tout remplacement de vitrage, il importe de prévenir la condensation superficielle sur les parois extérieures non isolées et de ventiler suffisamment tous les espaces. 

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes 'Menuiserie et vitrerie' subsidiée par le SPF Économie et de la Guidance technologique C-Tech subsidiée par la Région de Bruxelles-Capitale (Innoviris).



Mesures sur site des performances thermiques réelles d'éléments de construction

Quelques techniques existent pour mesurer sur site les performances thermiques d'éléments de construction : le test *blower door* adapté, la thermographie infrarouge, la mesure de la valeur U ou encore de la performance thermique de l'enveloppe. Voici un rapide survol de ces techniques.

N. Heijmans, ir., chef de projet principal, laboratoire 'Caractéristiques énergétiques', Buildwise
M. Prignon, dr. ir., chef de projet, laboratoire 'Hygrothermie', Buildwise

Mesure de l'étanchéité à l'air

La 'méthode de pressurisation' décrite dans la norme NBN EN ISO 9972 est la seule mesure d'étanchéité à l'air couramment réalisée dans les bâtiments. Généralement appelée '**test blower door**', cette méthode permet de mesurer l'étanchéité d'un bâtiment dans son intégralité, mais pas celle d'éléments de construction spécifiques tels que les fenêtres, les portes ou les encastrement électriques.



1 Mesure *in situ* de l'étanchéité à l'air d'une fenêtre.

Or, vu la difficulté d'intervenir sur le bâtiment après la réalisation du test de pressurisation définitif, procéder à des essais intermédiaires sur les éléments de construction aiderait l'entrepreneur à **évaluer la qualité d'exécution de certains points critiques** en matière d'étanchéité à l'air (jonction entre une menuiserie et une paroi, par exemple) et à atteindre ainsi plus facilement le résultat requis dans le cahier des charges.

Dans ce contexte, il est possible de recourir à des méthodes directe ou indirecte :

- la **méthode directe** consiste à réaliser un caisson étanche pour isoler l'élément testé du reste du bâtiment. Ce caisson est ensuite pressurisé et dépressurisé à l'aide d'un ventilateur en suivant la même procédure que pour la pressurisation classique. Cette méthode permet une mesure relativement précise, mais ne peut être appliquée que dans des situations où le chemin de l'air est bien identifié
- pour la **méthode indirecte**, deux tests de pressurisation classique sont réalisés consécutivement. L'élément de construction testé est scellé entre les deux tests. L'étanchéité à l'air de l'élément scellé correspond à la différence des débits d'air mesurés. Cependant, cette méthode résulte en une grande incertitude et n'est utilisable que pour déterminer un ordre de grandeur.

Thermographie infrarouge

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, une thermographie infrarouge ⁽¹⁾ ne mesure pas les températures des surfaces, mais leur **rayonnement infrarouge**. Celui-ci

⁽¹⁾ La thermographie est décrite dans la norme NBN EN ISO 6781-1 et la compétence des opérateurs dans la norme NBN EN ISO 6781-3.

dépend non seulement de la température, mais également d'autres paramètres tels que :

- l'émissivité des surfaces (qui, elle-même, dépend de l'angle de vue)
- la réflexion d'ondes infrarouges par le matériau (le verre, par exemple)
- la distance de prise de vue
- la température de l'environnement.

La thermographie est un outil de visualisation très utile si elle est bien utilisée, mais l'interprétation des images thermiques est plus délicate qu'on ne le pense habituellement. Son intérêt principal réside dans sa capacité à **repérer des choses invisibles** : défauts d'isolation, nœuds constructifs, tuyaux de chauffage dans le sol ou les murs, ...

Le coût du matériel a considérablement chuté et on trouve des caméras adaptables sur smartphone.

Mesure de la valeur U

Mesurer la valeur U d'éléments de construction ⁽²⁾ peut s'avérer utile pour **caractériser des parois spécifiques**, notamment celles de bâtiments classés. Ce type de mesure est parfois effectué pour évaluer la performance d'un vitrage, mais il est à noter qu'elle ne donnera jamais le même résultat qu'un calcul effectué selon la norme NBN EN 673.

En théorie, il suffit de mesurer le flux de chaleur passant au travers de l'élément (en W/m^2) et de le diviser par la différence de température entre les deux faces de l'élément (en K) pour obtenir une valeur U (en $W/m^2.K$).

En pratique, c'est nettement plus complexe, car ce type de mesure ne peut être réalisé que dans des conditions particulières (voir l'article [Buildwise 2014/04.15](#)) et nécessite plusieurs journées. Pour un vitrage, cette durée peut être limitée à trois nuits.

Pour ce type de mesure, il existe des appareils spécifiques sur le marché.

Mesure de la performance thermique de l'enveloppe

Cette mesure, également appelée '**test de co-heating**', consiste à chauffer un bâtiment au moyen d'un système électrique dédié dont on connaît exactement la consommation (en Wh). En divisant cette consommation par la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (en K) et par la durée du test (en h), on obtient le coefficient de pertes de chaleur (en W/K).



2 Exemple de fluxmètre utilisé pour mesurer la valeur U d'une paroi.

En pratique, c'est évidemment plus complexe (voir l'article [Buildwise 2019/05.03](#)) :

- le bâtiment doit être inoccupé
- la mesure doit être effectuée en hiver
- un test de *co-heating* classique ⁽³⁾ dure environ 15 jours durant lesquels on s'efforce de maintenir une température constante dans le bâtiment
- la technique de mesure nécessite un matériel spécifique et une grande compétence de l'opérateur.

Les contraintes propres au test rendent son application difficile et limitent donc son utilisation. Pour pallier à ce problème, deux pistes opposées ont été suivies :

- réduire la durée du test en procédant à un test de *co-heating* dit dynamique, pendant lequel on fait varier la température intérieure selon un schéma prédéfini
- prévoir une durée de test plus long, mais avec la présence d'occupants, et déduire la performance du bâtiment grâce à des algorithmes mathématiques complexes.

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne Normes 'Isolation et installations thermiques du bâtiment' subsidiée par le SPF Économie et le Bureau de normalisation.

⁽²⁾ La mesure de la valeur U est décrite dans la norme ISO 9869-1.

⁽³⁾ Le test de *co-heating* classique est décrit dans les normes prEN 17887-1 et prEN 17887-2.



Un jumeau numérique du bâtiment : source d'opportunités ou pur gadget ?

Les *smart buildings* sont aujourd'hui une réalité et ils contribuent à la transition vers des bâtiments plus durables et plus agréables à vivre. Leur maintenance nécessite toutefois un certain professionnalisme. Les entreprises de construction ont un rôle clé à jouer à cet égard en élargissant leur champ d'activités vers l'entretien et la gestion des bâtiments intelligents. Le jumeau numérique et ses nombreuses possibilités peuvent y contribuer, à condition d'y voir un outil au service de ses équipes et non l'inverse.

V. Vanwelde, ir., cheffe de projet senior, laboratoire 'Solutions durables et circulaires', Buildwise

Qu'est-ce qu'un jumeau numérique du bâtiment ?

Appliqué au bâtiment, le jumeau numérique est une maquette digitale unique qui intègre :

- des **informations invariables** liées aux caractéristiques de l'ouvrage (résistance thermique des parois, puissance et rendement des appareils producteurs pour le chauffage ou la ventilation, ...)
- des **informations variables** issues de divers capteurs (température de départ et de retour des circuits de distribution de chaleur, détection de fuite, concentration en CO₂ dans les locaux, ...).

Grâce à ces informations, certaines opérations de gestion et de maintenance vont pouvoir être optimisées et automatisées.

Dans l'article [Buildwise 2019/03.06](#), il était question du BIM et de la façon dont il pouvait améliorer la gestion et la maintenance des bâtiments. De manière similaire, le jumeau numérique permet de **partager des informations** entre les différentes parties impliquées dans la gestion et l'utilisation d'un bâtiment, mais aussi d'**optimiser les processus internes** et d'**améliorer les collaborations**. Cependant, alors que la maquette BIM nécessite une mise à jour manuelle, le jumeau numérique intègre automatiquement et en temps réel les échanges d'informations et de commandes entre le bâtiment physique et sa copie virtuelle.

Les applications d'un jumeau numérique

L'offre d'outils relatifs aux jumeaux numériques des bâtiments connaît actuellement un véritable essor. Bien que

tous intègrent la **mise à jour automatique des informations depuis le bâtiment physique vers sa copie virtuelle**, les outils qui proposent l'inverse, à savoir une optimisation et une automatisation du fonctionnement du bâtiment physique, sont moins nombreux. Les solutions les plus avancées proposent néanmoins déjà une optimisation des processus en recourant à l'intelligence artificielle.

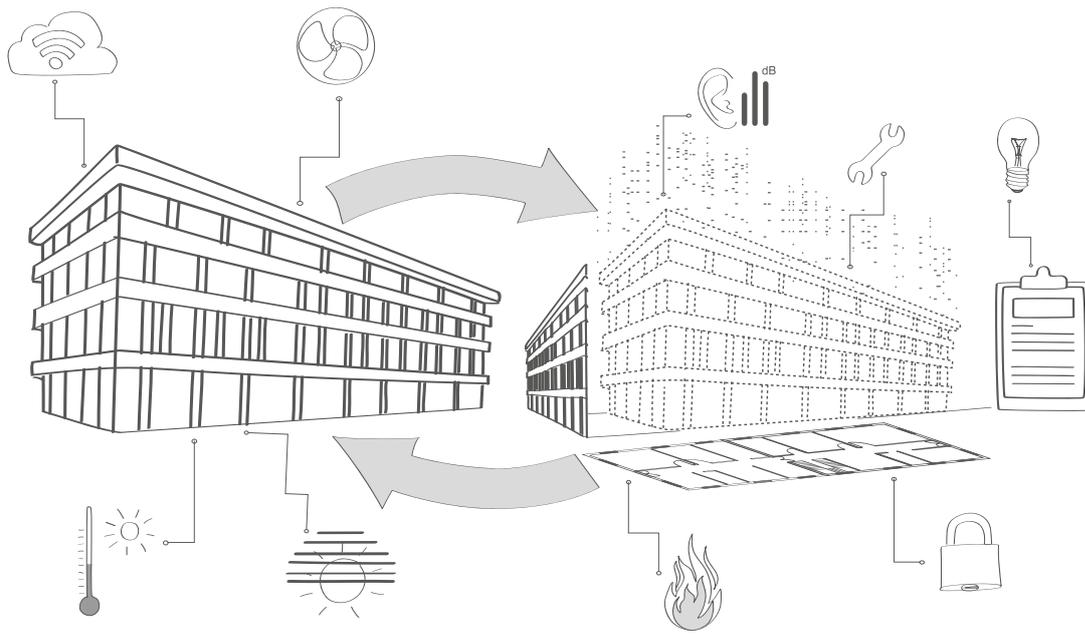
Les applications possibles peuvent être catégorisées en quatre grandes familles, en fonction du public principalement visé :

- les responsables de la maintenance du bâtiment (*maintenance management*)
- les propriétaires et gestionnaires du bâtiment (*property management*)
- les responsables des activités de support du bâtiment (*facility management*)
- les gestionnaires de grand patrimoine immobilier (*asset management*).

Maintenance des bâtiments

Pour faciliter la maintenance des bâtiments, un jumeau numérique permettra, par exemple :

- de **consulter la durée d'utilisation** de certains appareils
- d'**optimiser le fonctionnement** et de modifier les consignes des installations techniques (courbe de chauffe, débits de ventilation, ...)
- d'**être informé des pannes survenues** et de piloter certaines opérations dans l'attente d'une intervention
- de **visualiser en réalité augmentée** l'emplacement de techniques encastrées
- d'**anticiper certains événements** (maintenance prédictive)
- de **gérer les calendriers des interventions** et de générer des tickets de maintenance.



Gestion des bâtiments

Pour faciliter la gestion des bâtiments, un jumeau numérique permettra, par exemple :

- de **visualiser et d'optimiser les consommations énergétiques** des installations techniques
- de **gérer les commandes, les factures et le suivi** des entreprises chargées de l'entretien ou du gardiennage
- de **conserver l'ensemble des données et l'historique des matériaux** mis en œuvre dans le bâtiment (*digital building logbook*)
- de **produire les rapports d'essais réglementaires** pour l'éclairage de sécurité.

Mise en œuvre du jumeau numérique

Les possibilités s'avérant très nombreuses, il est indispensable de procéder à une autoanalyse de la situation, de définir les objectifs et de sélectionner un nombre limité d'applications avant de démarrer un projet de jumeau numérique. Pour garantir une implémentation et une utilisation effectives de l'outil, il importe de pouvoir répondre aux questions suivantes :

- quelles sont les parties intéressées ?
- quelles sont leurs attentes ?
- quelle est la meilleure manière d'y répondre ?

Lorsqu'il existe déjà un modèle BIM du bâtiment, la mise en œuvre du jumeau numérique s'avère bien plus facile et donc moins onéreuse. En outre, la prise en main de l'outil par l'entrepreneur chargé de la construction est également plus aisée, car il aura été impliqué dans la réalisation du modèle BIM lors de la phase de chantier. En revanche, l'absence d'un tel modèle ne doit pas constituer un frein. Il en va de même pour l'installation de capteurs dans le bâtiment

et l'intégration des données dans la maquette. Même s'il n'est jamais trop tard, les objectifs et les applications d'un jumeau numérique devraient toutefois être pensés et définis le plus tôt possible, idéalement dès la phase de conception.

Un outil au service de vos équipes

Le jumeau numérique peut apporter une aide précieuse, dans la mesure où il facilite la collaboration des différents intervenants amenés à travailler ensemble. Pour garantir cette bonne collaboration, **le choix de l'outil devra être posé de manière inclusive**, c'est-à-dire en tenant compte de la diversité des profils, mais aussi des besoins et des attentes de chacune des parties, tant au niveau des fonctionnalités du jumeau numérique que de sa convivialité et de son ergonomie, de la facilité de sa prise en main, ...

Si la réalisation d'un jumeau numérique peut s'avérer coûteuse, l'effort requis pour assurer sa mise à jour ne doit pas non plus être minimisé. Néanmoins, **cet investissement est à mettre en relation avec les équipes de travail**, qui en sont les premières bénéficiaires. En effet, si l'outil leur permet de travailler de manière plus efficace, l'investissement nécessaire à une utilisation à long terme sera d'autant plus vite rentabilisé.

Enfin, pour réussir son projet de jumeau numérique, il faudra avant tout penser celui-ci comme **un outil venant en aide aux parties impliquées** et non comme un équipement supplémentaire du bâtiment à ajouter à la longue liste des installations techniques déjà présentes et à gérer. 

Cet article a été rédigé dans le cadre de la Guidance technologique C-Tech subsidiée par Innoviris.



Outils 3D innovants pour mieux comprendre les détails constructifs

Les détails et les raccords doivent faire l'objet d'une attention particulière, afin d'éviter des problèmes de construction par la suite. La base de données 'Détails constructifs' de Buildwise est une source d'information précieuse pour les professionnels du secteur. Par ailleurs, les nouveaux outils de visualisation permettent de mieux comprendre ces détails constructifs.

A. Vazquez, arch., conseillère, division 'Construction Digitale', Buildwise

Une base de données sur les détails constructifs

La base de données de Buildwise compte plus de 400 détails constructifs. Une page est consacrée à chaque détail, elle contient **des illustrations 2D détaillées et des informations techniques**. Cependant, certains détails constructifs sont plus complexes et l'utilisation d'un texte et de dessins 2D ne suffit pas à expliquer le concept complètement. En effet, les dessins 2D ne montrent que des parties d'un détail constructif, ce qui peut prêter à confusion ou induire en erreur.

1 Visualisation d'un détail constructif dans le *viewer* web 3D.



Pour assurer la clarté des informations, certains détails techniques sont accompagnés d'**images ou d'animations 3D**. L'avantage des visualisations 3D est qu'elles fournissent une vue précise et réaliste des détails. Il est ainsi plus facile d'identifier les différentes parties et de comprendre la manière dont un détail est construit.

Buildwise s'engage en permanence à vous accompagner dans vos travaux quotidiens. C'est pourquoi nous avons étudié le potentiel de différents outils de visualisation des détails constructifs. Nous avons sélectionné **trois outils innovants** applicables aux détails constructifs pertinents :

- un *viewer* web 3D
- des vidéos d'animation
- un outil de réalité augmentée.

Explorez les détails constructifs avec le nouveau *viewer* web 3D

Notre site Internet dispose désormais d'un tout nouveau *viewer* 3D qui changera la manière d'observer les détails constructifs. Cet outil vous propose une expérience attrayante et interactive qui **combine le réalisme d'un rendu 3D et l'information détaillée d'un dessin 2D** (voir figure 1).

Prenons l'exemple du raccord entre un pied de mur et une baie de porte. Il s'agit d'un détail constructif complexe, en raison du nombre d'éléments et de raccords, qui nécessite notamment de prêter attention à la continuité de l'isolation et à l'étanchéité à l'air.

Grâce au *viewer* web 3D, vous pourrez facilement incliner et faire pivoter le détail constructif afin de l'étudier sous différents points de vue. Vous pourrez dézoomer pour avoir un aperçu intégral du détail constructif ou zoomer pour voir comment de petits éléments, tels que les membranes, sont appliqués.

2 Visualisation d'un détail constructif 3D dans le viewer à réalité augmentée.



La visualisation des différentes parties ne suffit pas pour bien comprendre un détail constructif. La **fonctionnalité de phasage** vous permet de suivre l'exécution de chaque élément étape par étape, de la fondation aux finitions intérieures. En outre, chaque étape est accompagnée d'une légende et d'éléments de construction.

Les vidéos d'animation donnent vie aux détails constructifs

Vous avez probablement déjà vu passer les vidéos sur les détails constructifs sur notre site Internet ou sur nos réseaux sociaux. Ces animations très détaillées ont été vivement saluées par le secteur, car elles proposent un **aperçu complet de l'exécution**. Ces vidéos permettent notamment de suivre toutes les étapes du processus. Afin d'augmenter le nombre de vidéos produites, Buildwise a cherché à rationaliser le processus.

Inspectez un détail constructif dans votre environnement

Vous souhaitez voir un détail constructif en taille réelle dans son environnement réel ? C'est désormais possible grâce à la **réalité augmentée**. La seule chose dont vous avez besoin est votre smartphone ou votre tablette. Comme la plupart des appareils connectés actuels prennent en charge cette fonctionnalité, cette technologie simple et accessible est à la portée de nombreux professionnels.

Un outil de réalité augmentée installé sur votre smartphone vous permet, en quelque sorte, de superposer un détail

constructif en 3D à la réalité et de l'inspecter comme s'il était devant vous (voir figure 2). Ensuite, vous pouvez interagir avec des parties spécifiques du détail en affichant les informations supplémentaires ou en filtrant les objets souhaités.

De nombreuses possibilités pour l'avenir

Actuellement, Buildwise se concentre sur l'évaluation de ces trois outils de visualisation. Cependant, nous nous sommes également penchés sur des **applications plus avancées des détails constructifs 3D** : intégration de différents types de métadonnées dans les modèles BIM, automatisation des tâches ou encore utilisation de la réalité virtuelle à des fins éducatives. Et il ne s'agit là que d'une poignée des possibilités futures prometteuses. 

Découvrez les outils et donnez-nous votre avis !

Vous souhaitez découvrir ces outils ? Scannez le code QR et testez-les. Votre avis nous tient à cœur. Nous vous serions donc très reconnaissants si vous pouviez prendre le temps de remplir le formulaire prévu à cet effet. Donnez-nous votre avis et **indiquez-nous les détails ou les fonctionnalités que vous aimeriez voir à l'avenir**. Votre contribution est essentielle pour nous aider à créer de meilleurs outils qui répondent aux besoins du secteur de la construction.





Réaction au feu des isolants des murs creux des bâtiments bas

La modification de l'arrêté royal 'Normes de base' de juillet 2022 impose deux exigences relatives à la réaction au feu des composants des façades. Ces exigences à caractère obligatoire auront un impact sur le choix des isolants. Concernant l'isolation thermique des murs creux traditionnels des bâtiments bas, nous pouvons conclure que tous les isolants présentant au moins une classe de réaction au feu E peuvent être appliqués, à condition que la maçonnerie de parement ait des joints fermés et une épaisseur d'au moins 65 mm.

J. Goovaerts, ing., conseiller principal, division 'Avis techniques et consultance', Buildwise

Exigences pour les façades des bâtiments bas

L'annexe 5/1 de l'arrêté royal 'Normes de base' reprend les exigences relatives à la réaction au feu des composants des façades. Ces exigences ont été étendues et renforcées à la suite de la modification de l'arrêté en juillet 2022. L'article Buildwise 2020/03.04 et le § 5 de l'Innovation Paper 37 contiennent de plus amples informations à ce sujet. Les exigences concernant les bâtiments bas figurent dans le tableau A et peuvent être résumées comme suit :

- instauration d'une classe de réaction au feu minimale

pour le **revêtement de façade dans ses conditions finales d'application** : l'ensemble 'mur extérieur-isolant' doit être conforme à la classe de réaction au feu imposée

- instauration d'une classe de réaction au feu minimale pour les **composants substantiels de la façade** : cette exigence concerne les éléments individuels de la façade, et donc l'isolant, mais ne s'applique pas à la maçonnerie.

Nous tenons à préciser que ces deux exigences sont obligatoires.

A

Exigences de réaction au feu pour les murs creux des bâtiments bas.

Composant	Type d'occupants	
	Non autonomes (type 1 - hôpitaux, p. ex.)	Autonomes et endormis (type 2 - immeubles d'appartements, p. ex.) ou autonomes et vigilants (type 3 - immeubles de bureaux, p. ex.)
Revêtement de façade dans ses conditions finales d'application (la maçonnerie de parement et l'isolant sont évalués comme une seule unité)	C-s3, d1	D-s3, d1
Composants substantiels de la façade (évaluation individuelle de l'isolant)	E	E

Comment répondre aux deux exigences ?

Une configuration est tout à fait conforme aux deux exigences si elle a passé avec succès un **essai de résistance au feu à grande échelle** (voir § 6.2 de l'annexe 5/1 de l'arrêté royal 'Normes de base'). Puisque cet essai n'est généralement pas effectué, il faudra se tourner vers les options décrites ci-après.

Revêtement de façade dans ses conditions finales d'application

Le revêtement de façade dans ses conditions finales d'application répond aux exigences en matière de réaction au feu dans les trois cas suivants :

- **le fabricant a prouvé au moyen d'un essai au feu** que l'ensemble 'mur extérieur-isolant' présente au moins une classe de réaction au feu C-s3, d1 ou D-s3, d1 selon la norme NBN EN 13501-1. Dans ce cas, le mur creux doit être conçu et réalisé selon les conditions du rapport d'essai et de classification qui peut être obtenu auprès du fabricant
- **le mur extérieur est doté d'une résistance au feu EI 15.** Dans ce cas, on peut supposer que la maçonnerie de parement protège suffisamment l'isolant. Par conséquent, seul le mur extérieur doit présenter au moins une classe C-s3, d1 ou D-s3, d1. Étant donné que la maçonnerie en terre cuite peut être considérée comme incombustible selon la **Décision 96/603/CE**, l'exigence de réaction au feu est automatiquement respectée. Par ailleurs, des essais récents montrent que la maçonnerie de parement à joints fermés d'une épaisseur d'au moins 65 mm est dotée d'une résistance au feu EI 15. En ce qui concerne la maçonnerie de parement collée à joints verticaux ouverts de plus de 2 mm de large, cette caractéristique n'est pas garantie tant que l'on ne dispose pas d'un rapport d'essai et de classification spécifique
- le tableau C de l'**article Buildwise 2020/03.04**, qui a été validé par le Conseil supérieur de la sécurité contre l'incendie et l'explosion, est utilisé. L'exigence en matière de résistance au feu est respectée si **l'isolation thermique répond au moins aux critères de la classe C-s3, d1 ou D-s3, d1 et si le revêtement de façade est incombustible** (c'est-à-dire qu'il appartient au moins à la classe A2-s3, d0). Comme indiqué précédemment, la maçonnerie en terre cuite peut être considérée comme incombustible.

Composants substantiels de la façade

En ce qui concerne l'isolation thermique, l'isolant présente au moins une classe de réaction au feu E si **le fabricant l'a démontré par un essai au feu selon la norme NBN EN 13501-1 et s'il a communiqué cette information.**

Si le pourtour de l'isolant est protégé par des matériaux dotés d'une **résistance au feu EI 15** ou d'une **capacité de résistance contre l'incendie K₂10**, cette exigence de réaction au feu ne s'applique pas.

Quel type d'isolant utiliser dans la pratique ?

Les tableaux B et C indiquent quel isolant utiliser pour les murs creux traditionnels des bâtiments bas pour répondre aux deux exigences en fonction de la classe de réaction au feu de l'isolant et du type de maçonnerie de parement. ➡

- B** Cas d'une maçonnerie de parement dotée d'une résistance au feu EI 15 (maçonnerie de parement à joints fermés d'une épaisseur d'au moins 65 mm, par exemple).

Classe de réaction au feu de l'isolant seul	Répond aux deux exigences de réaction au feu ?
A-E	Oui
F	Non, sauf si le pourtour de l'isolant est protégé par des éléments EI 15 ou K ₂ 10

- C** Cas d'une maçonnerie de parement dont la résistance au feu EI 15 n'a pas été démontrée (maçonnerie de parement collée à joints verticaux ouverts de plus de 2 mm de large n'ayant pas fait l'objet d'un rapport d'essai et de classification spécifique, par exemple).

Classe de réaction au feu de l'isolant seul	Répond aux deux exigences de réaction au feu ?
A-C	Oui
D	<ul style="list-style-type: none">• Oui, pour un bâtiment avec des occupants de type 2 ou 3• Non, pour un bâtiment avec des occupants de type 1, sauf si le fabricant a démontré que l'ensemble 'mur extérieur-isolant' présente au moins une classe de réaction au feu C-s3, d1
E	Non, sauf si le fabricant a démontré que l'ensemble 'mur extérieur-isolant' présente au moins une classe de réaction au feu C-s3, d1 ou D-s3, d1
F	Non

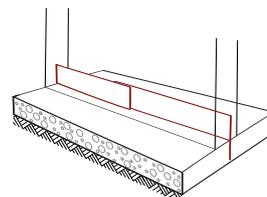


FAQ

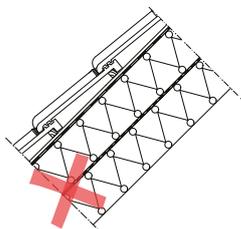
Les trois questions-réponses les plus consultées sur le thème de l'enveloppe

Les tôles métalliques entre une dalle et un voile en béton (contre terre) doivent-elles être soudées ?

Non, pas nécessairement. La continuité des tôles d'acier peut être assurée par soudage, par fixation mécanique, par collage ou au moyen d'un recouvrement. Le soudage des tôles offre néanmoins les meilleures garanties.



Dans une toiture à versants, peut-on emprisonner un pare-vapeur entre deux couches d'isolation thermique ?



En principe, non. Les couches imperméables à la vapeur d'une toiture à versants doivent se situer du côté chaud de l'isolant. On peut cependant déroger à cette règle si la résistance thermique de la couche d'isolation supérieure est plus importante que celle de la couche inférieure. En pratique, le rapport entre ces deux résistances thermiques doit être de 1,5 minimum.

Est-il nécessaire d'entretenir une toiture plate ?

Oui. Toute toiture doit faire l'objet d'un entretien régulier, effectué à l'initiative du propriétaire. En principe, cet entretien a lieu deux fois par an : après l'hiver et après la chute des feuilles. Il comprend notamment l'élimination des feuilles mortes, des déchets et de la végétation, ainsi que l'inspection générale de l'étanchéité et la réparation éventuelle de celle-ci et de ses raccords.



Pour en savoir plus et découvrir des **FAQ** similaires relatives à votre activité.



Nouvelles de nos partenaires

Embuild est une association professionnelle d'entrepreneurs et un partenaire privilégié de Buildwise. Elle offre des services complémentaires dont vous trouverez un aperçu ci-dessous.

Embuild soutient toutes les entreprises de la construction

Un entrepreneur membre d'Embuild - l'ex-Confédération Construction - peut dormir sur ses deux oreilles. Il ne trouvera pas de meilleur partenaire pour :

- Être conseillé
- Être informé
- Être soutenu
- Voir ses intérêts défendus
- Réseauter
- Promouvoir son entreprise auprès du grand public entre autres via buildyourhome.be

Devenez membre sur embuild.be/fr/devenir-membre



Embuild

THE BELGIAN CONSTRUCTION
ASSOCIATION



Focus

sur l'utilisation des caméras 360° sur chantier

Une technologie bon marché et facile d'utilisation pour suivre et inspecter vos chantiers



L'entreprise TST BAT est une entreprise familiale basée à Bruxelles. Elle compte environ 25 collaborateurs et s'est spécialisée dans les travaux de rénovation et d'aménagement des bâtiments. Depuis peu, elle a fait le pari des nouvelles technologies pour suivre l'évolution de ses chantiers. Olivier Van Landeghem, Project Manager, nous livre un témoignage inspirant sur l'utilisation des caméras à 360° sur chantier :

« La technologie des caméras 360° ne comporte que des avantages. C'est **bon marché** et **très facile d'utilisation** puisqu'il suffit de fixer une caméra sur un casque et de se promener sur le chantier. En appuyant sur un bouton de votre smartphone, vous téléchargez automatiquement les photos sur une plateforme qui vous permet de les consulter et de vous déplacer sur le chantier. Cette technologie nous procure un **énorme gain de temps** : elle nous permet notamment d'inspecter certains éléments sans devoir retourner sur chantier. De plus, elle **améliore grandement la coordination** avec nos sous-traitants ainsi que les échanges avec les architectes ou les clients. C'est un outil que beaucoup d'entrepreneurs devraient utiliser ».

Vous souhaitez voir en image comment cela fonctionne ?
Scanner le code QR pour visionner la vidéo.



Découvrez et testez !

Comme l'entreprise TST BAT, vous souhaitez optimiser votre fonctionnement sur ou en dehors du chantier ? Prenez contact avec l'un de nos experts en remplissant l'un des formulaires de demande d'information sur la page 'Discover & test' de notre site Internet. Vous aurez la possibilité de découvrir et de tester de nombreuses technologies au sein de nos Experience Centers de Zaventem et de Limelette. C'est gratuit et cela peut vous rapporter gros !

Vous êtes une PME wallonne ?

Dans ce cas, vous pouvez bénéficier d'une aide substantielle (jusqu'à 90 %) pour certains investissements liés aux technologies numériques. Pour plus de renseignements, consultez la page www.digitalwallonie.be/business.



Focus

sur la campagne
pour les couvreurs et étancheurs

Entrepreneurs, Buildwise est là pour vous !

Les problèmes d'humidité les plus courants en toiture et comment y remédier



- Des conseils fournis par des experts en construction
- Exclusivement pour les couvreurs et étancheurs
- Pour prévenir et résoudre les problèmes d'humidité



Comme annoncé dans l'édito de ce magazine, **les couvreurs et les étancheurs** font actuellement l'objet d'une campagne de communication axée sur leur métier. L'objectif est d'**augmenter la visibilité des services** qui peuvent vous être utiles au quotidien, mais aussi de **personnaliser davantage les informations que nous communiquons**. Plus de pertinence donc pour plus d'impact sur votre vie de tous les jours.

Grâce à vos retours du terrain, nous avons rassemblé dans un guide numérique les **principaux problèmes d'humidité auxquels vous êtes confrontés chaque jour**. Nous vous apportons des solutions pour l'ensemble de ces problèmes, qui vont des infiltrations aux phénomènes de condensation, et vous renvoyons à de nombreuses sources d'information utiles.

Buildwise Zaventem

Siège social et bureaux
Kleine Kloosterstraat 23
B-1932 Zaventem
Tél. 02/716 42 11

E-mail : info@buildwise.be

Site Internet : buildwise.be

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

Buildwise Limelette

Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette
Tél. 02/655 77 11

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

Buildwise Brussels

Rue Dieudonné Lefèvre 17
B-1020 Bruxelles
Tél. 02/233 81 00

Colophon

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

Éditeur responsable : Olivier Vandooren, Buildwise,
Kleine Kloosterstraat 23, B-1932 Zaventem

Revue d'information générale visant à faire connaître les résultats des études et des 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.

Révision linguistique : M. Brixhe, J. D'Heygere, M. Lejeune et A. Ntumnu
Traduction : J. D'Heygere et A. Ntumnu
Mise en page : J. Beauclercq et J. D'Heygere
Illustrations : G. Depret et R. Hermans
Photos de Buildwise : D. Rousseau, M. Sohie et al.

Également intéressés par les éditions 'Finitions' ou 'Installations techniques' ?

Édition 'Finitions'

Publiée en juin et en décembre, elle sera exclusivement envoyée aux :

- parqueteurs et carreleurs
- peintres et poseurs de revêtements souples
- entreprises de pierre naturelle
- plafonneurs et enduiseurs

Les entreprises générales et les menuisiers recevront cette édition également.



Édition 'Installations techniques'

Publiée en août, elle sera exclusivement envoyée aux :

- entreprises de chauffage, de climatisation et de ventilation
- sanitaristes

Les entreprises générales recevront cette édition également.

