



**cstc.be**  
Recherche • Développe • Informe

# Contact

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

2016/2



**Crochets pour  
murs creux**  
p8-9

**Façades  
végétalisées**  
p12-13

**Mesures  
de teinte**  
p20-21

**Gouttières  
pendantes**  
p28-29

Source : Van Vlierden Groenbedrijf

# Sommaire

2016/2

Le Google de la **construction durable** est en ligne ! ..... 3



**Encastrement occasionnel** durant la pose des **hourdis** ..... 4



Outil d'évaluation de l'**applicabilité** de la **géothermie peu profonde** ..... 6



**Crochets** pour mur creux ..... 8



**Actions du vent** sur les toitures plates ..... 10



Des **façades végétalisées** pour des bâtiments et des villes durables ..... 12



**Coulures** sur les menuiseries et les vitrages en façade ... 14



**Nettoyage enzymatique** des éléments de construction encrassés par des agents biologiques ..... 16

Pleins feux + FAQ ..... 18



Les **mesures de teinte** pour faciliter la réception des **pierres naturelles** ..... 20



Les systèmes innovants de **chauffage par le sol** ..... 22



Evaluation critique des performances de la **stabilité dimensionnelle** des **revêtements de sol résilients** ..... 24



Influence du **lubrifiant** pour la pose des systèmes de cheminée concentriques ..... 26



Capacité d'évacuation des **gouttières pendantes** ..... 28



Mesure de l'**étanchéité à l'air** dans le cadre de la PEB : comment traiter les **dispositifs de ventilation** ? ..... 30



**Nouvelles méthodes de construction en bois** : premiers résultats acoustiques *in situ* ..... 32



L'**analyse des risques** d'un projet ..... 34



# Le Google de la construction durable est en ligne !

Ce nouveau site portail ambitionne de rassembler l'information disponible en matière de construction durable et de la mettre **à la disposition de tous les professionnels du secteur**, qu'ils soient entrepreneurs, concepteurs, ingénieurs de bureaux d'étude, négociants en matériaux... Le portail n'a donc pas pour mission première de générer de l'information, mais bien de faciliter l'accès à cette dernière en proposant un outil de recherche conçu sur mesure pour tenir compte des spécificités du public cible. Bien plus qu'un simple répertoire de liens, ce portail renvoie de manière 'pénétrante' au contenu des sites sources.

Fruit d'une collaboration entre le CSTC, Bruxelles Environnement, le Service public de Wallonie et la Confédération Construction, cet **outil simple, rapide et intuitif** réunit différents types d'informations relatives à la rénovation et à la construction de bâtiments durables : contenus techniques, veille technologique, mais aussi aides aux entreprises, réglementations, agenda de formations et d'événements...

Tout a été pensé pour **centraliser et faciliter l'accès à l'information**. Ainsi, plusieurs types de recherches sont possibles en fonction des besoins de l'utilisateur :

- par métier (entreprises de construction, architectes et bureaux d'étude, promoteurs immobiliers...)
- par thématique (gestion de projet, mobilité, matière, énergie, eau...)
- par type d'information (informations techniques, réglementations, exemples durables...).

Le contenu de ce portail est sélectionné par un panel de représentants du secteur, garantissant une **information ciblée et pertinente**.

Enfin, cet outil se veut **évolutif et participatif**. N'hésitez donc pas à vous inscrire et à proposer, à votre tour, du contenu !

Le Portail Construction Durable, pour penser et construire les bâtiments de demain !





Les éléments de plancher creux ou hourdis ont pour but de faire fonction d'éléments isostatiques, afin de permettre une rotation libre au droit du point d'appui. Pour ce faire, les hourdis doivent être posés librement (sur des consoles de poutre ou des parois). Toutefois, lorsque les murs porteurs du plancher supérieur s'appuient sur les extrémités des éléments de plancher, on voit apparaître des moments d'encastrement potentiellement importants en fonction des charges verticales (voir la NIT 223, § 7.7.4). Si la rotation des hourdis au droit du point d'appui est fortement empêchée par la liaison d'appui, une fissuration peut se créer à l'extrémité des hourdis, ce qui amoindrit la résistance aux efforts tranchants. Cet article traite des mesures pouvant être adoptées en vue d'éviter ce problème.

## Encastremets occasionnels durant la pose des hourdis

### Quelles situations ne nécessitent pas de mesures supplémentaires ?

Nous savons par expérience que, dans certaines situations, les éléments de plancher creux sont suffisamment solides que pour supporter les efforts résultant de moments d'encastrement occasionnels limités. Ainsi, les habitations unifamiliales traditionnelles ne sont pas supposées nécessiter de mesures supplémentaires, pour autant qu'aucune couche de compression ni armature supplémentaire ne puisse engendrer un encastrement.

L'armature de liaison entre les hourdis au droit du point d'appui — qui peut notamment être prévue lorsque le plancher joue également un rôle vis-à-vis de la stabilité horizontale — doit être placée au maximum à mi-hauteur,

afin d'éviter l'apparition indésirable de fissures (voir figure 1).

### Mesures constructives

Certaines mesures constructives peuvent être adoptées pour d'autres applications, afin de réduire l'encastrement occasionnel ou de faire en sorte qu'une éventuelle fissuration ait lieu dans une zone où elle n'entraînera pas de situations dangereuses. Ces mesures ne sont en vigueur qu'en l'absence d'une couche de compression et lorsque l'armature de liaison éventuelle est posée au maximum à mi-hauteur.

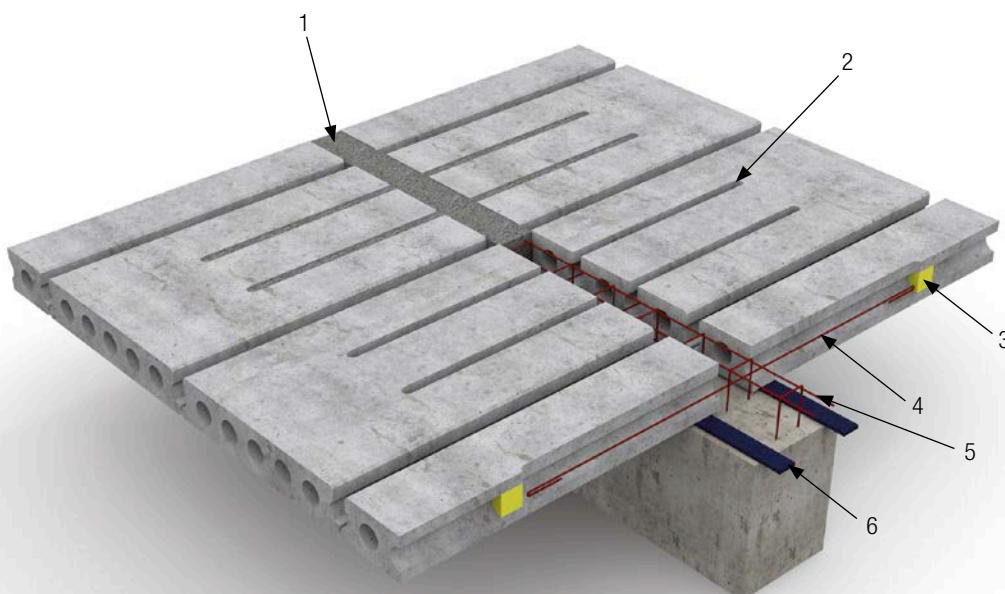
Les mesures constructives peuvent consister à **utiliser des hourdis aux extrémités biseautées** (voir figure 2). Les éventuelles fissures apparaissent dès lors entre le pan biseauté et le béton

de remplissage et se propagent jusque dans la zone d'appui. Le pan biseauté du côté supérieur du hourdis doit à peine dépasser de la zone d'appui. Un biseau-tage ou une réduction excessifs du béton peuvent affaiblir la résistance aux efforts tranchants. Il est également possible d'**ôter la couche supérieure des hourdis au droit du point d'appui** (voir figure 3).

La solution de base pour les hourdis simples consiste à **poser des garnitures d'étanchéité de sorte que le béton reste dans la zone d'appui** (voir figure 4). L'éventuelle fissuration se produira ainsi dans la zone jouxtant cette dernière. Il est dès lors très important de positionner les garnitures d'étanchéité avec précision.

En principe, **le joint entre l'élément de plancher et la paroi supérieure devrait également pouvoir être réalisé au moyen d'un matériau souple** (PUR, XPS, EPS...) (voir figure 5). La charge de la paroi supérieure peut ainsi être transmise sans charger le hourdis. Il va donc de soi que la paroi supérieure et le joint de mortier séparant cette dernière du hourdis doivent être correctement dimensionnés. Cette approche est cependant peu appliquée. Ceci s'explique, d'une part, par le fait que les zones de transmission de charges qui

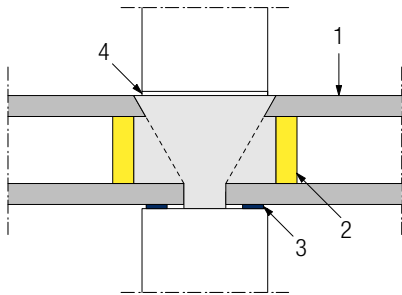
1 | L'armature de liaison doit être placée au maximum à mi-hauteur.



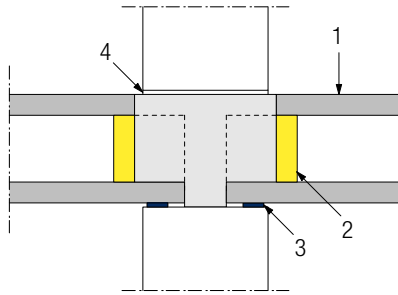
1. Béton de remplissage
2. Canaux ouverts
3. Rebouchage des joints
4. Armature de liaison
5. Armature de chaînage
6. Appui en néoprène



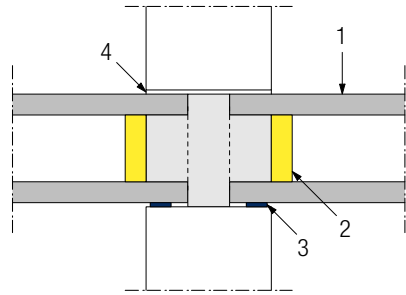
2 | Utilisation de hourdis aux extrémités biseautées (\*)



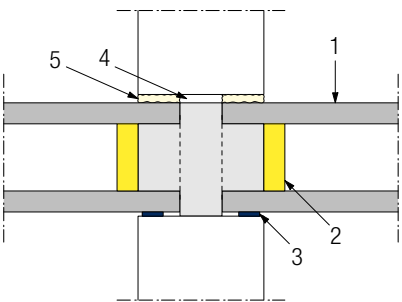
3 | Suppression de la couche supérieure du hourdis au droit du point d'appui (\*)



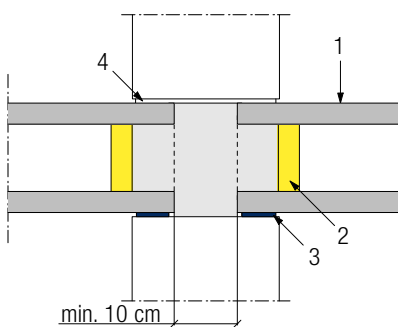
4 | Pose de garnitures d'étanchéité de sorte que le béton reste dans la zone d'appui (\*)



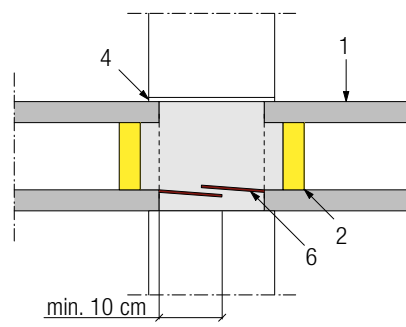
5 | Mise en œuvre du joint au moyen d'un matériau souple (\*)



6 | Élargissement de la zone de remplissage d'au moins 10 cm (\*)



7 | Mise en œuvre d'une armature dépassante (\*)



1. Élément de plancher (hourdis)  
2. Garniture d'étanchéité

3. Appui (mortier ou néoprène, p. ex.)  
4. Joint de mortier

5. Matériau souple (PUR, XPS, EPS...)  
6. Armature dépassante

en résultent sont très fines et, d'autre part, par le fait que sa mise en œuvre est fastidieuse et difficile à contrôler.

Afin de transmettre la charge de la paroi supérieure sans charger le hourdis de manière excessive, il est possible d'**élargir la zone de remplissage entre les extrémités des hourdis d'au moins 10 cm** (voir figure 6). Le mur porteur doit toutefois être suffisamment large. **Les hourdis peuvent être éventuellement munis d'une armature dépassante** (voir figure 7), afin que la zone de remplissage ait la largeur souhaitée. Puisque ceci peut avoir un effet sur la résistance aux efforts tranchants (voir l'annexe H de la norme NBN B 21-605), il convient d'en tenir compte lors du dimensionnement de l'élément de plancher.

Les mesures constructives précitées

sont également applicables aux hourdis ne reposant que sur un côté de la paroi.

### Prise en compte de l'encastrement

Dans tous les autres cas, l'encastrement doit être repris par l'armature (dans la couche de compression, dans les joints ou dans les canaux ouverts, par exemple). Pour de plus amples informations concernant le dimensionnement de cette armature, nous renvoyons le lecteur intéressé à l'annexe informative E de la norme NBN EN 1168 et au Bulletin 43 de la FIB (Fédération internationale du béton).

Si des éléments de plancher ne s'appuient que sur un seul côté de la paroi, l'armature doit être correctement ancrée dans une poutre de ceinture. Cette solu-

tion nécessite également que l'on prête suffisamment attention aux contraintes générées dans cette poutre. Le moment d'encastrement est en effet transmis dans cette dernière et fonctionne comme un moment de torsion, qui doit ensuite pouvoir être transmis à la structure sous-jacente.

Si des éléments de plancher s'appuient sur deux côtés de la paroi, l'armature peut se prolonger au-delà de celle-ci. Il convient néanmoins d'effectuer dans tous les cas des calculs de contrôle, afin de déterminer l'approche adéquate. ■

*J. Wijnants, ing., et B. Parmentier, ir.,  
chefs des divisions Avis techniques  
et Structures, CSTC*

*Cet article a été rédigé en collaboration  
avec la FEBE et SECO.*

(\*) Ces figures doivent être considérées comme des schémas de principe relatifs à la stabilité (armatures de liaison non dessinées). Ils ne tiennent pas compte d'autres exigences performancielles telles que l'isolation acoustique. La profondeur d'appui minimale des hourdis doit être déterminée suivant l'Eurocode 2 (sauf pour la figure 7).



Chaque année, on construit en Belgique quelque 1.500 bâtiments, dont 1.000 logements, équipés d'une installation géothermique à des fins de chauffage et de refroidissement (voir Les Dossiers du CSTC 2013/3.2). Ces installations doivent être conçues avec toute l'attention nécessaire, de sorte que le sol puisse répondre aux besoins thermiques du bâtiment à plus long terme également. Afin d'estimer la faisabilité d'une installation géothermique à un stade anticipé du projet, un outil d'évaluation a été développé dans le cadre du projet Smart Geotherm. Cet article traite brièvement des systèmes géothermiques pour lesquels cet outil peut être appliqué ainsi que des deux volets qui sont à la base de sa conception.

# Outil d'évaluation de l'applicabilité de la géothermie peu profonde

## Systèmes géothermiques

Pour les **systèmes géothermiques verticaux fermés**, dont le fonctionnement est basé sur un ensemble de boucles verticales, la conductivité thermique du sous-sol est essentielle. Ainsi, un sol sablonneux saturé d'eau présente une conductivité thermique supérieure à celle d'un sol argileux et nécessite dès lors des boucles moins longues pour répondre à une demande similaire en énergie. Les systèmes fermés peuvent en principe être appliqués quel que soit l'emplacement et le type de bâtiment.

En ce qui concerne les **systèmes géothermiques ouverts**, basés sur le pompage et la réinjection de l'eau souterraine, il convient de tenir compte des caractéristiques hydrauliques des couches du sol, telles que la per-

méabilité à l'eau. La perméabilité et l'épaisseur d'une couche géologique déterminent en effet le débit d'eau souterraine pouvant être pompé et réinjecté, ce qui conditionne les capacités thermiques maximales. Etant donné que la perméabilité du sol peut afficher d'importantes variations – même au sein d'une même nappe phréatique –, l'outil développé ne permet, à l'heure actuelle, que de fournir les valeurs minimale et maximale de la perméabilité d'une couche de sol.

Les systèmes ouverts sont principalement mis en œuvre pour des projets de taille importante caractérisés par des besoins de refroidissement considérables et dans des régions renfermant des nappes phréatiques (sols sablonneux ou roches fragmentées, par exemple).

## Deux volets : le sous-sol et le bâtiment

Le premier volet de l'outil permet de prendre facilement connaissance de la composition du sous-sol de n'importe quel site en **Flandre** et des caractéristiques nécessaires pour les systèmes ouverts et fermés. Il est basé sur les modèles (hygro)géologiques de Flandre, disponibles dans la *Databank Ondergrond Vlaanderen* (DOV), la base de données du sous-sol flamand. L'outil reprend également la réglementation environnementale en vigueur pour le site concerné, en fonction de la profondeur de forage (systèmes fermés) ou des débits de pompage (systèmes ouverts). Il est ainsi possible d'obtenir rapidement une bonne indication des caractéristiques géothermiques du sous-sol, ce qui représente un gain de

## TRT et essai de pompage

Le **test de réponse thermique (TRT)** effectué sur une boucle de sous-sol fermée permet de déterminer la conductivité thermique moyenne du sous-sol sur la profondeur du forage. Cet essai consiste à injecter de la chaleur dans le sol via la boucle et à observer l'évolution de la température à l'entrée et à la sortie de la boucle. Plus la température augmente rapidement, moins le sol conduit la chaleur. La résistance du trou de forage peut également être déduite à partir de cet essai. Les TRT sont souvent effectués dans le cas de grands projets, afin d'optimiser la quantité de forages.

L'**essai de pompage** effectué sur un puisard (forage avec filtre) permet de définir les paramètres hydrauliques du sol au niveau de la nappe phréatique (perméabilité, coefficient de renflouage...) en pompant l'eau du sous-sol à un débit constant. On observe, à une certaine distance du puisard, le niveau de la nappe phréatique dans des filtres de niveau, ce qui permet de déduire les paramètres hydrauliques. Etant donné que les essais de pompage sont relativement coûteux, ceux-ci sont réservés aux grands projets.

**Geothermische Screeningstool**

**Gesloten verticale systemen**

**Huidige locatie**

Coördinaten : 632108  
Lambert 2008 : 664571  
Gelegen nabij : Zijstraat 16, 1755 Gook  
(Bron: AGV)

Beschermingszone : Niet van toepassing

**VLAREM Rubriek 55.1**

Tabel enkel geldig voor boringen voor thermische energieopslag

Diepte Boring	Verstelen
0 m - 2,5 m	met stijfheid*
2,5 m - 150,0 m	met stijfheid*
> 150,0 m	Klasse 2 - rubriek

\* niet-verpunningsschichtig en niet-middelschichtig door de exploitant/bouwer

**Warmtegeleidbaarheid**  
(Theoretische Afbegrenzing)

diepte	λ min (W/mK)	λ gem (W/mK)
Tot 100m	1,4	1,7
Tot vaste rots	1,4	1,7
Tot dieptecriterium	1,6	1,9
Tot gekarteerde diepte	2,0	2,1

geeft diepte in

**Hydrogeologie - HCOV** (Toon geologie)

HCOV-data aangeleverd door VMM				Interpretatie WTCEB	
Naam HCOV-eenheid	dikte (m)	diepte (m)	type	λ min (W/mK)	λ gem (W/mK)
Deklagen (leem)	3,4	3,4		1,5	1,9
Ieperlaan Aquifer	20,7	24,1		1,8	2,1
Silt van Kortemark	3,2	27,3		1,6	1,9
Ieperlaan Aquifersysteem	76,9	104,2		1,2	1,5
Landelaan Aquifersysteem	10,1	114,3		1,8	2,1
Sokkel	185,7	300,0		2,4	2,4

De geologische opbouw wordt weergegeven tot een maximale diepte van 300m. Deze opbouw is een interpretatie van onvolledige data. Alle gegevens dienen steeds te worden bevestigd door verder onderzoek.

Terug Start screening boorveld Exporteer PDF Hulp nodig ?

Capture d'écran de la version en néerlandais de l'outil de calcul

## Un outil d'évaluation de l'applicabilité a été développé afin d'évaluer la faisabilité technique des installations géothermiques.

temps et de moyens durant la phase d'avant-projet. Evidemment, l'outil ne remplace aucunement le test de réponse thermique (TRT), un essai de pompage ou des forages de prospection (voir encadré à la page précédente).

L'outil comporte également les informations relatives au sous-sol de la **Région de Bruxelles-Capitale**. Le tout récent projet EFRO 'BruGeoThermap' a pour objectif de détailler davantage les cartes géothermiques de Bruxelles. Les résultats sont attendus au cours des prochaines années.

Quant à la géologie plus complexe de la **Wallonie**, il n'existe pas encore de modèles numériques tridimensionnels, ce qui complique l'intégration de données relatives au sous-sol dans un outil en ligne. Le concepteur est dès lors contraint d'estimer lui-même la composition du sous-sol sur la base des informations disponibles. Le site Internet du Service géologique de Wallonie ([geologie.wallonie.be](http://geologie.wallonie.be)) donne par exemple accès à des cartes (hydro)géologiques de la Wallonie, à des coupes transversales et à des cartes thématiques du sol, ce qui permet de consulter

les résultats des forages et des sondages disponibles. Sur la base de ces informations et des données issues de la littérature, il est possible d'évaluer la conductivité thermique du sous-sol sur une profondeur déterminée ou de vérifier la présence de nappes phréatiques.

Les législations bruxelloise et wallonne en matière de géothermie ne sont pas encore disponibles via l'outil.

Le second volet permet de calculer, pour les systèmes géothermiques fermés, les dimensions d'un champ de forage à l'aide des données précitées. Si l'utilisateur a procédé lui-même à l'évaluation de la conductivité thermique en se basant sur les informations disponibles, grâce à un essai TRT ou à un forage, par exemple, il peut directement se diriger vers ce volet de l'outil afin d'introduire manuellement la profondeur de forage et la conductivité thermique. Pour de plus amples informations à ce sujet, nous renvoyons le lecteur intéressé à la version intégrale de cet article.

Afin de déterminer la profondeur de forage totale requise, il convient d'introduire d'autres données dans l'outil,

notamment les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment, les besoins d'eau chaude sanitaire ainsi que la capacité et le rendement de la pompe à chaleur.

Ce volet propose en outre diverses solutions concernant les distances séparant les forages et la configuration de ces derniers. Lorsque l'utilisateur a opté pour une solution, il peut télécharger un rapport au format PDF comprenant toutes les informations pertinentes. La valeur de ce rapport dépend fortement de la fiabilité des paramètres introduits par l'utilisateur. L'outil contient dès lors un certain nombre de cadres comportant des informations supplémentaires.

Il convient de souligner que ce volet permet uniquement de déterminer si la mise en œuvre d'une installation géothermique fermée est réalisable d'un point de vue technique. L'outil ne peut donc jamais être utilisé comme outil de conception final. Il faut pour cela recourir à des logiciels plus sophistiqués.

### Perspectives

L'outil n'est actuellement disponible qu'en néerlandais. Une version en français sera toutefois également conçue. Par ailleurs, afin d'accroître la fonctionnalité de l'outil, un module est en cours de développement et devrait permettre à l'utilisateur d'évaluer correctement les besoins en chauffage et en refroidissement du bâtiment. Il est également prévu d'améliorer la partie consacrée aux systèmes géothermiques ouverts. L'objectif principal est de pouvoir indiquer, compte tenu des besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment, si l'emplacement du projet est adapté ou non à un système ouvert. Pour les appareils de plus grande capacité (> 10 kW) et pour les bâtiments avec des besoins de refroidissement considérables, un système ouvert peut être une solution très rentable. A l'avenir, l'outil sera encore amélioré afin de pouvoir comparer d'un point de vue économique et écologique une solution géothermique avec des installations plus classiques. |

*L. François et G. Van Lysebetten, ir.,  
chefs de projet, laboratoire  
Géotechnique et monitoring, CSTC*

# Crochets pour mur creux

Lors de la conception d'un mur creux, de la sélection des matériaux et de leur mise en œuvre, il convient d'accorder une attention particulière aux crochets, aussi appelés 'attaches'. En complément de l'article 'Impact de la PEB sur les maçonneries' (voir Les Dossiers du CSTC 2011/4.5), le CSTC a mené une étude relative aux crochets et à leur comportement mécanique en particulier (\*).

Rappelons tout d'abord que, à notre avis, l'usage de crochets combinés à des chevilles fixées à travers l'isolant présente l'avantage de ne pas risquer d'endommager les panneaux d'isolation rigides lors de leur pose.

Par ailleurs, certains crochets disponibles sur le marché belge sont pourvus d'une couche de galvanisation de l'ordre de 60 g/m<sup>2</sup>, soit une épaisseur de 8,5 µm, ce qui correspond au matériau portant la référence n° 20 dans la norme NBN EN 845-1. Or, ce type d'attache n'est pas recommandé pour un usage extérieur (classes d'exposition MX2 à MX5) selon l'Eurocode 6, lequel préconise une galvanisation minimale de 710 g/m<sup>2</sup>, soit une épaisseur de 100 µm (matériaux portant les références n° 8, 9 ou 10) pour un environnement extérieur (classes d'exposition MX2 et MX3, en dehors d'un environnement 'salin' (MX4) ou chimique agressif (MX5)). Les crochets caractérisés par une épaisseur de galvanisation inférieure ne peuvent être utilisés dans ces conditions que moyennant la garantie explicite du fabricant et une couche de galvanisation jamais inférieure à 105 g/m<sup>2</sup>, soit une épaisseur de 15 µm.

Bien qu'elle ne soit pas exhaustive, l'étude expérimentale visant les performances mécaniques a confirmé le risque de flambage des crochets d'usage courant. Le phénomène se marque pour des creux de largeur importante (± 210 mm) avec des valeurs en compression sensiblement inférieures à la résistance à la traction.



Crochets pour mur creux incorporés dans la couche de mortier de la paroi portante

Les crochets en acier combinés à une cheville plastique et forés après l'érection de la maçonnerie ont également montré des ruptures par flambage, mais aussi par transpercement de l'extrémité de la cheville par la tige métallique, avec toutefois des valeurs de résistance au flambage et au transpercement supérieures à la résistance à la traction. Cette dernière est influencée par les perforations des éléments de maçonnerie et, dans ce cas, selon nos résultats d'essai, elle n'atteint pas les valeurs de résistance d'un crochet incorporé dans le mortier.

En conclusion, les crochets disponibles sur le marché doivent impérativement être caractérisés par la référence du matériau (voir liste dans la norme NBN EN 845-1) et choisis en fonction de la classe d'exposition de la maçonnerie

(voir l'Eurocode 6, partie 2) qui détermine le risque de corrosion du crochet. En outre, la déclaration de leurs performances doit faire état des résistances tant en traction qu'en compression, conformément à la norme NBN EN 845-1, afin que l'on puisse correctement déterminer le nombre de crochets nécessaires face à l'action du vent (au moins cinq par m<sup>2</sup>).

Le tableau à la page suivante synthétise les points essentiels relatifs aux crochets en acier pour mur creux en vue de faciliter leur choix et de déterminer leur nombre. Il livre également quelques commentaires nécessaires à sa compréhension. |

Y. Grégoire, ir., chef de la division Matériaux, CSTC

*Cet article a été rédigé dans le cadre de la Guidance technologique COM-MAT 'Matériaux et techniques de construction durables', avec le soutien de la Wallonie (DGO6).*

(\*) Le lecteur intéressé peut consulter l'ensemble des résultats de cette étude dans l'article 'Experimental parametric study on the performance of wall ties' (uniquement en anglais) sur [www.cstc.be](http://www.cstc.be).



Checklist relative aux crochets en acier <sup>(1)</sup> pour mur creux extérieur

Caractéristiques		Prescriptions et description	
Conformité RPC (Réglement pour les produits de construction) – Marquage CE		■ NBN EN 845-1 <sup>(2)</sup>	
Destination		■ Liaison entre mur de parement extérieur et paroi portante	
Type d'attache et mode de fixation à la paroi portante		<input type="checkbox"/> Asymétrique <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> Symétrique</span>	
		<input type="checkbox"/> Non inclinable (horizontale) <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> Inclinable <sup>(3)</sup></span>	
		<input type="checkbox"/> D'usage courant <input type="checkbox"/> Mobile <sup>(3)</sup>	<input type="checkbox"/> Incorporée dans le mortier <input type="checkbox"/> Chevillée (cheville plastique à rosace, par exemple) <input type="checkbox"/> Vissée (paroi portante en bois)
		<input type="checkbox"/> A clavette/rainure	
Épaisseur minimale nominale du joint de mortier (le cas échéant)		Extrémité 1 : 10 mm (par exemple) Extrémité 2 (côté paroi portante) : 3 mm (par exemple)	
Longueur d'ancrage minimale dans le joint de mortier ( $\geq 30$ mm) (le cas échéant)		Extrémité 1 : 40 mm (par exemple) Extrémité 2 (côté paroi portante) : 60 mm (par exemple)	
Largeur nominale du creux (distance entre les deux parois)		170 mm (soit un vide de 30 mm et un panneau d'isolation de 140 mm d'épaisseur) (par exemple)	
Longueur totale du crochet		270 mm (40 mm + 60 mm + 170 mm = 270 mm) (par exemple)	
Rejet d'eau		<input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui (section centrale profilée avec larmier – collier d'étanchéité – inclinaison descendante vers la paroi extérieure)	
Référence du matériau  Choix d'un système de protection anticorrosion en fonction des classes d'exposition (voir l'Eurocode 6, partie 2, 'Exécution' (NBN EN 1996-2))	Classe d'exposition	<input type="checkbox"/> <b>MX2</b> (exposition à l'humidité) ou <b>MX3</b> (exposition à l'humidité et à des cycles de gel/dégel)	<input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 1</b> : acier inoxydable austénitique (alliages molybdène-chrome-nickel) ('Inox 316') <input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 3</b> : acier inoxydable austénitique (alliages chrome-nickel) ('Inox 304') <input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 8</b> – <input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 9</b> – <input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 10</b> : composant en acier galvanisé $\geq 710$ g/m <sup>2</sup> , soit $\geq 100$ $\mu$ m d'épaisseur de galvanisation <input type="checkbox"/> Autre : ..... <sup>(4)</sup>
		<input type="checkbox"/> <b>MX4</b> (exposition à un air saturé en sel, à l'eau de mer ou à des sels fondants)	<input type="checkbox"/> <b>Réf. n° 1</b> : acier inoxydable austénitique (alliages molybdène-chrome-nickel) ('Inox 316') <input type="checkbox"/> Autre : ..... <sup>(4)</sup>
		<input type="checkbox"/> <b>MX5</b> (environnement chimique agressif)	<input type="checkbox"/> ..... <sup>(5)</sup>
Nombre de crochets par m <sup>2</sup> (n <sub>c</sub> )	$n_c \geq W_{Ed}/F_d$ <sup>(6)</sup> (et $n_c \geq 5$ )	<input type="checkbox"/> $\geq 5$ crochets/m <sup>2</sup> <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> <math>\geq 6</math> crochets/m<sup>2</sup></span> <input type="checkbox"/> $\geq 7$ crochets/m <sup>2</sup> <span style="float: right;"><input type="checkbox"/> <math>\geq</math> .....</span>	

(1) Des matériaux d'autres natures ne sont pas exclus (autres métaux, plastique).  
(2) La norme NBN EN 845-1 requiert d'un producteur qu'il déclare, notamment, leur résistance tant en compression qu'en traction, et ce en fonction de leur inclinaison maximale admise, de la largeur du creux (distance entre les parois) et des produits de maçonnerie concernés (blocs et mortier).  
(3) Respectivement, dans le cas des attaches mobiles et des attaches inclinables, la plage de mouvement maximale admissible et les inclinaisons maximale et minimale admissibles doivent être déclarées et doivent être respectées lors de l'exécution.  
(4) D'autres références de matériaux figurant dans la norme NBN EN 845-1 ne sont pas exclues, mais peuvent nécessiter la consultation du fabricant ou d'un spécialiste pour des conseils relatifs aux conditions de calcul spécifiques.  
(5) Seuls l'acier inoxydable (références n° 1 et 3) et le plastique (référence n° 2) sont à considérer moyennant la consultation systématique du fabricant ou d'un spécialiste pour des conseils relatifs aux conditions de calcul spécifiques.  
(6) Voir l'Eurocode 6 (NBN EN 1996-1-1, § 6.5).  $W_{Ed}$  est la valeur de calcul de la totalité des charges horizontales dues au vent déterminée selon la norme NBN EN 1991-1-4 ANB.  $F_d$  est la valeur de calcul de la résistance de l'attache. Elle est déterminée en divisant la résistance caractéristique  $F_k$  par un coefficient partiel de sécurité sur le matériau  $\gamma_M$  défini selon la norme NBN EN 1996-1-1 ANB ( $F_d = F_k/\gamma_M$ ). En cas de contrôle normal sur les travaux,  $\gamma_M = 2,7$ . Dans le cas de ces attaches, la résistance caractéristique correspond à la valeur moyenne des résultats d'essais <sup>(2)</sup>.



Les charges de vent sur une toiture plate peuvent être assez difficiles à déterminer, en particulier lorsque le bâtiment présente des formes complexes, car les normes en vigueur ne donnent des valeurs de pression que pour des bâtiments à géométrie très simple. Il est pourtant nécessaire de bien connaître les efforts de vent sur les toitures pour être en mesure de dimensionner correctement le lestage, les fixations mécaniques ou le collage à mettre en œuvre pour maintenir les différentes couches du complexe toiture. Le calcul de la pression de vent a été présenté dans Les Dossiers du CSTC 2010/4.3. Nous nous intéressons ici à la description des différentes zones de pression à prendre en compte sur des toitures plus complexes.

# Actions du vent sur les toitures plates

## Zones d'angle et de rive dans l'Eurocode

Pour prendre en compte la présence de zones à forte dépression localisée sur les toitures plates, l'Eurocode 1 (NBN EN 1991-1-4) prévoit de diviser la surface de la toiture en quatre zones différentes :

- les zones d'angle (F)
- les zones de rive (G)
- deux zones situées au centre de la toiture (H et I).

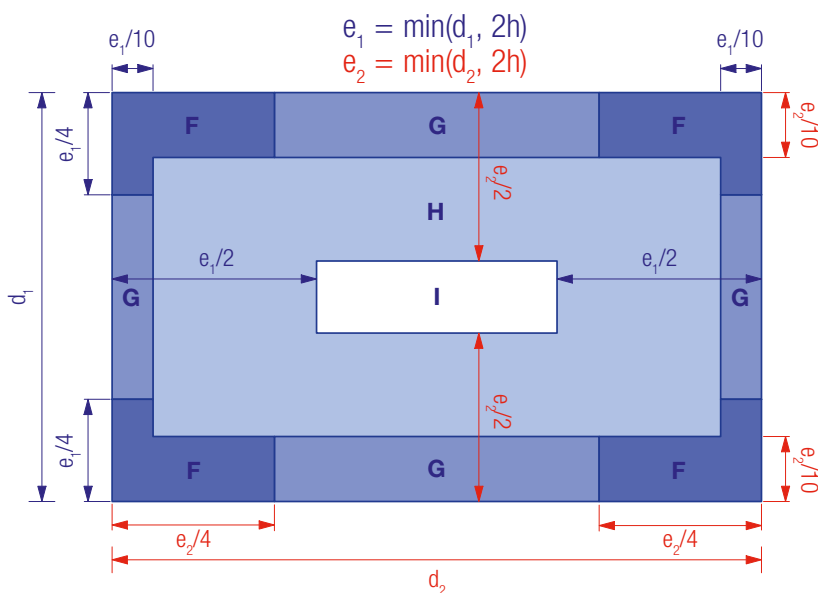
Ces deux zones sont nommées respec-

tivement 'partie courante 1' et 'partie courante 2' dans la NIT 239. Les dimensions de ces zones sont fonction des dimensions du bâtiment et de la direction du vent. Toutefois, en considérant le vent venant tour à tour dans chacune des directions, il est possible d'obtenir une carte des zones de pression indépendamment de la direction du vent (voir figure 1).

Les dimensions des zones sont fonction de deux paramètres :  $e_1$  et  $e_2$ , qui valent respectivement le minimum entre les

dimensions  $d_1$  ou  $d_2$  du bâtiment et deux fois la hauteur de la toiture ( $h$ ). Il apparaît que, si les deux dimensions du bâtiment ( $d_1$  et  $d_2$ ) sont inférieures ou égales à deux fois la hauteur de la toiture ( $h$ ), il n'y aura pas de zone I (zone où la charge de vent est fortement réduite). En effet, dans ce cas, la zone H recouvre toute la partie centrale de la toiture.

Les efforts de vent à prendre en compte dans chacune des zones sont détaillés dans la version intégrale du présent article ainsi que dans l'annexe 5 de la NIT 239.



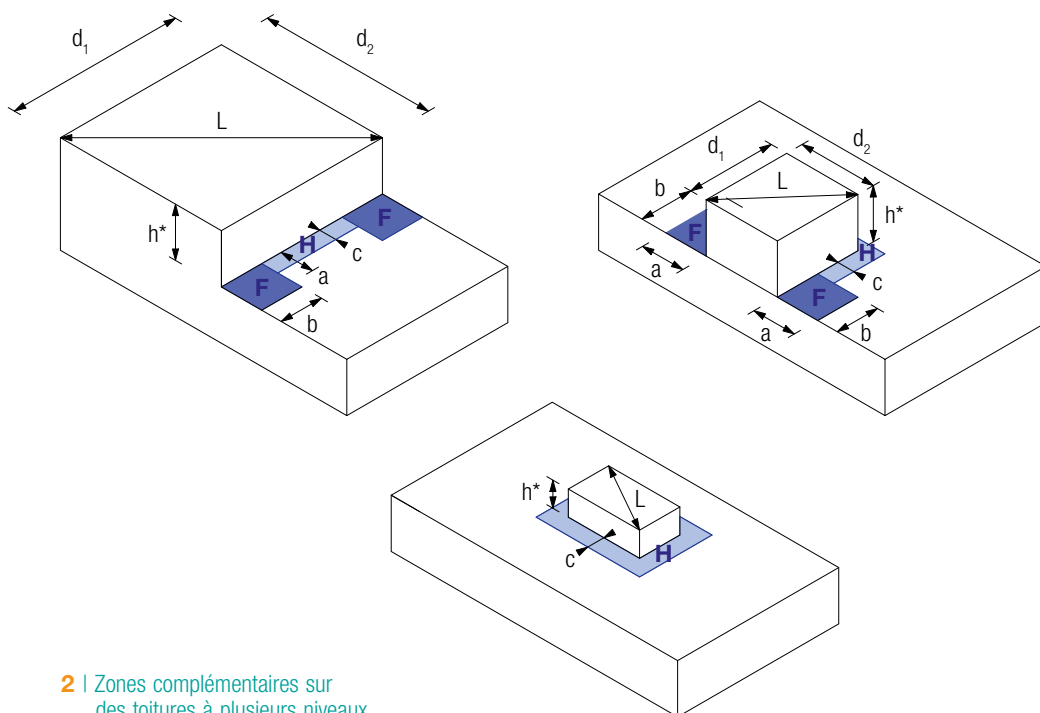
1 | Dimensions des zones d'angle, des zones de rive et des zones centrales sur une toiture plate (indépendamment de la direction du vent) ( $h$  = hauteur de la toiture)

## Bâtiments à plusieurs niveaux

Lorsque la toiture présente plusieurs niveaux et que la différence de hauteur entre ces niveaux ( $h^*$ ) est supérieure à la largeur des zones de rive du bâtiment 'enveloppe' (\*), chacun d'eux doit être calculé indépendamment en fonction de ses propres dimensions et de sa hauteur par rapport au sol. L'annexe nationale belge à l'Eurocode 1 prévoit cependant la présence de zones complémentaires au niveau des éléments dépassant de la toiture.

Comme le montre la figure 2 à la page suivante, il s'agit, d'une part, des zones d'angle (F) situées en bord de toiture, le long des murs séparant les différents niveaux et, d'autre part, d'une zone H qui entoure tous les éléments dépassant du niveau du toit. Cette zone ne doit

(\*) C'est-à-dire que l'on considère toutes les toitures au niveau de la plus haute pour le calcul des dimensions des zones de rive.



2 | Zones complémentaires sur des toitures à plusieurs niveaux

$h^* \leq d_2$	$h^* > d_2$
$a = h^*$	$a = d_2$
$h^* \leq d_1/4$	$h^* > d_1/4$
$b = h^*$	$b = d_1/4$
$h^* \leq L/2$	$h^* > L/2$
$c = h^*$	$c = L/2$

évidemment être considérée que dans les zones I de la toiture. Il est cependant primordial d'en tenir compte, puisqu'il existe un facteur 6 entre les dépressions en zone H et en zone I.

### Bâtiments à plusieurs niveaux en L

Pour les zones d'angle supplémentaires du niveau inférieur, il convient de se reporter aux directives décrites précédemment, en considérant une zone fictive de bâtiment complétant le niveau inférieur (s'il est moins large que le niveau supérieur). Si la toiture réelle chevauche en tout ou en par-

tie la zone d'angle supplémentaire du bâtiment complet, cette zone subsiste (voir figure 3B), sinon elle disparaît (voir figure 3C).

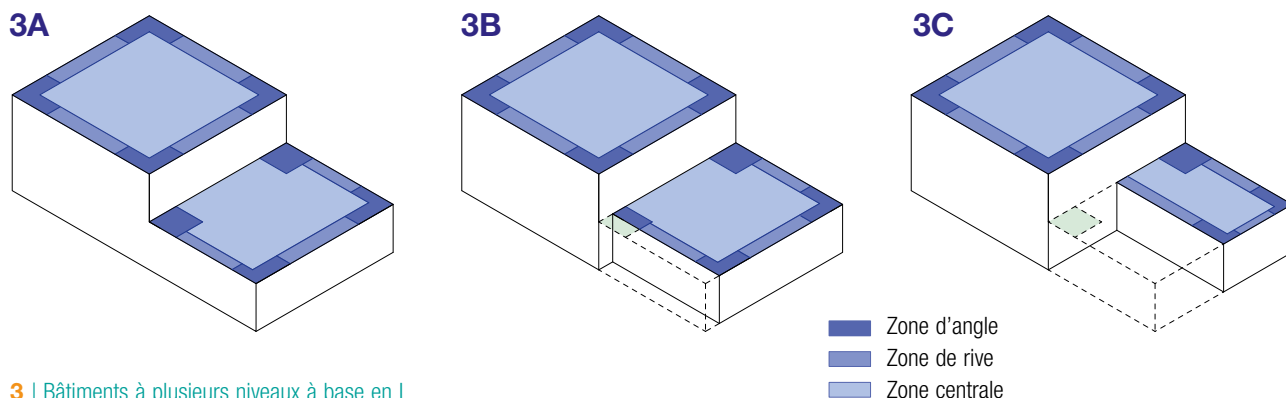
### Conclusion

Cet article propose des solutions pratiques visant à déterminer les dimensions des zones de vent en toiture pour des bâtiments de hauteurs différentes. La version intégrale de l'article aborde en outre d'autres géométries telles que les toitures en L, en T ou en Y, et fournit une méthode généralisée pour la prise en compte de pratiquement n'importe quelle

géométrie complexe. Elle détaille également le calcul du vent proprement dit.

Rappelons enfin que ces calculs de dimensionnement, de même que ceux dédiés à l'action du vent, sont à charge de l'auteur de projet et non de l'entrepreneur qui réalise les travaux. L'auteur de projet doit cependant d'abord fournir les résultats de calcul à l'entreprise d'étanchéité à qui il incombe de déterminer si son système d'étanchéité va pouvoir reprendre les actions de vent ou non. ■

G. Zarnati, ir., chef de projet, laboratoire Structures, CSTC



3 | Bâtiments à plusieurs niveaux à base en L

La 'ville verte' s'inscrit dans une logique de développement durable et d'urbanisme écologique. Le principe est de faire cohabiter les infrastructures de la ville et la nature, mais aussi d'améliorer la qualité de vie des citoyens. L'augmentation constante du nombre de réalisations montre que la toiture verte a acquis ses lettres de noblesse dans l'architecture urbaine de notre pays. Ce succès est dû aux multiples avantages qu'offre ce type de toiture. Les façades végétalisées, concept moins connu et plus récent en Belgique, contribuent également à cet élan.

# Des façades végétalisées pour des bâtiments et des villes durables

## 1 Avantages des façades végétalisées

L'intérêt esthétique des façades végétalisées est indéniable, comme l'exprime, à sa manière, l'architecte visionnaire bruxellois Luc Schuiten : « Le jardin vertical est un moyen de cicatrifier les blessures infligées au tissu urbain. Par son aspect poétique, il apporte un contrepoint au développement purement technique et rationnel de la ville. » Ce type de façades, qui connaît un succès grandissant non seulement à l'étranger, mais aussi dans notre pays, permet de donner un nouvel éclat à des façades inexploitées ou anciennes, et ce à partir d'une surface au sol très réduite. Elles contribuent en outre à corriger l'effet d'îlot thermique urbain. Étant donné que les plantes filtrent le carbone et les particules fines et absorbent l'ozone, la présence de verdure en zone urbaine peut également avoir un impact positif sur la qualité de l'air et sur l'atténuation des changements climatiques, et donc aussi sur la mobilité et la santé des habitants. La quiétude que procure la

vue d'un espace vert a une influence favorable sur la vie en société et sur la guérison des patients séjournant en établissement de soins. Les façades végétalisées participent par ailleurs à l'absorption du bruit en provenance de l'extérieur et assurent une certaine protection du bâtiment (diminution de la température de surface des façades et de la vitesse du vent auquel elles sont exposées). Enfin, pour une entreprise ou un propriétaire, une façade végétalisée est un moyen de conférer un certain prestige à son activité ou à son bâtiment.

## 2 Types de façades végétalisées

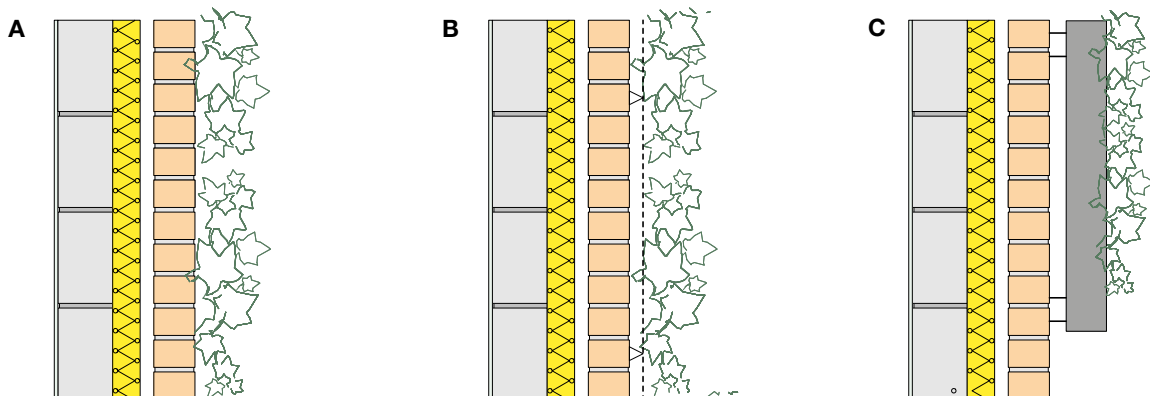
Le terme général 'mur vert' (*green wall*) désigne les façades végétalisées. On distingue les façades vertes, qui prennent racine dans le sol et sont directement ou indirectement liées à la façade, et les *Living Wall Systems* ou 'murs végétaux', ancrés dans la façade (voir figure 1).

### 2.1 Façades vertes

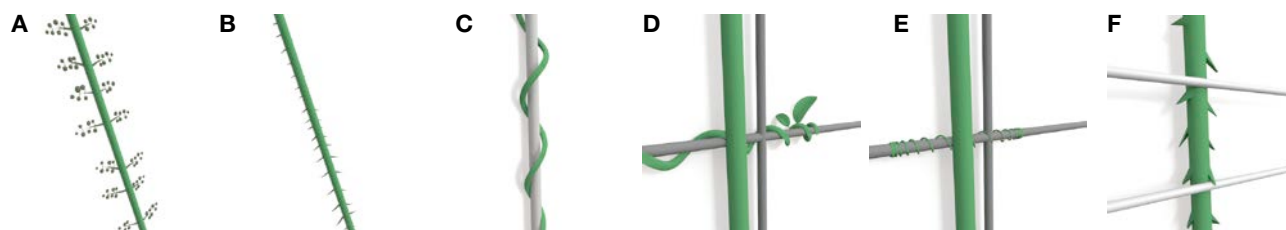
Les façades vertes (*green facades*) sont constituées de plantes grimpantes qui prennent racine au pied de la façade et qui recouvrent cette dernière directement (voir figure 1A) ou par l'intermédiaire d'un treillage (1B). Ce système offre l'avantage d'être bon marché et durable. En revanche, la croissance de la plante prend un certain temps et le résultat ne sera donc pas visible directement après la plantation. Il existe différentes sortes de plantes grimpantes :

- les plantes grimpantes à ventouse ou à racines-crampons (voir figures 2A et 2B), qui poussent directement sur la façade, l'espèce la plus connue étant le lierre
- les plantes grimpantes à tiges volubiles (2C), à vrilles (2D et 2E) et les plantes grimpantes à palisser (2F), qui s'accrochent à un support pour recouvrir la façade.

On fait parfois preuve d'une certaine méfiance à l'égard des façades végétalisées, dans la mesure où certaines



1 | Façade verte enracinée dans le sol et directement (A) ou indirectement (B) reliée à la façade et mur végétal ancré dans la façade (C) (schémas de principe)



2 | Types de plantes grimpantes

plantes grimpantes peuvent occasionner des dégâts aux murs. Ce risque peut toutefois être évité grâce à un choix judicieux des végétaux et, si nécessaire, par l'adaptation du treillage. Lorsque les murs sont susceptibles d'être endommagés par une végétalisation directe (voir figure 1A), on conseille, par exemple, d'opter pour des façades végétalisées de type B ou C (voir figure 1).

### 2.2 Living Wall Systems ou murs végétaux

Le terme *Living Wall Systems* fait référence aux 'murs végétaux'. Ici, la plante ne prend pas racine en pleine terre à la base de la façade, mais dans des supports fixés au mur. Ces supports se composent, entre autres, de panneaux prévégétalisés, de modules, de bacs ou de sacs végétalisés ou encore de géotextiles (voir figure 3). Le concept de la technique du mur végétal a été développé par le botaniste français Patrick Blanc. Contrairement aux façades vertes, le mur végétal requiert en général un système d'irrigation pour l'alimentation des plantes en eau et en nutriments. Les panneaux et les modules sont souvent prévégétalisés en pépinière, de sorte qu'on obtient un résultat tangible dès l'installation. Un entretien fonctionnel et efficace est primordial, car un

manque de soins pourrait gâcher même la plus belle des façades végétalisées. On recommande vivement de conclure un contrat d'entretien avec les installateurs.

Les murs végétaux peuvent par ailleurs être classés en fonction du substrat (c'est-à-dire la couche dans laquelle les végétaux sont plantés). On distingue les substrats inertes et les substrats organiques. Les premiers sont généralement composés de laine de roche, de granulés de lave, de matières textiles et autres. Dans ce cas, les plantes sont cultivées dans l'eau, à laquelle on incorpore les nutriments nécessaires (hydroculture). Les substrats organiques se composent, quant à eux, principalement de terreau, de sphagnum...

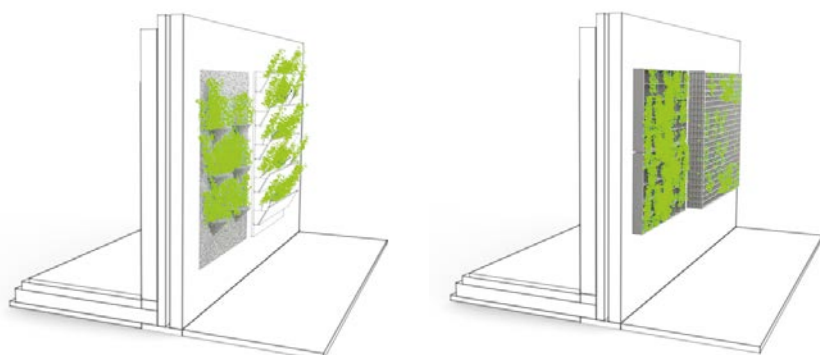
Si le coût relativement élevé des murs végétaux peut constituer un frein dans certains cas, des solutions nouvelles et optimisées permettant de limiter les coûts d'investissement et d'entretien sont actuellement à l'étude. En construction neuve, on peut ainsi envisager de remplacer le revêtement de façade traditionnel (briques de parement, par exemple) par un système de façade végétalisée, pour autant que les précautions nécessaires soient prises afin de garantir l'étanchéité de la façade (pare-pluie adéquat notamment).

Dans ce cadre, le projet VIS 'Construction verte : des façades vertes pour des bâtiments et des villes durables' a débuté le 1<sup>er</sup> septembre 2015. Ce projet subsidié par le VLAIO (anciennement l'IWT) est coordonné par le CSTC en collaboration avec les différents secteurs concernés. L'objectif de cette recherche est d'améliorer la connaissance des systèmes existants de façades végétalisées ainsi que de leurs avantages et de leurs inconvénients. En effet, les informations dont nous disposons à l'heure actuelle, très fragmentaires, proviennent souvent d'autres pays et parviennent difficilement aux entreprises belges. Ce projet vise une approche intégrale unique réunissant les aspects constructifs, botaniques et environnementaux en vue d'une valorisation globale des systèmes végétalisés verticaux.

### 3 Conclusion

Le manque actuel de connaissances techniques et scientifiques concernant les façades végétalisées est encore trop souvent à l'origine de mauvais choix et de décisions inadaptées. C'est la raison pour laquelle le projet VIS vise à dissiper les préjugés en la matière et à accroître la confiance en ces systèmes. Cet objectif peut être atteint grâce à des choix judicieux effectués dès la conception de la façade, tant en termes constructifs (fixation, stabilité, résistance au vent, sécurité incendie...) qu'en termes botaniques (choix des plantes, substrat, irrigation, treillage...). Pour de plus amples informations à ce sujet, nous renvoyons au site Internet [www.gevelgroen.be](http://www.gevelgroen.be). (uniquement en néerlandais)

### 3 | Représentation schématique de différents types de Living Wall Systems



I. Knoop, arch. ing., chercheur, laboratoire  
Éléments de toiture et de façade, CSTC  
Y. Martin, ir., chef de la division Enveloppe du  
bâtiment et menuiserie, CSTC

Les vitrages et les menuiseries extérieures surmontés de panneaux de façade en béton, en maçonnerie ou à base de ciment sont parfois altérés par des coulures qui – même après des nettoyages répétés – finissent par réapparaître. Sans entretien périodique, celles-ci peuvent en outre laisser des traces impossibles à éliminer. Cet article explique les causes de ce phénomène ainsi que la façon de l'éviter et d'y remédier.

# Coulures sur les menuiseries et les vitrages en façade

## 1 Origine du phénomène

L'apparition de coulures sur les vitrages en façade ou sur les menuiseries extérieures résulte du ruissellement des eaux pluviales sur les éléments de façade à base de ciment qui les surmontent. Ces coulures grisâtres sont en fait des dépôts visibles sous forme d'éclaboussures ou de traînées. Il ne s'agit donc pas, comme on le pense bien souvent, d'une dégradation de la surface du vitrage due au milieu alcalin.

Lorsque les eaux pluviales s'écoulent, elles emportent toujours une partie des composés solubles du ciment contenu dans le béton, les panneaux de façade ou le mortier. La prise du ciment s'accompagne de la formation d'hydroxydes de calcium, de potassium et de sodium, mais également de silicates alcalins. Si les eaux pluviales, ainsi chargées de ces substances, ruissellent sur la menuiserie extérieure ou le vitrage, des coulures peuvent apparaître et former des dépôts peu ou pas solubles au contact du CO<sub>2</sub>,

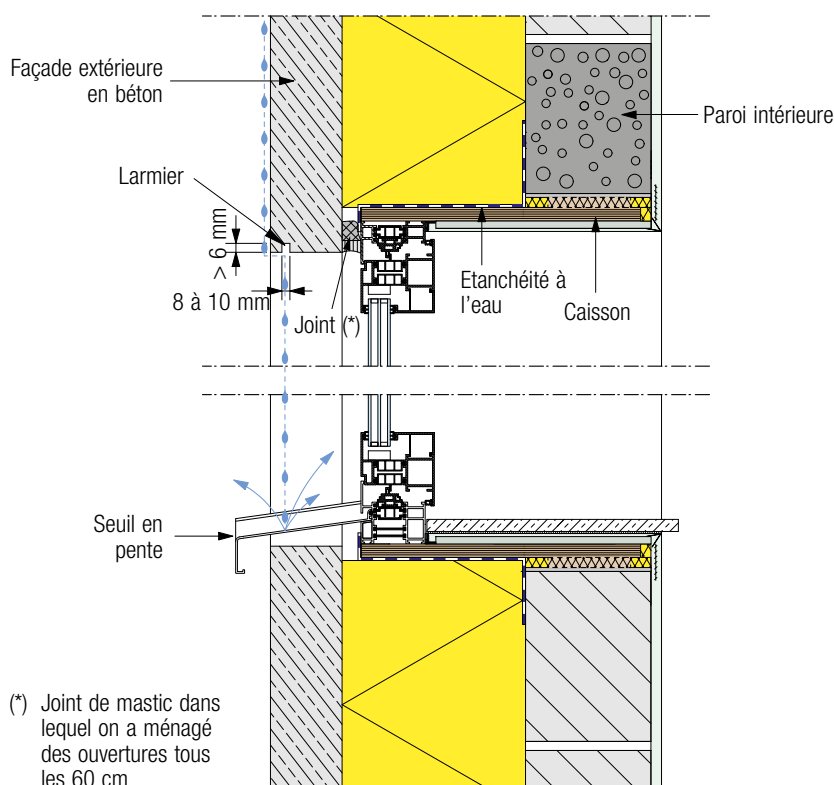
présent dans l'atmosphère ou d'agents polluants tels que la silice.

## 2 Prévention du problème

Pour éviter que des coulures n'apparaissent sur les vitrages de façade, on peut essayer de réduire la quantité d'eaux pluviales qui ruissellent sur la menuiserie et le vitrage. Il convient pour ce faire de veiller plus particulièrement à la position de la menuiserie. Ainsi, une menuiserie située dans le plan de la façade ou en saillie par rapport à celle-ci peut être munie de déflecteurs placés au-dessus des châssis. Il faut en outre tenir compte du fait que ces deux types de poses entraînent un risque plus important d'infiltration d'eau. Il convient dès lors de prendre les mesures nécessaires pour y parer (pose de membranes anticapillaires en EPDM, par exemple).

Si, durant la phase chantier, la façade extérieure est mise en œuvre ultérieurement, il est par ailleurs essentiel de protéger la menuiserie et le vitrage contre les eaux pluviales qui ruissellent sur la paroi intérieure et de les nettoyer dès que possible si des coulures devaient se former.

La partie inférieure des éléments de façade en saillie ou en béton doit être pourvue d'un larmier (casse-gouttes) adéquat, afin d'éviter que les eaux pluviales ne s'écoulent sur le châssis et le vitrage. Ce larmier aura de préférence une largeur comprise entre 8 et 10 mm, et une profondeur de 6 mm. Pour éviter que la chute des gouttes ne laisse des dépôts sur les profilés inférieurs de la menuiserie et la partie basse du



Ruissellement des eaux pluviales sur un seuil



vitrage, le seuil doit être pourvu d'une inclinaison relativement importante. Dans la pratique, les seuils ont toutefois souvent une pente de l'ordre de 5°.

Si, malgré les mesures précitées, des coulures sont constatées sur la menuiserie et le vitrage, il y a lieu de les éliminer le plus rapidement possible et de procéder à un nettoyage régulier de la surface.

Un traitement d'hydrofugation de la partie supérieure de la façade peut être de nature à réduire le phénomène.

### 3 Remèdes

#### 3.1 Élimination des coulures sur le vitrage

Si des coulures subsistent sur le vitrage après l'entretien normal, deux méthodes de nettoyage peuvent être employées. La première consiste à polir la surface du vitrage à l'aide d'un produit abrasif doux, tel que la poudre d'oxyde de cérium. Il s'agit d'appliquer une faible quantité d'oxyde de cérium et quelques gouttes d'eau sur un chiffon, que l'on passera délicatement sur la vitre avec un mouvement de rotation. L'utilisation d'une éponge à récurer est à exclure, étant donné que celle-ci peut rayer le vitrage.

Il est à souligner que cette méthode n'est applicable qu'en cas de coulures d'une épaisseur limitée et que le résultat escompté n'est pas toujours garanti. De plus, sa mise en œuvre *in situ* est relativement complexe.

La seconde méthode consiste à nettoyer le vitrage à l'aide d'une solution acide. Celle-ci est surtout utile en cas de dépôts plus importants. Selon la nature de la matière qui constitue les coulures,

## La méthode la plus efficace consiste à nettoyer le vitrage à l'aide d'une solution acide.

un acide minéral dilué (esprit de sel, par exemple) ou un acide fluorhydrique, en cas de dépôts siliceux, s'avérera efficace. Étant donné que ce diluant au silicium est généralement utilisé comme substance corrosive destinée à dépolir le verre, il va de soi que ce produit doit être manipulé avec précaution. Notre base de données des produits de construction ([www.techcom.be](http://www.techcom.be)) comporte une liste non exhaustive des solutions disponibles.

En cas de vitrages munis d'un revêtement extérieur, il est à noter que les traitements chimiques et mécaniques entraîneront tous deux inévitablement une détérioration du revêtement.

#### 3.2 Élimination des coulures sur la menuiserie extérieure

Un traitement chimique peut également être appliqué pour nettoyer la menuiserie, pour autant que le produit choisi ne détériore pas le matériau. Ainsi, des essais indicatifs effectués dans les laboratoires du CSTC ont révélé qu'une menuiserie en PVC sans revêtement (pour une durée de contact d'environ 30 minutes) ou en aluminium laqué (pour une durée de contact de maximum 5 minutes) peut être nettoyée avec succès en utilisant la solution fluorhydrique précitée (4 à 5 % HF). En cas de contact prolongé, une dégradation du brillant de l'aluminium laqué a toutefois été constatée.

Dans le cas d'une menuiserie en aluminium anodisé, la couche de protection commence souvent à se dégrader avec l'apparition des coulures, de sorte qu'un simple traitement ne suffit pas à remédier au problème. Les châssis de ce type doivent dès lors être protégés de manière adéquate après leur mise en place. Si des coulures apparaissent encore par la suite, il est crucial de les éliminer le plus vite possible avec une grande quantité d'eau.

En ce qui concerne les châssis en bois, un traitement chimique peut également être appliqué, mais il convient de tenir compte d'une éventuelle altération de l'aspect de la finition (détérioration du brillant, par exemple). Ce problème peut néanmoins être résolu en ponçant la surface du bois et en appliquant une nouvelle finition.

Il est néanmoins recommandé, avant d'appliquer des produits chimiques sur l'ensemble d'une surface, d'effectuer un test d'orientation sur une zone limitée moins visible.

*F. Caluwaerts, ing., conseiller principal senior, division Avis techniques, CSTC*  
*V. Detremmerie, ir., chef du laboratoire Éléments de toitures et de façades, CSTC*  
*Pascale Steenhoudt, ir., chef du laboratoire Chimie du bâtiment, CSTC*

## Important

Vu le caractère acide des produits de nettoyage chimiques, il importe de manipuler ces derniers avec précaution. Une mauvaise utilisation peut en effet être à l'origine d'une dégradation des éléments environnants. Il est dès lors primordial de consulter, pour chaque produit, la fiche de sécurité et d'en suivre rigoureusement les consignes. Il convient par ailleurs de prendre les mesures de protection personnelles nécessaires, d'appliquer une membrane de protection sur les seuils en pierre naturelle et de rincer les surfaces voisines à l'eau pure.



Les méthodes de nettoyage couramment appliquées sur les éléments de construction encrassés par des agents biologiques sont souvent néfastes pour le support, la santé de l'exécutant et l'environnement, et ce en raison de la pression d'eau élevée et des produits chimiques. L'action ciblée et moins nocive des enzymes, que l'on utilise déjà dans certains produits de nettoyage (pour éliminer les taches sur la pierre naturelle, par exemple), peut constituer une alternative adéquate. Cet article traite de l'encrassement biologique et propose une comparaison entre la méthode de nettoyage classique et la méthode à base d'enzymes.

## Nettoyage enzymatique des éléments de construction encrassés par des agents biologiques

### Encrassement biologique des éléments de construction

L'encrassement biologique résulte de la cohabitation de divers organismes tels que des bactéries, des cyanobactéries et des algues. Celles-ci s'entourent d'une sécrétion qui adhère fortement à la surface des éléments et facilite l'extension de l'encrassement par des organismes plus complexes tels que des lichens, des mousses, voire des végétaux.

Comme c'est le cas pour les plantes vertes, les cyanobactéries, les algues, les mousses et les lichens réalisent la photosynthèse. Cela signifie qu'ils dépendent très peu de la surface sur laquelle ils poussent pour se nourrir. La disponibilité en eau constitue néanmoins une condition essentielle à leur croissance. Les principales sources d'humidité sur l'enveloppe des bâtiments sont constituées, d'une part, par les précipitations et leur ruissellement (tous deux soumis à l'action du vent) et, d'autre part, par la condensation superficielle. Cette dernière apparaît lorsque la température superficielle est inférieure au point de rosée de l'air ambiant. Certaines tendances constructives actuelles, notam-

ment la mise en œuvre de systèmes caractérisés par une faible inertie thermique, augmentent la sensibilité de l'enveloppe du bâtiment aux phénomènes de condensation et donc le risque d'encrassement biologique.

A un stade de développement peu avancé, l'encrassement biologique constitue surtout un problème esthétique. Toutefois, plus il se propage, plus le risque de détérioration s'accroît également. Ainsi, les mousses qui se développent sur les couvertures en tuiles font office de réservoir d'eau, augmentant ainsi l'absorption capillaire entre les matériaux. Les organismes peuvent en outre accélérer l'altération de la surface ainsi que l'apparition de microfissures, en sécrétant certains acides ou en retenant l'humidité plus longtemps, par exemple.

### Méthode de nettoyage classique

Une enquête menée auprès de quelques entreprises de nettoyage professionnel a révélé que le traitement des surfaces de toiture encrassées par des agents biologiques consiste principalement à nettoyer la surface à haute pression et

à appliquer ensuite un produit à base de biocides (\*). La deuxième méthode la plus utilisée consiste à effectuer un prétraitement au moyen d'un biocide avant de procéder à un nettoyage à haute pression. Les produits utilisés sont principalement des mélanges chimiques qui contiennent un composé d'ammonium quaternaire comme substance active. Ces produits relèvent de la législation relative aux biocides, ce qui signifie que leur mise sur le marché belge et leur utilisation sont soumises à l'accord du Service public fédéral 'Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement'. Cette situation restera certainement telle jusqu'en 2019, date à laquelle un avis sera émis quant à l'utilisation de ces produits, grâce à un programme d'évaluation de l'impact des substances actives existantes (dont les composés d'ammonium quaternaire) sur les êtres humains, les animaux et l'environnement.

### Produits à base d'enzymes comme alternative

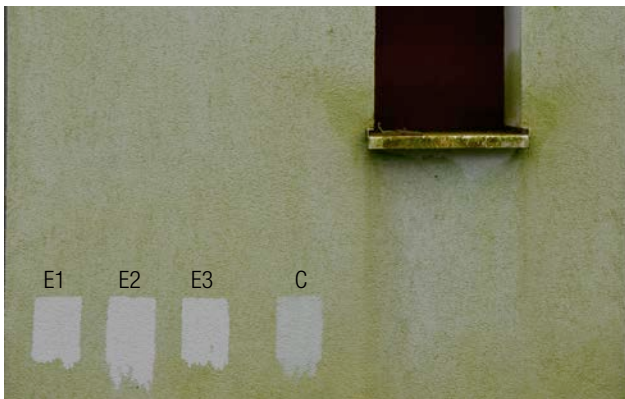
Bien que les produits à base d'enzymes soient également des mélanges chimiques, leurs composés actifs sont des enzymes et non des biocides chimiques. Les enzymes sont des protéines pouvant notamment décomposer

1 | A gauche : toiture en tuiles avant l'application d'un produit à base d'enzymes; à droite : une semaine après le traitement



(\*) Un biocide est constitué d'une substance active destinée à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière par une action autre qu'une simple action physique ou mécanique (Journal officiel de l'Union européenne, L167, juin 2012).





2 | Résultat obtenu après trois jours avec trois produits différents à base d'enzymes (E1, E2 et E3) et un produit chimique (C) appliqués sur un enduit de façade ayant subi un verdissement naturel



3 | Mise en œuvre par nébulisation d'un produit à base d'enzymes

les éléments constitutifs d'un encrassement biologique et entraîner la perte d'adhérence de ce dernier. Quelques produits à base d'enzymes actuellement disponibles sur le marché belge sont spécifiquement destinés à éliminer l'encrassement biologique ou atmosphérique des surfaces extérieures. Ces produits ne sont pas encore concernés par la directive relative aux biocides.

Dans le cadre du projet 'RenoZym', l'efficacité de ces produits a été évaluée en comparaison avec celle d'un biocide à base d'ammonium quaternaire classique, et ce pour divers supports encrassés tels que des enduits de façade, des pavés en béton de clinker et des tuiles de terre cuite. Un effet nettoyant ou, du moins, une décoloration de l'encrassement a été constatée avec presque tous les produits à base d'enzymes trois jours environ après leur application par nébulisation

selon une concentration recommandée par le fabricant (voir figures 1 et 2). De plus, aucun de ces supports ne présentait d'altération visible après le traitement. L'effet nettoyant obtenu dépend toutefois du degré d'encrassement de l'élément. Ainsi, en cas d'encrassement principalement constitué d'algues et de mousses en début de développement, la nébulisation (voir figure 3) et l'action du produit durant les intempéries suffisent pour effectuer un nettoyage efficace. En cas de développement avancé (mousses et lichens), un rinçage sous pression sera nécessaire en plus de l'application du produit. En raison de ce prétraitement à l'aide d'un produit à base d'enzymes, le rinçage peut néanmoins être réalisé à une pression plus faible, adaptée au support.

Il ressort de l'enquête précitée que des produits à base d'enzymes sont

déjà utilisés de manière sporadique dans le secteur. Ceux-ci sont surtout mis en œuvre comme unique étape de traitement sur des supports tels que les ardoises naturelles ou les couvertures de toiture dégradées ou anciennes.

Une évaluation des risques liés à l'application de produits à base d'enzymes sur chantier a révélé que celle-ci entraîne effectivement moins de risques que les biocides chimiques classiques. Il est toutefois toujours recommandé de suivre les directives mentionnées sur la fiche de sécurité des produits. |

*J. Van Herreweghe, dr. ing., chef de projet  
et K. Dinne, ing., chef du laboratoire  
Microbiologie et santé, CSTC*

*Cet article a été rédigé dans le cadre du  
projet 'RenoZym', subsidié par le Service  
public de Wallonie (DG06).*

## Conseils pratiques

- L'application s'effectue par nébulisation dans une concentration recommandée par le fabricant.
- Elle doit être réalisée par temps sec sur un support sec ou légèrement humide (le support doit rester sec durant les 24 heures qui suivent l'application).
- Les produits peuvent être mis en œuvre par temps froid (jusqu'à 5 °C), mais leur efficacité est meilleure à des températures plus élevées.
- On évitera toute application en cas de températures trop élevées ( $\geq 30$  °C) et certainement si les surfaces sont exposées en plein soleil.
- Selon le degré d'encrassement, il suffit parfois de laisser agir le produit une fois appliqué. Sinon, un rinçage à l'eau, sous une pression adaptée, est nécessaire.
- En cas de nettoyage d'une toiture, l'évacuation des eaux pluviales doit, de préférence, être déviée vers l'égout (en évitant le passage par la citerne) jusqu'aux premières précipitations. Il est également possible de combiner le nettoyage de la toiture avec la vidange et le nettoyage de la citerne.

# PLEINS FEUX



## Le Comité technique 'BIM&ICT' à pied d'œuvre

Impulsé par son président, *Thomas Vandenberg*, BIM manager chez Besix, le nouveau Comité technique '**BIM&ICT**' du CSTC s'est réuni pour la première fois le 21 avril dernier. Ses quelque soixante membres auront pour tâche de représenter la profession dont ils sont issus. Ceci, afin de veiller à ce que les actions que mènera ou coordonnera le Comité soient en phase avec leurs besoins tout au long du cycle de vie des bâtiments et des infrastructures.

Les priorités du Comité ont déjà été précisées. Cinq groupes de travail composés de professionnels et d'ingénieurs du Centre ont été constitués pour s'y atteler. Un **portail national** dédié à la mutation numérique du secteur et à l'usage du BIM verra prochainement le jour sur [www.bimportal.be](http://www.bimportal.be). Nous vous tiendrons au courant dès son lancement !

Ajoutons enfin que nos prochaines éditions intégreront deux pages au sujet de ce nouveau Comité.



## 5 priorités BIM – 5 groupes de travail

- Adoption d'une classification reconnue au niveau belge
- Etablissement de protocoles d'échange adaptés au type de contrat ou à la nature des travaux
- Développement de bases de données de e-produits de construction (objets BIM génériques ou propres à un fabricant ou système)
- Traitement des questions juridiques qui se poseraient éventuellement lors de l'adoption du BIM
- Organisation de formations et création de profils de compétence (BIM manager, par exemple).



Plus d'infos

NIT 249 (§ 5.3.1.)

## Le travail normal d'un peintre permet-t-il de corriger tous les défauts du support ?

Non. Même dans le cas de travaux de peinture d'un degré d'exécution III, au cours desquels un enduisage complet est réalisé de façon à obtenir une texture et un degré de lissage pratiquement uniformes, il convient de tenir compte de très légers défauts qui seront inévitablement visibles sous un éclairage rasant ou indirect. Par ailleurs, l'application d'une fine couche d'enduit n'améliorera pas non plus la planéité globale du support.

## Peut-on poser un revêtement de sol en bois (parquet, par exemple) sur un support muni d'un système de chauffage par le sol ?

Il est possible de combiner un revêtement de sol en bois avec un système de chauffage par le sol, pour autant que certains principes soient respectés (teneur en humidité du support inférieure à une certaine valeur limite, respect d'un protocole de mise en marche du système de chauffage, choix d'une colle adaptée, utilisation d'un bois stable...).



Plus d'infos

NIT 218 (§ 7.1), Les Dossiers du CSTC 2014/3.8 et 2013/2.7



Plus d'infos

NIT 246 (§ 2.2)

## La technique de la postisolation d'un mur creux existant (qui consiste à remplir la coulisse d'un mur creux à l'aide d'un matériau isolant) est-elle envisageable dans toutes les circonstances ?

Non. La postisolation d'un mur creux ne peut être effectuée qu'à certaines conditions (largeur de la coulisse, par exemple). Il arrive parfois que des mesures complémentaires doivent être prises (avant ou après la postisolation) en fonction notamment de l'exposition aux pluies et des caractéristiques de la maçonnerie.

La pierre naturelle est un produit dont le processus de formation prend plusieurs millions d'années. Ce mode de production unique est dès lors à l'origine d'un large éventail de types de pierres, chacun avec ses propres variations de teinte et de texture (c'est-à-dire d'aspect extérieur). L'aspect d'une pierre naturelle utilisée comme élément de construction constitue donc un critère de sélection essentiel. Bien que ces variations naturelles plaisent au plus grand nombre, elles ne peuvent pas être trop importantes, car elles sont susceptibles de compromettre l'esthétique du sol ou de la façade. Cet article, qui complète Les Dossiers du CSTC 2015/3.13, souligne l'importance de procéder à une évaluation de l'aspect général de la pierre avant même d'effectuer une mesure de la teinte.

## Les mesures de teinte pour faciliter la réception des pierres naturelles

### Echantillons contractuels

Idéalement, toute livraison d'éléments en pierre naturelle devrait être contrôlée avant la mise en œuvre. Afin d'éviter des discussions relatives à l'acceptation de la livraison (lorsque l'entre-

preneur ou le maître d'ouvrage estime que l'aspect des carreaux livrés diffère fortement de celui des carreaux qui avaient été commandés, par exemple), les pierres doivent être comparées avec les échantillons contractuels, comme indiqué dans les normes de produit

NBN EN 1469, 12057 et 12058 (cette procédure ne s'applique pas aux travaux sur mesure).

**Les échantillons contractuels consistent en une série d'éléments en pierre naturelle devant donner une idée de l'aspect général du matériau.** Bien que la quantité minimale de carreaux ne soit pas précisée, une surface minimale de 0,01 m<sup>2</sup> est définie pour chaque carreau. Par aspect général, il faut comprendre la gamme de caractéristiques macroscopiques pouvant apparaître dans la pierre en question : teinte, veinage, texture, finition de surface, présence de concentrations minérales et de fossiles... Le maître d'ouvrage et l'entrepreneur doivent tous deux marquer leur accord concernant ces échantillons. Une fois cet accord donné, les écarts restant dans les limites établies par les échantillons contractuels ne peuvent plus être cités comme motifs de refus lors de la livraison des éléments en pierre.

Les variations de teinte sont en grande partie inhérentes aux pierres naturelles.

Exécution d'une mesure de teinte



Selon les normes de produit, l'évaluation de la différence d'aspect entre les échantillons de référence et les carreaux livrés ou à livrer doit être effectuée à la lumière du jour, à l'œil nu, à une distance de 2 m et à hauteur d'homme. Il faut néanmoins souligner que cette évaluation de l'aspect de la pierre ne constitue pas une mesure absolue. La perception visuelle de la teinte et de la texture d'un matériau est en effet



Nombre de mesures de teinte nécessaire en fonction de la taille des carreaux

Surface du carreau [cm <sup>2</sup> ]	Nombre de mesures de teinte
400	5
1.600	12
3.600	18
6.400	24
10.000	30
14.400	36

le résultat d'une interaction complexe entre la sensibilité à la lumière de l'observateur, le contexte spatial dans lequel le matériau est observé, les caractéristiques physiques du matériau et la structure spatiale et physique des autres surfaces environnantes.

### Mesures de la teinte

Si des contestations devaient néanmoins avoir lieu après la pose quant à des différences d'aspect inacceptables aux yeux du maître d'ouvrage (en raison de facteurs internes ou externes) et/ou que l'évaluation de l'aspect ne peut pas être effectuée suivant les normes, cette dernière peut être réalisée de manière plus objective à l'aide d'un colorimètre. Cette méthode permet de déterminer les variations de teinte éventuelles entre les éléments en pierre naturelle indépendamment des paramètres précités (voir également [Les Dossiers du CSTC 2014/4.10](#)). Il est à noter que les mesures de teinte peuvent être faussées si elles ont lieu juste après la pose des carreaux, ceux-ci pouvant encore être humides.

Puisqu'il n'existe pas de critères normatifs sur lesquels se baser pour déterminer si une variation de teinte donnée est

acceptable ou non, il est recommandé de considérer la variation de teinte maximale entre les échantillons contractuels. La plupart des colorimètres disponibles sur le marché sont pourvus d'une fonction permettant de calculer directement la formule de variation de teinte demandée. Pour de plus amples informations quant à ce calcul, nous renvoyons le lecteur aux Dossiers du CSTC 2014/4.10.

La variation de teinte la plus importante mesurée entre deux carreaux provenant du lot d'échantillons contractuels fait fonction de **valeur critique**, c'est-à-dire d'écart de teinte maximal admissible au sein de ce type de pierre. Une fois cette valeur critique déterminée, la variation de teinte des éléments en pierre naturelle pour lesquels subsiste un doute peut être comparée à celle-ci. Si cette variation est supérieure à la valeur critique, la teinte du carreau ne peut plus être considérée comme une variation naturelle de ce type de pierre. Si plus de 5 % de la surface totale des carreaux présente une variation de teinte trop importante, la livraison peut être considérée comme non conforme.

Afin de déterminer le nombre de mesures à effectuer par carreau pour obtenir une valeur représentative, diffé-

rents essais ont été effectués et ont permis d'élaborer le tableau ci-contre. Ce dernier indique le nombre de mesures de teinte nécessaires en fonction de la surface des carreaux. Ces mesures ont été effectuées dans des zones du carreau prises au hasard. Afin que la procédure ait lieu de façon tout à fait aléatoire, le colorimètre doit être placé de préférence dans un pochoir. Cette manière de procéder permet d'éviter que les zones de mesure soient choisies subjectivement. Les mesures effectuées au droit des crapauds ou des grands fossiles qui ne constituent pas une particularité de la roche ne doivent pas être prises en compte.

### Conclusion

Grâce aux mesures de teinte et à une comparaison avec les échantillons contractuels, il est possible d'évaluer objectivement l'aspect d'un carrelage en pierre naturelle. La pierre naturelle étant un produit naturel caractérisé par une certaine variation de teinte et de texture, il convient toujours d'en évaluer l'aspect général à l'aide d'échantillons contractuels. Si des doutes subsistent néanmoins, des mesures de teinte peuvent être effectuées afin de trancher (il convient toutefois de respecter le nombre de mesures nécessaires par carreau). Il est également à noter qu'il appartient à l'entrepreneur d'informer au préalable le maître d'ouvrage des éventuelles variations d'aspect au sein de la pierre naturelle qu'il a choisie. ■

*V. Bams, m. sc. géol., chef de projet, laboratoire Minéralogie et microstructure, CSTC*

Les mesures de variation de teinte et la comparaison avec les échantillons contractuels permettent d'évaluer objectivement l'aspect d'un revêtement en pierre naturelle.



Les systèmes de chauffage par le sol offrent de nombreux avantages, notamment une amélioration du confort et un gain de place dû à l'absence de radiateurs. Cet article dresse une comparaison entre plusieurs systèmes innovants de chauffage par le sol et les systèmes plus traditionnels, en mettant en évidence les différents aspects liés à leur mise en œuvre.

# Les systèmes innovants de chauffage par le sol

## Quelles sont les innovations ?

L'une des évolutions les plus marquantes dans les complexes planchers est la **réduction de l'épaisseur des systèmes de chauffage par le sol** mis sur le marché ces dernières années. Bien que des mortiers de chape soient encore utilisés — certes en épaisseur limitée — pour la répartition de la chaleur et des charges (voir figure 1 à la page suivante), certains systèmes sont mis en œuvre sans chape (voir figure 2). Le revêtement est alors directement posé sur une grille de répartition de la chaleur ou sur une natte de désolidarisation.

## Coordination des travaux

De nombreux corps de métier peuvent être impliqués dans la mise en œuvre des planchers chauffants : l'entrepreneur de gros œuvre, le poseur de l'isolation, le chauffagiste, le chapiste et le carreleur. Une **bonne coordination** entre ces différents intervenants est donc essentielle dès la phase de conception. Ainsi, la structure du complexe plancher et la répartition des tâches doivent être clairement déterminées au préalable (dans le cahier des charges et/ou dans le devis, par exemple).

Il revient souvent au fabricant de dimensionner le système de chauffage par le sol à l'aide des logiciels de calcul spécifiques dont il dispose. Généralement, il établit aussi le plan de pose des conduites en collaboration avec le maître d'ouvrage ou son représentant.

L'une des évolutions les plus marquantes est la réduction de l'épaisseur des systèmes de chauffage par le sol.

## Isolation, bande de pourtour et membrane

Les planchers intérieurs sont de plus en plus souvent isolés thermiquement et/ou acoustiquement. Dans la mesure où ces diverses couches d'isolation servent de support au système de chauffage, elles doivent être suffisamment solides afin d'éviter les déformations. Pour de plus amples informations à ce sujet, nous renvoyons le lecteur aux **Dossiers du CSTC 2010/4.12**.

Pour pouvoir mettre en place le système de chauffage et/ou la chape éventuelle, **la surface des couches d'isolation doit être suffisamment plane** (écart maximal de 9 mm sous la règle de 2 m). En cas de panneaux d'isolation rigides, le plancher porteur est en général rectifié au moyen, par exemple, d'une couche de nivellement enrobant aussi les conduites. Si l'isolant est projeté, sa surface doit généralement être poncée après la mise en œuvre. Dans le cas de systèmes innovants moins épais, il est primordial de limiter davantage encore les écarts de planéité.

Tant les systèmes innovants que les systèmes traditionnels doivent être munis d'une **bande de pourtour** sur toute la périphérie du plancher et autour de chaque élément de construction fixe

(colonnes, par exemple). Cette bande doit au moins atteindre le niveau du revêtement de sol et peut être arasée une fois le carrelage posé, de façon à éviter tout contact entre les carreaux et la paroi. Une **membrane** doit en outre être prévue entre l'isolant et la chape et remonter jusqu'au-dessus de la bande de pourtour (voir figure 1).

Le plan d'exécution du chauffage par le sol, généralement fourni par le fabricant, indique également le positionnement des  **joints de mouvement**. Celui-ci doit être défini préalablement, en accord avec toutes les parties concernées. Ces joints doivent être prolongés au sein du revêtement de sol. Les conduites de chauffage qui traversent un joint — ce qu'il faut limiter au strict nécessaire — doivent être enveloppées dans une gaine, de manière à ce que les différents éléments puissent se mouvoir librement sans être endommagés.

La longueur des surfaces carrelées ne doit pas dépasser 8 m et leur superficie doit se limiter à 40 m<sup>2</sup>. Par ailleurs, on s'efforcera dans la mesure du possible d'obtenir des surfaces rectangulaires présentant un rapport longueur/largeur de maximum 2 sur 1. Les circuits de chauffage par le sol devront encore être adaptés à ces surfaces carrelées.



### Essai de pression et premier cycle de chauffage

Lorsque toutes les conduites de chauffages sont raccordées et avant que la chape ne soit posée (ou le revêtement, dans le cas d'un système de chauffage par le sol sans chape), l'installateur procédera à un **essai de pression** afin de tester l'étanchéité des circuits. Les conduites sont alors remplies et soumises à une pression de contrôle (c'est-à-dire une pression supérieure à la pression de fonctionnement, généralement comprise entre 4 et 6 bars). Afin de déceler les fuites et de maintenir les conduites en place en cas de chape fluide, celles-ci doivent rester sous pression pendant toute la durée des travaux. Cela permet également de déceler rapidement les éventuels dégâts (chute d'objets, percement...).

Il est conseillé de mettre le système de chauffage en route une première fois et de le laisser refroidir avant la pose du revêtement de sol. Ce cycle est appelé **protocole de chauffage**. Pour de plus amples informations quant au protocole à suivre pour les systèmes de chauffage par le sol de nouvelle génération, il y a lieu de s'informer directement auprès des fabricants.

### Mise en œuvre de la chape

Selon les recommandations actuelles du CSTC, la chape doit toujours être munie d'un **treillis d'armature métallique** et

être suffisamment compactée. La présence de conduites et d'une isolation 'résiliente' ne facilite cependant pas toujours le compactage.

Dans certains systèmes innovants, l'épaisseur de la chape peut être réduite. Le matériau utilisé pour celle-ci doit alors répondre à certaines exigences (liant, classe de résistance...) et des adjuvants spécifiques peuvent être ajoutés au mortier.

Lorsqu'il s'agit d'un système de chauffage par le sol sans chape, les conduites sont intégrées dans l'infrastructure (panneau). Une natte de désolidarisation ou une grille de répartition de la chaleur est placée sur l'infrastructure, sur laquelle le revêtement sera posé à son tour.

### Nattes de désolidarisation

Dans certains systèmes de chauffage par le sol, les nattes de désolidarisation font partie intégrante du complexe plancher. Dans d'autres cas, leur utilisation n'est pas obligatoire, mais peut, par exemple, s'avérer utile puisqu'elle réduit les risques de fissuration ou de décollement (voir également [Les Dossiers du CSTC 2015/4.10](#)).

### Produit de collage

Le carreleur doit choisir la colle à utiliser en fonction notamment du support et des carreaux.

Si le support est constitué par une chape à base de ciment, la norme NBN EN 12004 recommande une colle de type C2S1 ou C2S2. En cas de chape à l'anhydrite, le carreleur optera de préférence pour une colle compatible avec ce type de chape (colle à base de plâtre, par exemple). Pour les sols chauffants, les fabricants de colles prescrivent généralement un **encollage à plein bain** (à effectuer généralement par double encollage ou dans un lit de colle fluide).

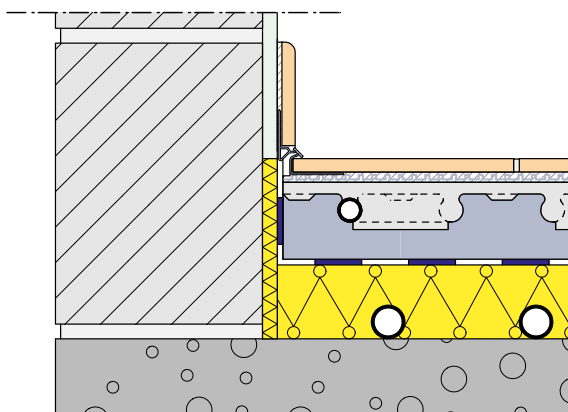
En l'absence de chape et lorsque le revêtement est directement collé sur une grille de répartition de chaleur ou sur une natte de désolidarisation, il convient d'utiliser les colles prescrites par le fabricant.

### Revêtement de sol

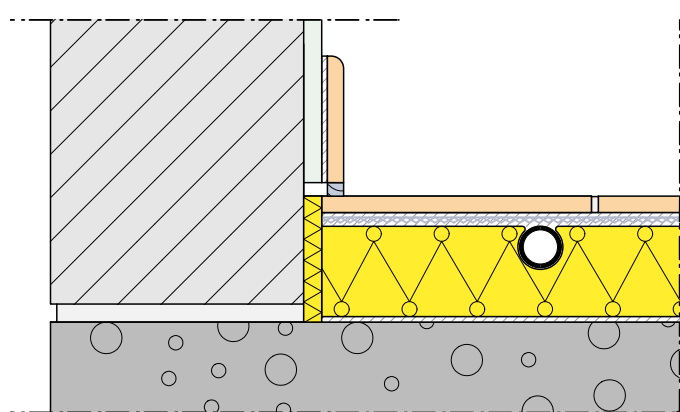
Le format maximal des carreaux pour les applications courantes ne dépasse généralement pas 600 x 600 mm. Dans le cas d'un système de chauffage par le sol, il est vivement recommandé d'opter pour un appareillage à **joints continus (joints droits) dans les deux directions**.

*T. Vangheel, ir., chef adjoint du laboratoire Matériaux de gros œuvre et de parachèvement, CSTC*

*J. Van den Bossche, ing., conseiller principal senior, division Avis techniques, CSTC*



1 | Système innovant de chauffage par le sol avec chape



2 | Système innovant de chauffage par le sol sans chape





Le CSTC est régulièrement consulté au sujet de pathologies affectant les revêtements de sol résilients en pose collée : soulèvement des bords (*curling*), soulèvement local des joints, fissuration des soudures et des joints... Ceci souligne l'importance des essais de stabilité dimensionnelle des revêtements de sol, car ils permettent de comprendre le comportement des colles, mais également de déterminer le type d'adhésif le plus adéquat en fonction du revêtement.

## Evaluation critique des performances de la **stabilité dimensionnelle** des revêtements de sol résilients

Tous les revêtements de sol résilients n'ont pas le même comportement face aux températures élevées ou à l'ensoleillement direct. Même s'ils semblent être stables conformément à la norme d'essai, certains d'entre eux nécessitent d'être mis en œuvre avec des colles spécifiques qui pourront, par exemple, aider à limiter le risque d'ouverture des joints. Il se trouve, effectivement, que les essais réalisés par le CSTC n'ont pas toujours permis d'identifier la cause des pathologies observées.

Ce constat a motivé une étude réalisée par la société Mapei au sein de leur

centre de recherche situé à Milan. Pour tester ses colles, Mapei a obtenu divers échantillons des fabricants de revêtements de sol les plus connus. L'objectif était de fournir des recommandations concernant l'emploi de leurs produits de collage. Les premiers résultats de cette étude sont abordés dans le présent article et concernent les revêtements de sol vinyliques.

La stabilité dimensionnelle des **revêtements de sol vinyliques** est évaluée conformément à la norme NBN EN ISO 23999 suivant la méthodologie suivante :

- conditionnement à 23 °C avec un taux d'humidité relative (HR) de 50 % durant au moins 24 h
- conditionnement à 80 °C pendant 6 h
- refroidissement et reconditionnement à 23 °C avec un taux HR de 50 % pendant 24 h.

La variation linéaire, à partir de laquelle on établit la stabilité dimensionnelle, est alors déterminée par le rapport entre les dimensions de l'éprouvette après l'essai et sa longueur initiale. Selon la norme relative au produit (NBN EN ISO 10581), cette valeur doit être  $\leq 0,4\%$  lorsque les joints sont soudés. La norme ne tient pas compte du comportement du revêtement de sol en cours d'essai.

Dans ce cadre, on a procédé à des essais sur un échantillon de LVT (*Luxury Vinyl Tile*, **dalle de luxe de type vinylique hétérogène** constituée de plusieurs couches

de composition et/ou de conception différentes). La méthodologie mentionnée dans la norme NBN EN ISO 23999 a été suivie, à l'exception près que les variations dimensionnelles de l'échantillon ont été mesurées à chaque étape du conditionnement. Les résultats d'essai ont révélé des mouvements finaux maximums de  $-0,08\%$  – c'est-à-dire des valeurs situées dans les limites imposées par la norme ( $\pm 0,4\%$ ) –, mais une dilatation allant jusqu'à  $+0,52\%$  lors du conditionnement à haute température. Cela signifie que ce revêtement de sol a tendance à se dilater lorsqu'il est exposé à la chaleur (une dalle de 50 x 50 cm exposée à une température de 80 °C donnerait, par exemple, une variation dimensionnelle de 2,6 mm), mais qu'une fois la température redescendue il revient quasiment à ses dimensions initiales.

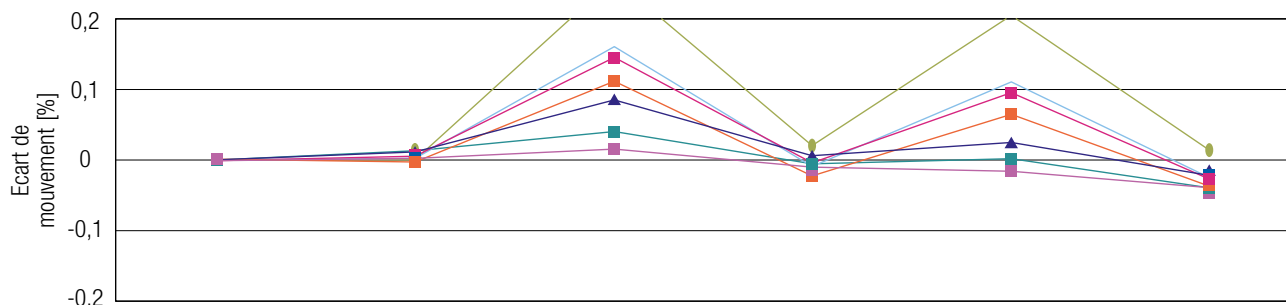
Le même échantillon de LVT a également été testé avec différentes colles généralement recommandées pour les revêtements de sol vinyliques, conformément à la norme NBN EN 14259, qui définit les exigences en matière de performances mécaniques et électriques. En particulier, des essais de stabilité dimensionnelle ont été réalisés selon la norme NBN EN 1903 sur les échantillons de revêtements de sol mis en œuvre avec les différents types de colles. Les étapes de conditionnement ont été réalisées suivant la méthodologie suivante :

- conditionnement du revêtement de sol seul pendant 48 h à 23 °C avec un taux HR de 50 % : mesure des dimensions

### 1 | Soulèvement des joints







Adhésif	Initial	24 h, +23 °C	4 h, +50 °C	24 h, +23 °C	7 j, +50 °C	24 h, +23 °C
1 ▲	0	0,015 %	0,085 %	0,005 %	0,025 %	-0,020 %
2 —	0	0,000 %	0,160 %	-0,010 %	0,110 %	-0,025 %
3 ■	0	0,005 %	0,145 %	-0,005 %	0,095 %	-0,025 %
4 ●	0	0,000 %	0,254 %	0,020 %	0,204 %	0,015 %
5 ■	0	0,000 %	0,015 %	-0,010 %	-0,015 %	-0,030 %
6 ■	0	0,000 %	0,110 %	-0,025 %	0,065 %	-0,040 %
7 ■	0	0,010 %	0,040 %	-0,005 %	0,000 %	-0,040 %

## 2 | Essai de stabilité dimensionnelle sur le LVT collé

initiales du revêtement

- encollage
- conditionnement du système collé à 23 °C avec un taux HR de 50 % durant sept jours : mesure des dimensions intermédiaires du revêtement
- conditionnement à 50 °C pendant 13 jours et refroidissement à 23 °C avec un taux HR de 50 % durant 24 h : mesure des dimensions finales du revêtement
- répétition du vieillissement accéléré au moins une fois, avec mesures des dimensions du revêtement.

La stabilité dimensionnelle est ensuite déterminée sur la base des rapports obtenus entre les dimensions initiales et les différentes mesures de dimensions intermédiaires et finales. La norme NBN EN 14259 fixe la limite maximale de variations dimensionnelles à  $\pm 0,2$  %.

Le protocole d'essai a été modifié afin d'en accélérer la procédure et de le rendre plus pertinent : les étapes de conditionnement ont été écourtées, mais une mesure des dimensions a été réalisée à la fin de chaque étape.

L'échantillon de LVT a été testé avec sept colles différentes, toutes en dispersion aqueuse, mais présentant les caractéristiques suivantes :

- **1 et 6** : colles 'universelles sensibles

à la pression de transition'

- **2 et 4** : colles 'sensibles à la pression' avec un film final très collant et un long temps ouvert
- **3** : colle bon marché classique pour les revêtements de sol vinyliques
- **5** : colle 'haute température'
- **7** : colle 'haute température' spécialement développée pour le LVT.

Sur la base des résultats (voir schéma à la figure 2), toutes les colles testées sont conformes à la norme NBN EN 14259, mais certaines d'entre elles (colles 2, 3 et 4) ne devraient pas être recommandées pour la pose de LVT, étant donné qu'après exposition à des températures élevées, le revêtement de sol montre des mouvements importants (jusqu'à 0,254 %). Par contre, l'utilisation de colles telles que les produits 5 et 7, spécifiquement développés pour le LVT, limite considérablement de tels mouvements.

## Conclusion

La mesure finale des dimensions telle que mentionnée dans les normes d'essai ne permet pas de prendre en compte l'amplitude totale des mouvements potentiels du revêtement de sol. Or, la sensibilité de certains types de revêtements aux différents conditionnements imposés peut induire des variations dimensionnelles importantes pouvant expliquer les mouvements du revêtement lorsque ce dernier est mis en œuvre avec une colle inappropriée.

Ces premiers résultats interpellants ne concernent qu'un type précis de revêtement de sol vinyliques et devraient être confirmés par des essais complémentaires. Toutefois, ils devraient permettre de mener une recherche approfondie en vue d'adapter la norme d'essai et d'optimiser le choix des colles en fonction des caractéristiques des revêtements. |

*E. Nguyen, ir., chef de projet, laboratoire Bois et coatings, CSTC*

*L'auteur tient à adresser ses plus vifs remerciements à Madame Paola Di Silvestro, ir., Corporate Product Manager chez Mapei, pour lui avoir permis d'utiliser les résultats de ses recherches.*





Dans le cas des chaudières au gaz et au mazout à chambre de combustion fermée, il arrive parfois que les systèmes d'évacuation des fumées concentriques installés horizontalement rencontrent des problèmes dus à la détérioration précoce des joints d'étanchéité situés entre les éléments du conduit de fumée. Dès lors, le raccord n'est plus étanche et l'eau de condensation qui se forme dans le conduits est susceptible de s'écouler dans le conduit d'amenée d'air entraînant, par conséquent, des dégâts à la chaudière. Divers facteurs peuvent être à l'origine de cette dégradation, en particulier le lubrifiant, souvent utilisé pour faciliter l'emboîtement des tuyaux.

## Influence du **lubrifiant** pour la pose des systèmes de cheminée concentriques

### Où se situe le problème ?

Les problèmes de fuite surviennent généralement avec les systèmes de cheminée concentriques constitués d'un conduit de fumée en matière synthétique, portant un marquage CE et répondant à la norme NBN EN 14471. Dans le cadre de ce marquage CE, la résistance aux acides des joints devant assurer l'étanchéité entre les éléments constituant le conduit est toujours contrôlée. Les fuites se situent généralement à l'emboîture entre la conduite de raccordement concentrique horizontale de la chaudière et le système d'évacuation vertical. Après un laps de temps assez court, le joint présente une certaine altération entraînant une perte d'étanchéité au droit du raccord. L'eau de condensation s'écoule alors, par ce nouveau passage, dans le conduit d'amenée d'air et peut ainsi parvenir jusque dans la chaudière et l'endommager. Cette

### Certains lubrifiants ont un effet néfaste sur les joints d'étanchéité en EPDM.

dégradation n'a toutefois été constatée qu'avec les joints en EPDM (voir encadré à la page suivante).

### Quels sont les facteurs d'influence ?

Il est essentiel de choisir un joint fabriqué avec le matériau adéquat. Pour ce faire, le facteur déterminant est le type de combustible utilisé (mazout ou gaz). Celui-ci influence en effet la nature des gaz de combustion, l'eau de condensation et la température des gaz. Ces paramètres déterminent, à leur tour, le choix du matériau du conduit de fumée lui-même. Le tableau ci-dessous

livre un aperçu de quelques matériaux couramment utilisés pour les systèmes de cheminée concentriques en fonction du combustible pris en considération et de la température maximale des fumées.

Lors du choix d'un système de cheminée, il y a lieu de suivre les prescriptions du fabricant de la chaudière. Il convient évidemment d'utiliser les joints d'étanchéité correspondants.

Il importe, en outre, de se conformer aux instructions de pose du fabricant. Ainsi, pour que l'eau de condensation s'évapore correctement, celui-ci recommande fréquemment de prévoir une pente de 3°

Matériaux utilisés dans les systèmes de cheminée concentriques en fonction du type de combustible et de la température maximale des fumées

Matériau du conduit de fumée (1)	Combustible		Température maximale des fumées	Matériau de la garniture d'étanchéité (2)
	Mazout (avec un maximum de 0,2 % de soufre)	Gaz		
Acier inoxydable	Oui	Oui	200 °C	Elastomères fluorés
Aluminium	Non	Oui	160 °C	Silicones
Polypropylène	Oui	Oui	120 °C	EPDM

(1) Les conduits de fumée métalliques doivent répondre à la norme NBN EN 1856-1 et les conduits en matière synthétique à la norme NBN EN 14471.

(2) Les garnitures d'étanchéité doivent répondre à la norme NBN EN 14241-1.



(ou de 5 cm/m) (conformément à la norme NBN EN 15287-2) <sup>(1)</sup>.

Un dernier facteur qui semble jouer un rôle sur la durée de vie des joints est la nature du lubrifiant, souvent utilisé pour faciliter l'emboîtement des tuyaux. Il ressort effectivement des essais indicatifs réalisés par le laboratoire Chimie du bâtiment (voir encadré) <sup>(2)</sup> que certains lubrifiants ont une influence négative sur la durée de vie des garnitures en EPDM lorsqu'ils entrent en contact avec des solutions acides (eau de condensation, par exemple). L'utilisation de certains aérosols à base de silicone, pourtant autorisés par certains fabricants, semble également avoir un effet néfaste sur les joints. Les problèmes les plus fréquents

résulteraient donc de l'utilisation d'un lubrifiant incompatible avec le joint en EPDM. Nous recommandons dès lors, pour le montage des systèmes de cheminée, de lubrifier les joints uniquement avec de l'eau, dans laquelle on aura éventuellement dilué du détergent de vaisselle traditionnel, disponible en commerce, ou le lubrifiant fourni par le fabricant.

### Conclusion

Les problèmes de fuite auxquels nous sommes parfois confrontés dans le cas de chaudières de chauffage central équipées de systèmes de cheminée concentriques installés horizontalement résultent d'une détérioration précoce

des joints en EPDM. Quelques essais ont révélé que ce désordre serait dû à la stagnation de l'eau de condensation en contact avec les joints préalablement enduits de certains lubrifiants destinés à faciliter le montage. Il est donc vivement recommandé de se conformer aux prescriptions du fabricant (notamment concernant les pentes minimales) et de n'utiliser que de l'eau (éventuellement additionnée de détergent de vaisselle traditionnel) ou le lubrifiant fourni par le fabricant. |

*I. De Pot, ing., conseillère principale,  
division Avis techniques, CSTC  
P. Steenhoudt, ir., chef de laboratoire,  
laboratoire Chimie du bâtiment, CSTC*

## Essais indicatifs réalisés en laboratoire

Plusieurs segments de joint en EPDM, en silicone et en élastomère fluoré ont été plongés durant cinq semaines dans une solution acide simulant les condensats acides des chaudières. Pour chaque matériau, les segments ont été préalablement enduits de graisse ou de savon noir, de lubrifiant à base de silicone (en aérosols) ou de détergent de vaisselle traditionnel.

Dans les conditions ambiantes du laboratoire, certains joints ont subi des dégradations. Nous constatons ainsi que le segment en EPDM préalablement enduit de graisses est considérablement détérioré (voir figure 2). Le silicone (voir figure 3) et le savon noir (voir figure 4) ont également dégradé le joint en EPDM, mais dans une moindre proportion que la graisse. En revanche, le détergent de vaisselle n'a pas provoqué d'altération perceptible (voir figure 5). En ce qui concerne les joints à base de silicone et d'élastomère fluoré, aucune dégradation n'a été mise en évidence après essai, quel que soit le lubrifiant utilisé.



1 | EPDM (avant essai)



2 | EPDM enduit de graisse (après essai)



3 | EPDM enduit de silicone (après essai)



4 | EPDM enduit de savon noir (après essai)



5 | EPDM enduit de détergent (après essai)

<sup>(1)</sup> Toutefois, même dans ce cas, il n'est pas possible d'éviter complètement la stagnation de l'eau de condensation.

<sup>(2)</sup> Ces essais ne permettent cependant pas de tirer de conclusion pour certains cas bien concrets.

Les méthodes de dimensionnement les plus utilisées en Belgique pour déterminer la capacité d'évacuation des gouttières sont décrites dans la norme belge NBN 306, dans la norme française NF DTU 60.11 P3 et dans la norme européenne NBN EN 12056-3. Etant donné les divergences dans les résultats, le CSTC a mené une vaste campagne d'essais visant à déterminer la meilleure méthode de dimensionnement des gouttières. Il en ressort que la méthode de calcul proposée par la norme européenne NBN EN 12056-3 conduit à des résultats se rapprochant le plus de la capacité d'évacuation réelle.

## Capacité d'évacuation des gouttières pendantes

### Essais

Les essais ont été réalisés sur trois types de gouttières pendantes couramment utilisées, à savoir :

- trois gouttières demi-rondes d'une largeur développée de respectivement 285, 333 et 400 mm
- deux gouttières trapézoïdales d'une largeur développée de respectivement 285 et 420 mm
- une gouttière rectangulaire (format DIN) d'une largeur développée de 333 mm.

Conformément à l'annexe A de la norme NBN EN 12056-3, la longueur des gouttières correspondait à 50 fois leur hauteur, ce qui équivaut à des longueurs comprises entre 3,5 et 5,35 m.

Les essais avaient pour but de déterminer la capacité d'évacuation des gout-

tières, autrement dit le débit maximal pouvant être évacué sans que ces dernières ne débordent. Diverses pentes ont ainsi été considérées : 0 %, 0,2 %, 0,5 % et 1 %. Cette étude tenait compte aussi bien des gouttières à écoulement libre (avec une seule extrémité ouverte par laquelle l'eau peut s'écouler librement) que des gouttières fermées par des talons des deux côtés et munies d'une ouverture d'évacuation constituée soit par une tubulure à angles droits d'un diamètre de 60, 80 ou 100 mm, soit par une naissance universelle d'un diamètre de 100 mm à l'extrémité (voir figure 1 à la page suivante).

### Résultats des essais

Nous nous sommes limités ici aux résultats d'essai obtenus avec la gout-

tière demi-ronde d'une largeur développée de 333 mm et d'une longueur de 4,33 m. Les autres résultats seront présentés dans la version intégrale de cet article.

Le tableau ci-dessous donne les débits maximums calculés selon les trois normes précitées et ceux mesurés en laboratoire avec des gouttières à écoulement libre munies d'une tubulure de 80 et de 100 mm et d'une naissance universelle. la surface maximale de toiture reliée à la gouttière (projection horizontale) est également indiquée pour chaque débit. Il est à noter que les normes belge et française ne considèrent que les gouttières pourvues d'une pente, alors que la norme européenne ne tient pas compte de la pente pour des gouttières dont la longueur correspond à 50 fois leur hauteur.

Capacité d'évacuation d'une gouttière demi-ronde d'une largeur développée de 333 mm et surface maximale de toiture pouvant y être raccordée

Pente de la gouttière	Capacité d'évacuation (débit maximal) et surface maximale de toiture raccordée						
	Normes			Essais du CSTC			
	NBN 306	NF DTU 60.11 P3	NBN EN 12056-3	Gouttière	Gouttière + tubulure de 80 mm	Gouttière + tubulure de 100 mm	Naissance universelle
0,0 %	/	/	2,3 l/s	2,4 l/s	2,2 l/s	2,3 l/s	2,4 l/s
	/	/	45 m <sup>2</sup>	48 m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>	47 m <sup>2</sup>	49 m <sup>2</sup>
0,2 %	4,0 l/s	2,4 l/s	2,3 l/s	2,7 l/s	2,4 l/s	2,5 l/s	2,5 l/s
	80 m <sup>2</sup>	48 m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>	53 m <sup>2</sup>	48 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
0,5 %	6,4 l/s	3,8 l/s	2,3 l/s	3,0 l/s	2,7 l/s	2,8 l/s	2,8 l/s
	127 m <sup>2</sup>	75 m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>	59 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>	56 m <sup>2</sup>	57 m <sup>2</sup>
1,0 %	9,0 l/s	5,3 l/s	2,3 l/s	3,5 l/s	3,1 l/s	3,3 l/s	3,3 l/s
	180 m <sup>2</sup>	106 m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>	71 m <sup>2</sup>	62 m <sup>2</sup>	66 m <sup>2</sup>	66 m <sup>2</sup>



1 | Naissance universelle munie d'une ouverture d'évacuation de 100 mm de diamètre pour une gouttière demi-ronde d'une largeur développée de 333 mm

En comparant les résultats obtenus selon les normes avec les résultats des essais, au moyen du tableau à la page précédente et du graphique de la figure 2, il apparaît que la norme belge NBN 306 et la norme française NF DTU 60.11 P3 surévaluent les capacités des gouttières et que les résultats de mesures se rapprochent le plus des

valeurs de la norme européenne NBN EN 12056-3.

Les résultats figurant dans le tableau permettent de déduire que les gouttières munies d'une naissance universelle et celles d'une tubulure à angles droits de 100 mm de diamètre présentent la plus grande capacité d'évacuation. L'ouverture d'évacuation équipée d'une tubulure de 80 mm de diamètre entraîne en revanche une nette diminution de la capacité, même si celle-ci est relativement limitée dans le cas d'une gouttière demi-ronde d'une largeur développée de 333 mm. Pour les gouttières d'une largeur développée plus importante, la différence de capacité d'évacuation sera encore plus marquée entre les gouttières munies d'une tubulure de 80 mm de diamètre et celles d'une tubulure de 100 mm de diamètre.

Les Dossiers du CSTC 2013/2.5 livraient déjà un aperçu des ouvertures d'évacuation selon la norme NBN EN 12056-3. Les valeurs obtenues avaient alors été comparées avec les résultats de la règle de calcul fréquemment utilisée '1 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>' qui exige, pour l'ouverture d'évacuation, une section de 1 cm<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de surface

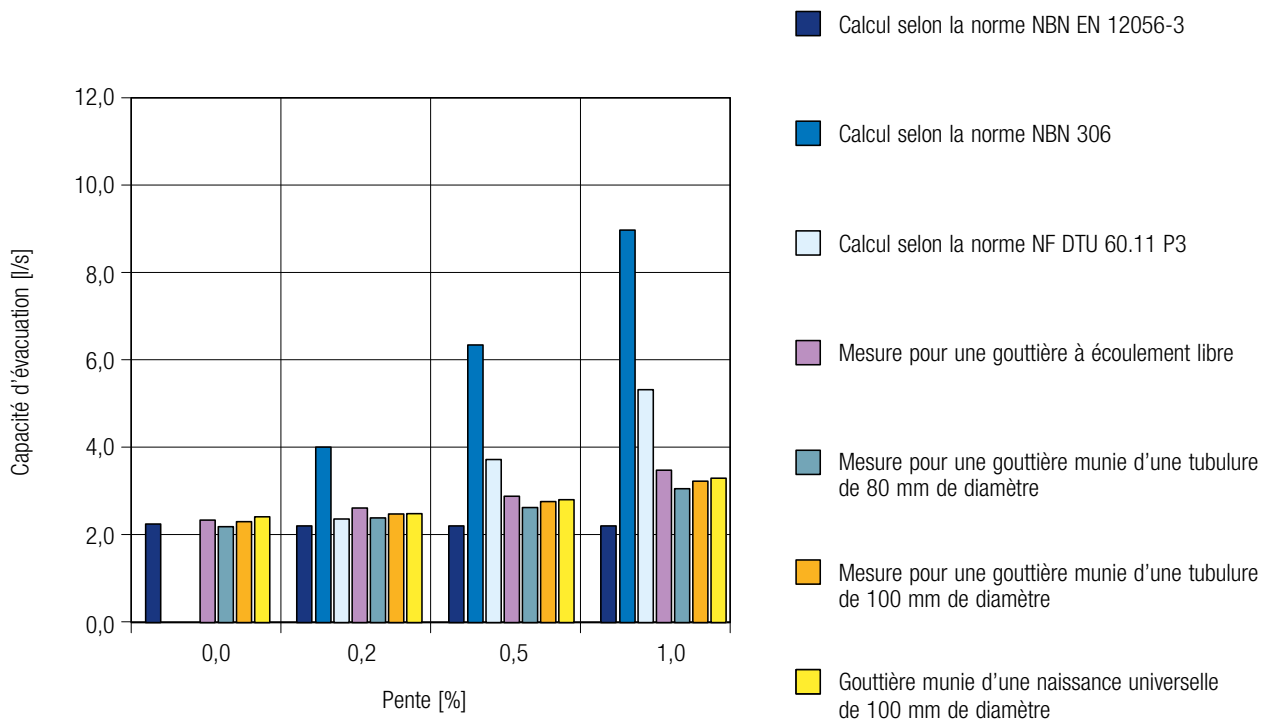
de toiture projetée horizontalement. Les résultats de notre récente campagne d'essais ont à nouveau démontré que la règle '1 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>' peut être appliquée pour dimensionner les ouvertures d'évacuation des gouttières pendantes.

### Conclusion

Il ressort des essais réalisés au CSTC que la meilleure méthode de dimensionnement pour des gouttières pendantes est celle fournie par la norme NBN EN 12056 et que les méthodes préconisées par la norme belge NBN 306 et la norme française NF DTU 60.11 P3 entraînent un sous-dimensionnement des gouttières.

En outre, la comparaison des résultats issus de cette campagne d'essais avec ceux obtenus grâce à la règle de calcul '1 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>' indique clairement que cette règle est toujours applicable pour le dimensionnement des ouvertures d'évacuation des gouttières pendantes. |

*L. Vos, ir.-arch., chercheur, laboratoire Techniques de l'eau, CSTC*



2 | Capacité d'évacuation d'une gouttière demi-ronde d'une largeur développée de 333 mm en fonction de la pente de celle-ci



Restez informé de la parution de la version longue de cet article via CSTC-Mail (infos sur [www.cstc.be](http://www.cstc.be)) : Les Dossiers du CSTC 2016/2.13



La mesure de l'étanchéité à l'air des bâtiments consiste à mettre ceux-ci en surpression ou en dépression (entre 10 et 100 Pa environ) au moyen d'un ou de plusieurs ventilateurs et à déterminer le débit d'air qui traverse leur enveloppe en fonction de la différence de pression engendrée. Le résultat de la mesure, généralement exprimé pour une différence de pression de 50 Pa, dépend des imperfections de l'enveloppe et de la présence d'éventuelles ouvertures. Il est donc nécessaire de préparer cette dernière de façon adéquate en fonction de l'objectif de la mesure, en fermant ou en scellant toutes les ouvertures que l'on souhaite exclure du test. Mais qu'en est-il lorsque cette mesure est effectuée dans le cadre de la performance énergétique des bâtiments ?

## Mesure de l'étanchéité à l'air dans le cadre de la PEB : comment traiter les dispositifs de ventilation ?

Le calcul de la PEB tient compte du débit d'infiltration déterminé par une mesure d'étanchéité à l'air. Si cette opération n'est pas effectuée, une valeur par défaut est attribuée. Il tient également compte des caractéristiques du système de ventilation de base. La ventilation intermittente (hotte de cuisine, par exemple) n'est pas prise en compte dans les calculs PEB, mais les éventuelles fuites de son dispositif de fermeture (ou l'absence de fermeture) sont considérées comme autant d'infiltrations. Il en va de même pour l'aération et les ouvertures non destinées à la ventilation.

Dans la pratique, il convient de respecter les règles de mesure et de préparation des bâtiments édictées par nos trois Régions (\*). De façon générale, on peut

indiquer que la Wallonie et la Région bruxelloise se réfèrent à la version 3 des spécifications supplémentaires (2013) et la Flandre aux STS-P 71-3 (2014).

### Traitement des ouvertures d'alimentation

Les ouvertures de ventilation installées dans l'enveloppe du bâtiment sont couramment appelées ouvertures d'alimentation réglables (OAR), ouvertures d'alimentation naturelle ou, plus simplement, grilles de ventilation.

Ces ouvertures doivent être fermées lors de la mesure de l'étanchéité à l'air. Cependant, compte tenu des hypothèses et conventions de calcul de la PEB, les spécifications techniques

STS-P 71-3 autorisent qu'elles soient scellées (voir figure à la page suivante), car elles peuvent présenter un certain débit de fuite en position fermée.

Afin de nous faire une idée de ce que ce débit de fuite peut représenter en pratique, nous avons testé en laboratoire cinq grilles différentes disponibles dans le commerce (voir tableau A). Les résultats obtenus indiquent que les dispositifs de fermeture sont relativement étanches dans les conditions de pression nominale (2 Pa) et qu'ils restent fermés jusqu'à une pression d'au moins 100 Pa. Le rapport entre le débit de fuite sous 50 Pa (différence de pression de référence pour l'étanchéité à l'air des bâtiments) et le débit nominal sous 2 Pa (différence de pression de référence pour la ventilation) varie de 3 à 22 %

A | Cinq grilles de ventilation ont été soumises à des tests en laboratoire afin de déterminer leur débit de fuite en position fermée

Débit [m <sup>3</sup> /h]	Grilles				
	1	2	3	4	5
A. Débit nominal sous 2 Pa (position ouverte)	39	40	43	47	55
B. Débit de fuite sous 2 Pa (position fermée)	0,3	1,3	0,1	0,5	0,7
C. Débit de fuite sous 50 Pa (position fermée)	2,1	8,8	1,3	3,5	9,6
Taux de fuite (C/A)	5 %	22 %	3 %	7 %	18 %

(\*) En Wallonie ([energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)), en Région de Bruxelles-Capitale ([www.environnement.brussels](http://www.environnement.brussels)) et en Flandre ([www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be)).



Scellement d'une ouverture de ventilation au moyen d'une bande adhésive

(voir le taux de fuite dans le tableau A). Selon la norme NBN D 50-001, un débit de fuite en position fermée est admis pour assurer un renouvellement d'air minimal. Ce rapport devrait toutefois être limité à 15 %.

Si l'on considère les règles de dimensionnement des systèmes de ventilation résidentiels applicables en Belgique, le fait de sceller les grilles au lieu de les fermer pourrait donc représenter un gain d'environ 0,01 à 0,2 h<sup>-1</sup> sur le taux de renouvellement d'air mesuré à 50 Pa (valeur n<sub>50</sub>).

Notons que les ouvertures telles que celles des boîtes aux lettres, celles destinées au rafraîchissement intensif de nuit ou encore à l'alimentation en air comburant des chaufferies ne font pas partie du système de ventilation.

### Traitement des bouches d'évacuation

Les bouches de ventilation installées dans des conduits non raccordés à un

ventilateur (ou raccordées à un ventilateur uniquement pour un soutien temporaire du débit), couramment appelées bouches d'évacuation naturelle ou ouvertures d'évacuation réglables (OER), doivent également être fermées lors de la mesure de l'étanchéité à l'air des bâtiments.

Pour les mêmes raisons que celles exposées précédemment, les spécifications techniques STS-P 71-3 autorisent qu'elles soient scellées pendant la mesure.

### Traitement des bouches de pulsion ou d'extraction

Les bouches de ventilation installées dans des conduits raccordés à un

ventilateur (pulsion ou extraction mécanique) et dédiées à la ventilation de base doivent être scellées lors de la mesure de l'étanchéité à l'air des bâtiments. Cela est généralement effectué en introduisant des ballons gonflables dans les conduits ou en appliquant de la bande adhésive sur les bouches.

En revanche, lorsque ces bouches sont destinées à la ventilation intermittente (hotte de cuisine, par exemple), elles doivent être fermées (ou rester ouvertes si elles ne disposent pas d'un dispositif de fermeture).

Enfin, nous tenons encore à signaler qu'un dispositif de ventilation de base présentant une fonction intermittente est considéré comme ventilation de base. |

*C. Delmotte, ir., chef du laboratoire Mesure de prestations d'installations techniques, CSTC  
X. Loncour, ir., chef de division, et C. Mees, ir., chef de projet senior, division Energie, CSTC*

*Cet article a été rédigé dans le cadre de la Guidance technologique 'Ecoconstruction et développement durable', subsidiée par InnovIRIS.*

## B | Tableau récapitulatif

Dispositif	Wallonie + Bruxelles-Capitale (spécif. suppl., version 3, 2013)	Flandre (STS-P 71-3, 2014)
Ouverture d'alimentation	Fermée	Fermée (scellement autorisé)
Bouche d'évacuation	Fermée	Fermée (scellement autorisé)
Bouche de pulsion ou d'extraction (ventilation de base)	Scellée	Scellée
Bouche de pulsion ou d'extraction (ventilation intermittente)	Fermée	Fermée





Les méthodes de construction en bois traditionnelles des maisons mitoyennes et des immeubles d'appartements offrant une protection acoustique insuffisante, et ce plus particulièrement dans le domaine des basses fréquences, de nouveaux concepts constructifs d'ossature en bois ont été développés dans le cadre des projets de recherche 'DO-IT Houtbouw' et 'AH+'. Le présent article traite des performances acoustiques mesurées *in situ* sur ces systèmes ainsi que des constructions de type CLT (*Cross Laminated Timber*).

# Nouvelles méthodes de construction en bois : premiers résultats acoustiques *in situ*

## Mise en œuvre d'un système constructif préfabriqué innovant à ossature en bois

Des mesures acoustiques ont récemment été réalisées à Meerhout dans une construction à ossature en bois (voir figure 1) conçue conformément aux nouvelles directives applicables aux murs et planchers séparant les habitations (voir *Les Dossiers du CSTC 2013/1.5, 2014/2.13* et *2015/2.17*). Le bâtiment considéré se compose de bureaux et d'appartements. Des **mesures d'isolation aux bruits aériens** effectuées entre l'un de ces bureaux et l'appartement situé au-dessus ont permis d'enregistrer

un niveau d'isolation de 68 dB ( $D_{nT,w}$ ), ce qui représente un gain de 10 dB par rapport aux critères de confort acoustique supérieur de la norme NBN S 01-400-1 ( $D_{nT,w} \geq 58$  dB). Si l'on prend en compte la grandeur  $D_{nT,w} + C_{50-3150}$ , considérant davantage l'isolation aux bruits aériens dans les basses fréquences, on obtient une valeur de 58 dB. A l'heure actuelle, cette norme ne formule toutefois aucune exigence à ce sujet.

La **mesure de l'isolation aux bruits de choc** livre, quant à elle, une valeur de 41 dB ( $L'_{nT,w}$ ), soit un gain de 9 dB par rapport aux exigences de confort acoustique supérieur ( $L'_{nT,w} \leq 50$  dB). Cette construc-

tion à ossature en bois préfabriquée offre donc de meilleures performances qu'une structure de plancher en béton traditionnelle. Quant aux performances vis-à-vis des très basses fréquences, un niveau d'isolation  $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$  de 50 dB a également été mesuré pour le plancher séparant les habitations.

## Réalisation *in situ* d'un concept constructif en bois innovant

Des mesures acoustiques ont été effectuées dans un complexe encore en construction à Tournai (voir figure 2). Ce grand projet de près de 8.000 m<sup>2</sup> compte cinq étages, dont quatre réalisés à l'aide d'une ossature en bois, et comprend 50 résidences-services et 16 appartements. Il aspire à atteindre un confort acoustique supérieur tel que défini dans la norme NBN S 01-400-1. La structure de base du bâtiment se compose d'une construction en bois de type 'poteaux-poutres', le complexe plancher a dû être légèrement adapté pour pouvoir satisfaire aux principes décrits dans *Les Dossiers du CSTC 2014/2.13*. Il a ainsi été nécessaire de prévoir une ossature métallique légère (voir figure 2), la portée entre les solives s'élevant à 1 m au lieu des 40 cm recommandés dans l'article susmentionné. Les plaques de plafond (deux plaques de ciment renforcées de fibres) ont été fixées à cette ossature et recouvertes d'une couche de silice de 3,5 cm d'épaisseur. On a disposé sur les solives des plots résilients sur lesquels reposent des panneaux OSB de 36 mm

1 | Le système constructif innovant à ossature en bois préfabriqué étudié permet d'obtenir des performances acoustiques *in situ* particulièrement bonnes.



Source : Machiels Building Solutions





Source : Leaucour Création (Atelier 2F – Fr. Marlier)

## 2 | Mise en œuvre sur chantier d'un concept innovant de construction en bois

d'épaisseur. Le tout a été recouvert d'une feuille de PE et d'une chape.

Les mesures ont été effectuées sans autre revêtement. Les murs séparant les habitations sont composés d'une double structure sur laquelle on a posé deux plaques de plâtre de 12,5 mm d'épaisseur du côté intérieur de chaque appartement. Il n'y a donc pas de plaques du côté intérieur de la coulisse. La recherche a en effet indiqué que cette configuration était essentielle pour la bonne isolation aux bruits aériens. Les vides très larges dans les structures de plancher et les murs séparant les habitations ont été remplis de fibres de bois, sous une pression assez faible. En raison des conditions de chantier, l'**isolation aux bruits aériens** entre appartements n'a pu être mesurée horizontalement. Il a toutefois été possible d'obtenir de très bons résultats sur une cloison d'essai montée en laboratoire : 63 dB ( $D_{nT,w}$ ) et 61 dB pour la grandeur tenant compte des basses fréquences ( $D_{nT,w} + C_{50-3150}$ ).

L'**isolation aux bruits de choc** comprenant les très basses fréquences ( $L'_{nT,w} + C_{1,50-2550}$ ) atteint 43 dB. Compte tenu de l'échelle logarithmique, il

s'agit d'une valeur sensiblement meilleure que celle exigée pour atteindre le confort acoustique supérieur de la norme actuelle.

### Application du Cross Laminated Timber (CLT) (\*)

Au cours des derniers mois, différents types de bâtiments intégrant le système constructif CLT ont été soumis à des mesures acoustiques. Les résultats obtenus dans les immeubles de bureaux et les bâtiments scolaires (voir figure 3) satisfont aux exigences, ce qui n'est pas toujours le cas des immeubles d'habitation. En effet, en l'absence de plafond suspendu, ce nouveau système constructif en bois – présentant une isolation aux bruits aériens inférieure à 50 dB ( $D_{nT,w}$ ) et un niveau de bruits de choc supérieur à 63 dB ( $L'_{nT,w}$ ) – offre une protection acoustique insuffisante vis-à-vis des bruits de voisinage.

En présence d'un plafond suspendu et d'une structure de plancher flottante performante, l'**isolation aux bruits aériens** satisfait aux critères; l'**isolation aux bruits de choc** reste toutefois



## 3 | Application du Cross Laminated Timber dans une école maternelle

assez faible. En effet, la valeur d'isolation moyenne mesurée de 57 dB ( $L'_{nT,w}$ ) ne répond que dans certaines situations aux exigences actuelles de confort acoustique normal de la norme NBN S 01-400-1. Ce n'est, par exemple, pas le cas lorsqu'une pièce de séjour est située au-dessus d'une chambre à coucher (exigence :  $L'_{nT,w} \leq 54$  dB). La protection acoustique fournie par le système constructif CLT étudié est donc plus faible que celle d'une construction traditionnelle en matériaux pierreux. Rappelons toutefois que l'exigence actuelle pour l'isolation aux bruits de choc pourrait bientôt être portée à une valeur de 54 dB pour toutes les situations.

Les collaborateurs de la division Acoustique se consacrent actuellement au développement de constructions CLT acoustiquement plus performantes destinées aux immeubles d'habitation, à l'instar de ce qui a été réalisé pour la construction à ossature en bois. |

*B. Ingelaere, ir., chef adjoint du département Acoustique, énergie et climat, CSTC*  
*M. Géhu, ir., chercheur, laboratoire Acoustique, CSTC*

La construction à ossature en bois offre de meilleures performances acoustiques qu'une structure de plancher traditionnelle en béton.

(\*) Le CLT est un produit de construction composé de panneaux en bois massifs, collés en couches croisées.

La version 2015 des normes ISO 9001 (management de la qualité) et ISO 14001 (management environnemental) exige des entreprises certifiées qu'elles analysent les risques et les opportunités liés à leurs activités. L'objectif est d'anticiper les problèmes et les opportunités afin de mieux gérer et maîtriser un projet en termes de finances, de délai, de qualité, de sécurité ou d'environnement.

# L'analyse des risques d'un projet

L'analyse de risques devient une obligation pour les entreprises souhaitant passer aux versions 2015 des normes précitées. Cependant, cet outil de management pourrait aussi bien être utilisé par les PME et les grandes entreprises qui souhaitent améliorer leur efficacité.

Une analyse des risques peut être traitée selon les trois phases décrites ci-après.

## Identification des risques

Les risques à identifier peuvent être de différentes natures : environnement, sécurité, finances, techniques, exécution... Cette identification est bien entendu fortement basée sur l'expérience et il importe de la réaliser en groupe, si possible, pluridisciplinaire,

afin de rassembler les compétences et l'expérience de l'ensemble des acteurs (*top management*, deviseur désigné, gestionnaire pressenti...). Cet aspect collaboratif est fondamental dans la perspective d'obtenir une liste de risques la plus exhaustive et pertinente possible. Il y a lieu de noter que cette approche 'collaborative' entre également dans un contexte plus global de nouveaux outils de gestion tels que le BIM (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/2.14](#)) préconisant une gestion plus anticipative et concertée des projets de construction.

## Evaluation du niveau des risques

Il convient ensuite d'évaluer le niveau de chacun des risques, afin de mettre en

évidence ceux étant plus critiques pour le projet et ceux pouvant être considérés comme négligeables. Cette évaluation se présente sous la forme d'un indicateur, dit **PG**, calculé sur la base de deux paramètres :

- la **probabilité** que le risque survienne
- la **gravité** de l'impact sur le projet si le risque survient.

## Identification et suivi des actions à mener

Différentes actions visant à maîtriser les risques peuvent enfin être envisagées. Elles sont, bien entendu, à définir au cas par cas, mais dans les grandes lignes, il sera possible :

- de refuser le risque
- de neutraliser ou diminuer le risque
- de partager les risques avec une tierce partie (compagnie d'assurance...)
- d'accepter le risque.

C-RISK : exemple d'une évaluation des risques identifiés et liste des actions à mener

Risques/Opportunités	Analyse		Indicateur PG	Traitement	
	Probabilité	Gravité		Action(s)	Type d'action
Mauvaises conditions du marché (indemnité de retard, clauses,...)	1-Rare	3-Moyen	Vert	Pas d'action spécifique prévue	Accepter
Accidents dû à des travaux en hauteur	1-Rare	5-Catastrophique	Jaune	Mise en place de toolbox meeting	Neutraliser/Diminuer
Accident dû à la manutention d'éléments de grandes portées	3-Possible	5-Catastrophique	Rouge	Mise en place de toolbox meeting	Neutraliser/Diminuer
Livraisons tardives des éléments préfabriqués	5-Presque certain	4-Haut	Rouge	Ne pas accorder le marché au sous-traitant béton consulté en phase de soumission car mal évalué en terme de respect des délais	Refuser
Risques inhérents à la conservation d'éléments en lamellé-collé dans un climat de chantier	3-Possible	5-Catastrophique	Rouge	Assurer une protection rapide des poutres par le complexe de toiture	Neutraliser/Diminuer

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, cette analyse des risques sera réalisée pour chaque nouveau projet, en tenant compte de l'expérience acquise sur les autres chantiers, mais également à un niveau plus stratégique : une fois par an, afin d'identifier les risques et les opportunités liés au contexte interne et externe de l'entreprise (connaissances techniques, concurrence...).

L'analyse des risques réalisée par l'entreprise sur un chantier donné permettra également de mettre en place un plan de contrôle de l'exécution bien plus pertinent et ciblé.



Le CSTC met à la disposition de ses membres un outil appelé C-RISK ayant pour objectif de sensibiliser les entreprises à la notion d'analyse de risques, de proposer une liste susceptible de faciliter l'identification des risques propres à l'entreprise et à ses chantiers, mais aussi de fournir un outil d'aide à l'évaluation des risques. L'application C-RISK est disponible auprès de la division Gestion et qualité du CSTC ([gebe@bbri.be](mailto:gebe@bbri.be)).

Division Gestion et qualité, CSTC

Cet article a été rédigé dans le cadre de la recherche Opticost, financée par la Wallonie.

# Publications du CSTC

## Notes d'information technique

**NIT 256** Conception et mise en œuvre de bâtiments industriels conformes aux exigences de sécurité contre l'incendie.

## CSTC-Rapports

**N° 16** Calcul des raidisseurs de vitrines.

**N° 17** Principes et aspects importants pour le choix de matériaux de construction durables.

## Monographies

**N° 20** Antennes Normes.

## Les Dossiers du CSTC

**2015/2.21** Tolérances dans la construction : les tolérances sous la loupe.

**2015/2.22** Tolérances dans la construction : terminologie.

**2015/2.23** Tolérances dans la construction : instruments et méthodologie de contrôle.

**2015/2.24** Tolérances dans la construction : combinaison de différentes tolérances.

**2015/2.25** Tolérances dans la construction : l'aspect fonctionnel avant tout (Gros œuvre et entreprise générale).

**2015/2.26** Tolérances dans la construction : quid des stagnations ? (Étanchéité).

**2015/2.27** Tolérances dans la construction : élégante, mais surtout étanche (Couvertures).

**2015/2.28** Tolérances dans la construction : fonctionnalité et aspect, deux éléments essentiels (Menuiserie).

**2015/2.29** Tolérances dans la construction : toute la lumière sur la réception des vitrages (Vitrerie).

**2015/2.30** Tolérances dans la construction : équilibre entre support et finition (Travaux de plafonnage, de jointoyage et de façade).

**2015/2.31** Tolérances dans la construction : tolérances combinées (Revêtements durs de murs et de sols).

**2015/2.32** Tolérances dans la construction : le support est primordial (Peintures, revêtements souples pour murs et sols).

**2015/2.33** Tolérances dans la construction : de rares tolérances (Plomberie sanitaire et industrielle, installations de gaz).

**2015/3.9** Dimensionnement des cloisons en verre.

**2015/4.5** Quel vitrage pour une fenêtre de toiture ?

## Publications

Les publications du CSTC sont disponibles :

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

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

## Formations

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



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

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

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

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

[www.cstc.be](http://www.cstc.be)

## Recherche • Développe • Informe

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

### Recherche et innovation

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

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

### Développement, normalisation, certification et agréation

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

### Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

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

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

### SIÈGE SOCIAL

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

### BUREAUX

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

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

### STATION EXPÉRIMENTALE

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

- recherche et innovation
- formation
- bibliothèque

### CENTRE DE DÉMONSTRATION ET D'INFORMATION

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

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

### BRUSSELS MEETING CENTRE

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