CSTC Contact

Une édition du Centre scientifique et technique de la construction

2021/4

Technologie des capteurs à fibres optiques
p4-5

Parois des constructions en bois
p10-11

Systèmes de climatisation durables
p18-21

Shutterstock

Dépôt : Bruxelles X • Numéro d'agréation : P 404010
18e année • Bimestriel

cstc.be
Recherche • Développe • Informe

Sommaire

2021/4

L'axe Métier : l'essence du CSTC 3

Des capteurs à fibres optiques pour stimuler l'innovation dans le domaine des fondations profondes 4

Pluies battantes : ne négligez pas le rôle de la sous-toiture 6

Compartimenter l'isolation d'une toiture plate : quels avantages ? 8

Composition des parois des constructions en bois avec coulisse ventilée 10

Des enduits à base d'argile pour les parachèvements intérieurs 12

La méthode des 5S pour une gestion plus efficace de vos outils 14

Bris des revêtements de soubassement en pierre naturelle 16

Comparaison de systèmes de climatisation durables 18

Les eaux de rabattement peuvent-elles être utilisées dans les installations sanitaires résidentielles ? 22

Quelles maçonneries de briques peuvent être peintes ? 24

L'axe Métier : l'essence du CSTC

Après la présentation du Green Deal dans l'édito du mois de juin de votre magazine, nous mettons ici l'accent sur un second axe de travail de notre plan **Ambitions 2025** : l'approche Métier. Les actions de ce plan sont entièrement centrées sur l'entrepreneur et orientées de manière à avoir un impact réel sur son travail quotidien. L'objectif du CSTC a toujours été, depuis sa création, de répondre aux besoins des entreprises de construction et d'**anticiper leurs attentes**, afin d'améliorer leurs connaissances techniques, mais aussi leurs compétences en matière de gestion et d'organisation. Tous ces travaux sont pilotés par nos 15 Comités techniques composés principalement d'entrepreneurs de construction et d'autres professionnels du secteur.

En établissant des **codes de bonne pratique** (les Notes d'information technique) et des articles techniques, le CSTC offre non seulement des réponses aux nombreuses questions des entreprises, mais s'efforce aussi de prévenir les dégâts sur chantier. La Note d'information technique dédiées aux toitures plates, l'un des documents les plus téléchargés par les professionnels, est en révision. Sa nouvelle version sera publiée prochainement. L'article de la page 8 se penche sur l'un des nombreux changements intervenus dans ce domaine.

Anticiper signifie également **aborder de nouvelles thématiques** permettant de satisfaire aux besoins futurs de nos membres. C'est, par exemple, le cas des enduits à l'argile traités en page 12.

Nous veillons par ailleurs à ne pas cloisonner les métiers, mais à avoir une **approche multidisciplinaire**, que nous appliquons notamment dans tous les détails constructifs qui enrichissent régulièrement notre base de données en ligne.

Si la communication numérique tend à s'imposer, le CSTC n'en oublie pas pour autant le contact personnalisé. Les ingénieurs des divisions 'Avis techniques et consultance' et 'Gestion et qualité' se tiennent **quotidiennement à la disposition des professionnels**. Les questions qu'ils traitent sont relayées auprès des Comités techniques et viennent compléter les points de vigilance identifiés directement par leurs membres. Il en est ainsi du phénomène de décollement des peintures appliquées sur briques. Le problème a fait l'objet d'un projet de recherche dont les premiers résultats sont livrés en page 24.

Enfin, le CSTC veut **aider l'entrepreneur dans tous ses défis et sans délai**. Malgré les pluies diluviennes de cet été, la raréfaction des ressources en eau représente un enjeu sociétal majeur. Dans ce contexte, l'utilisation possible des eaux provenant du rabattement des nappes aquifères lors des chantiers de construction pose question et mérite une attention toute particulière. L'article publié en page 22 y apporte des réponses.

Les besoins quotidiens des entreprises sont nombreux et très variés, mais nous nous attachons à y répondre sans relâche. Ce principe est l'essence même de votre Centre depuis plus de 60 ans et nous tenons à l'amplifier encore !

Des capteurs à fibres optiques pour stimuler l'innovation dans le domaine des fondations profondes

La technologie des capteurs à fibres optiques permet notamment de surveiller les déformations d'une structure. Il se trouve que cette technologie s'avère également utile dans le domaine des fondations profondes.

M. De Vos, ir., chef adjoint de la division 'Géotechnique, structures et béton', CSTC
N. Huybrechts, ir., chef de la division 'Géotechnique, structures et béton', CSTC
G. Van Lysebetten, ir., chef adjoint du laboratoire 'Géotechnique et monitoring', CSTC

Valeur ajoutée de la technologie des capteurs à fibres optiques

Les capteurs à fibres optiques offrent de nombreuses opportunités au secteur de la construction, notamment :
- pour le développement de nouveaux systèmes, composants ou matériaux de construction
- pour le monitoring à long terme des ouvrages d'art dans le cadre de la maintenance prévisionnelle ou des systèmes d'alerte précoce
- pour le contrôle de la qualité.

Cette technologie a en outre de nombreux atouts à faire valoir sur le plan des techniques de fondations profondes.

Innovation pour les fondations profondes

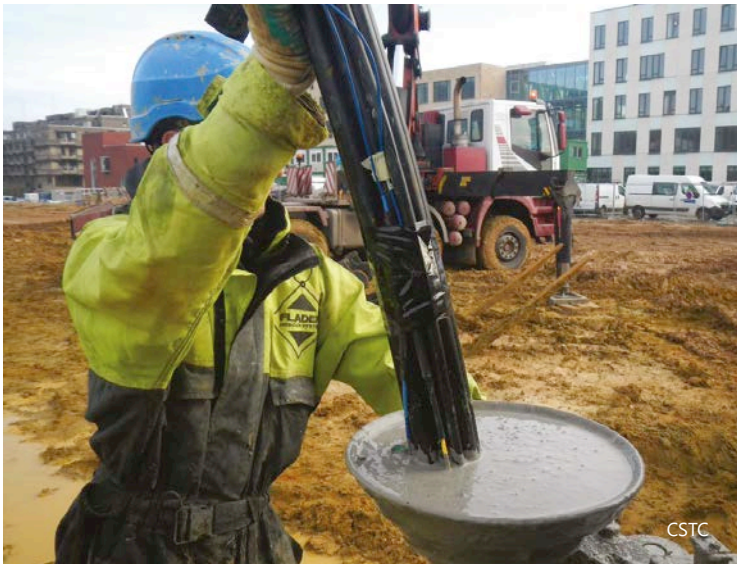
Les techniques de fondations profondes ont bénéficié de réelles innovations au cours des dernières décennies. Diverses méthodes de mise en œuvre ont ainsi fortement évolué, des techniques alternatives ont été élaborées et de nouvelles applications ont même vu le jour. Citons, par exemple, les différentes techniques de pieux vissés, les micropieux et les ancrages ainsi que les techniques de l'injection et du *soil mixing*.

Ces innovations sont en partie dues à la recherche permanente de **méthodes de travail plus efficaces et économiques**. Elles se traduisent, entre autres, par l'utilisation de machines de plus en plus performantes et équipées de dispositifs d'enregistrement automatique et d'outils de visualisation. Lorsqu'il met en œuvre un élément de fondation dans un sol très profond, l'utilisateur d'une telle machine bénéficie en temps réel d'un meilleur contrôle de ses manœuvres, ce qui facilite aussi le contrôle de la qualité.

La technologie avancée des capteurs permet, quant à elle, de détailler les **performances des éléments de fondation** (capacité portante, capacité d'ancrage, comportement de

1 | Mise en place de capteurs à fibres optiques dans une paroi moulée (à gauche) et dans un tirant d'ancrage (à droite).

CSTC


CSTC

2 | Intégration de capteurs à fibres optiques dans un pieu vissé à refoulement (à gauche) et dans un micropieu (à droite).

mise en charge, déformations, …). Ceci est essentiel pour mieux maîtriser les techniques de fondations innovantes et les inscrire dans le cadre normatif en vigueur.

Appliquer la technologie des capteurs à fibres optiques aux fondations profondes

Dès 2007, le CSTC a commencé à développer des prototypes de capteurs à fibres optiques pouvant être intégrés dans des éléments de fondation. Aujourd'hui, ces capteurs sont utilisés régulièrement et il n'existe presque aucune restriction à leur intégration dans les éléments de fondation les plus divers, qu'il s'agisse de parois moulées, de palplanches, de tirants d'ancrage ou de divers systèmes de (micro)pieux et d'éléments d'amélioration des sols.

La figure 1 illustre la mise en place, à gauche, de capteurs dans une paroi moulée réalisée dans le cadre des travaux de la liaison Oosterweel à Anvers et, à droite, d'un câble de capteurs dans un tirant d'ancrage composé de torons en acier de précontrainte sur un chantier situé dans le quartier Gasthuisberg à Louvain. La figure 2 montre l'intégration, à gauche, d'un câble de capteurs dans un pieu vissé à refoulement sur un chantier à Mons (le câble est scellé à l'aide d'un coulis de ciment dans un tube de réservation attaché à l'armature) et, à droite, dans un micropieu réalisé au moyen de tubes creux autoforants sur un chantier à Rotterdam (le câble est intégré au micropieu immédiatement après sa mise en œuvre).

Importance des essais de mise en charge instrumentés pour l'entrepreneur de fondations

Pour l'entrepreneur de fondations, la technologie des capteurs à fibres optiques se révèle surtout utile pour instrumenter des fondations profondes soumises à des essais de mise en charge. Ces derniers consistent à charger progressivement l'élément de fondation jusqu'à une charge maximale prédéterminée ou jusqu'à ce qu'il cède (voir figure 3). Les capteurs à fibres optiques permettent d'évaluer, à n'importe quel moment de l'essai, le **transfert des charges de l'élément de fondation vers les différentes couches du sol**. L'entrepreneur dispose ainsi d'informations détaillées concernant les performances de son système, qu'il peut alors dimensionner beaucoup plus précisément.

La procédure à suivre en Belgique pour réaliser ces essais est décrite dans le CSTC-Rapport 20, qui sera bientôt d'application (voir Les Dossiers du CSTC 2020/6.1). Ce Rapport fournit par ailleurs un cadre de qualité pour la réalisation des fondations sur pieux, qui consiste en un système ATG avec certification (ou équivalent). Ce cadre confère une plus grande importance encore aux essais instrumentés pour les entrepreneurs de fondations profondes. ⬟

Dans la pratique

Afin de promouvoir davantage l'utilisation des capteurs à fibres optiques, le CSTC – fort de son expérience dans le domaine – mène actuellement le projet COOCK avec la KU Leuven. Ce projet subsidié par VLAIO consiste en un monitoring de structures et de systèmes à l'aide de fibres optiques. Pour plus d'informations (présentations, webinaires et études de cas, par exemple) sur ces capteurs et leurs applications dans le secteur de la construction, rendez-vous sur le site Internet du projet : www.ovmonitoring.be (uniquement en néerlandais).

3 | Essai de chargement des pieux.

Pluies battantes : ne négligez pas le rôle de la sous-toiture

L'étanchéité d'une toiture en pente dépend en grande partie de la nature de la couverture, de la pente et du soin apporté à la mise en œuvre. Une étude menée par le CSTC a permis de montrer le rôle important de la sous-toiture lors de fortes pluies. Par conséquent, la réalisation de cette dernière requiert une attention particulière.

B. Michaux, ir., chef de la division 'Matériaux, toitures et performance environnementale', CSTC
D. De Bock, ing., conseiller principal, division 'Avis techniques et consultance', CSTC

Etonnamment, aucune norme belge ou européenne ne permet de qualifier le comportement d'ensemble des couvertures aux pluies battantes. Il existe tout au plus un rapport du Comité européen de normalisation (CEN/TR 15601:2012), mais celui-ci ne dispose pas du statut de norme. De plus, les combinaisons pluie/vent qui y sont définies ne sont pas représentatives des données récoltées dans plusieurs stations météorologiques en Belgique. Des conditions plus habituelles que celles proposées dans le rapport ont également été testées dans le cadre de l'**étude prénormative Rainroof** menée par le CSTC.

Dans ce contexte, des infiltrations d'eau ont été constatées sous la couverture. Bien que moins importantes qu'en cas d'intempéries intenses, elles n'en étaient pas moins fréquentes.

Combinaison couverture/sous-toiture

En revanche, la **double barrière d'étanchéité** formée par la couverture et la sous-toiture (constituées de panneaux ou de membranes) crée une étanchéité suffisante, pourvu que les pentes minimales ainsi que les recouvrements des éléments de couverture prescrits par les fabricants soient respectés.

Le rôle de la sous-toiture n'est pas à négliger, dans la mesure où il consiste à **récolter les eaux d'infiltration** et à **les évacuer vers la gouttière**. *A priori*, les toitures neuves en sont toujours pourvues, ce qui n'est pas nécessairement le cas des toitures existantes. Dans ce cas, afin d'éviter tout problème, la mise en œuvre d'une sous-toiture s'impose en cas de rénovation de la couverture ou d'aménagement des combles.

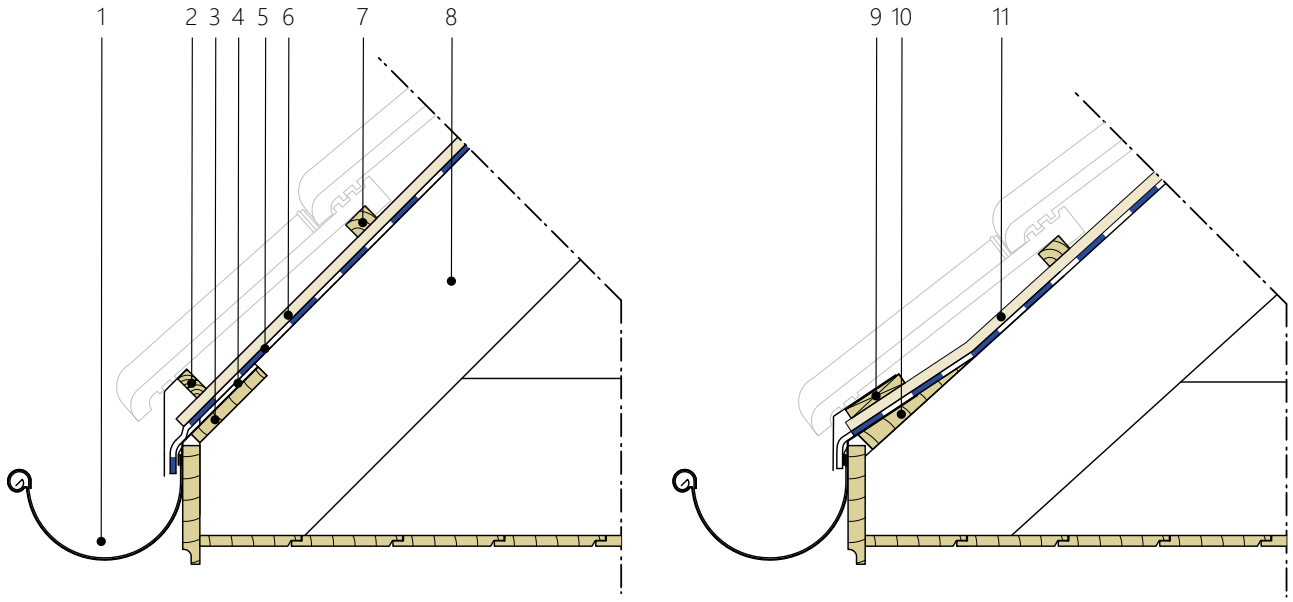
Notre étude révèle également que **la sous-toiture ne peut assurer l'étanchéité à elle seule**. Il est donc déconseillé de procéder à la pose de l'isolation thermique et des finitions intérieures si la couverture n'a pas déjà été placée.

Prévenir les infiltrations d'eau

Une conséquence des infiltrations d'eau est l'**exposition des lattes et contre-lattes à l'humidité**. Par conséquent, l'utilisation de bois traité (procédé A2 au minimum) contre les insectes et le pourrissement reste recommandée. Lors de la pose de l'isolant, il faut aussi éviter de repousser la sous-toiture vers le haut, car l'eau qu'elle récolte est alors redirigée vers les contre-lattes avec des risques accrus d'infiltrations au droit des fixations de la sous-toiture.

En cas de sollicitations extrêmes de la couverture et de la sous-toiture (ou lors de leur défaillance cumulée), **l'isolation thermique peut également être fragilisée**, car elle se trouve indirectement exposée aux éléments climatiques. En effet, bien que les infiltrations d'eau soient généralement sporadiques dans de telles situations, elles sont susceptibles d'humidifier l'isolant localement.

Il convient par ailleurs de veiller à la durabilité et à l'étanchéité de la sous-toiture, et ce notamment :
- en respectant le délai maximal recommandé entre la pose de la sous-toiture et la réalisation de la couverture
- en assurant un recouvrement suffisant et/ou un collage adéquat des lés de sous-toiture
- en posant soigneusement les membranes de jonction nécessaires localement, si l'on utilise une sous-toiture rigide
- en prévoyant des contre-lattes de hauteur suffisante (minimum 15 mm pour les toitures traditionnelles et 30 mm pour les toitures Sarking), de sorte que l'eau récoltée au niveau de la sous-toiture s'écoule comme il se doit vers les pieds de versant.



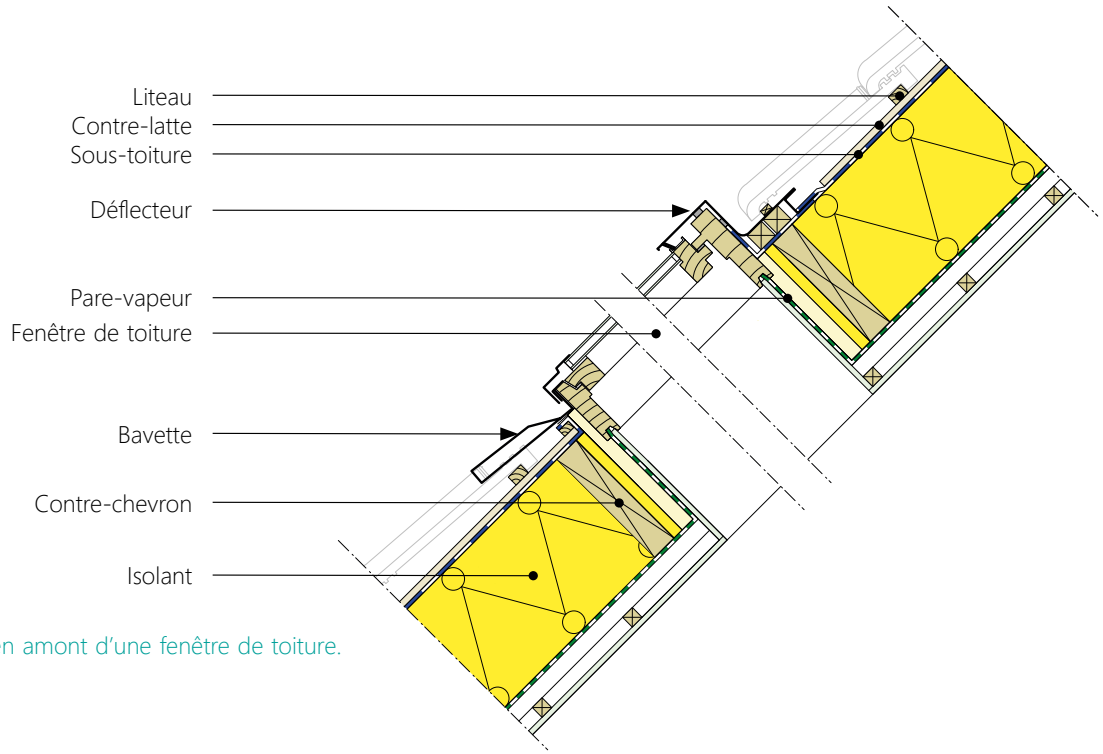
1. Gouttière pendante
2. Latte de pied (liteau surélevé)
3. Volige de pied de versant
4. Bande de raccord métallique ou synthétique entre la gouttière et la sous-toiture
5. Sous-toiture
6. Contre-latte
7. Avant-dernier liteau inférieur
8. Chevron
9. Volige de pied de versant
10. Volige coupée en biseau
11. Contre-latte cintrée

1 | Gouttière pendante en demi-lune.

Un complexe toiture compte habituellement de **nombreux percements** (fenêtres, cheminées, ...). Etant donné que ces derniers impliquent un risque d'infiltrations plus important, il importe d'accorder une attention particulière à la conception et à la réalisation de ces détails, notamment au niveau de la sous-toiture. Il s'agit entre autres :

- de réaliser, en pied de versant, un détail évitant les accumulations d'eau au niveau de la sous-toiture en intégrant la volige de pied de versant dans l'épaisseur des chevrons ou en la coupant en biseau (voir figure 1)
- de poser correctement les déflecteurs en amont de chaque percement (voir figure 2).

La suite du projet sera non seulement dédiée aux conditions de ventilation entre la couverture et la sous-toiture, mais aussi à l'évaluation des détails, car l'analyse basée sur le rapport CEN ne tient pas compte des ouvrages de raccord. ⬟



2 | Déflecteur posé en amont d'une fenêtre de toiture.

Compartimenter l'isolation d'une toiture plate : quels avantages ?

La présence d'un pare-vapeur en toiture plate entrave la découverte d'éventuelles infiltrations d'eau, d'autant plus s'il est étanche à l'eau (utilisé comme étanchéité provisoire, par exemple), car il permet alors la dispersion de l'eau dans le complexe. Il est toutefois possible de remédier à cet inconvénient en compartimentant la couche d'isolation à intervalles réguliers. Encore peu courante, cette pratique est abordée dans le cadre de la révision de la NIT 215.

E. Noirfalisse, ir., chef du laboratoire 'Isolation, étanchéité et toitures', CSTC
E. Mahieu, ing., chef de la division 'Avis techniques et consultance', CSTC

Bureau Bouwtechniek

Principe du compartimentage

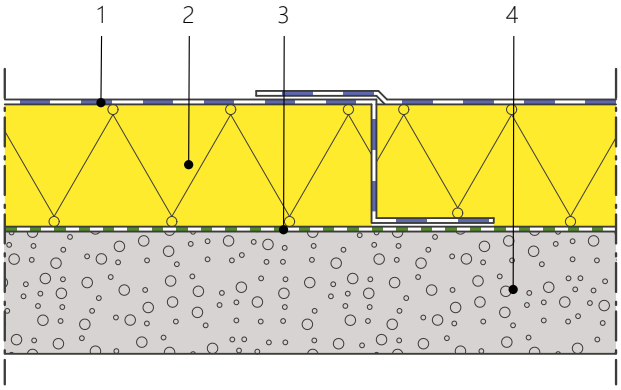
Le compartimentage s'effectue en assemblant la membrane d'étanchéité à l'eau et l'écran pare-vapeur, pour autant que ceux-ci soient compatibles (voir figure 1 à la page suivante). Il existe néanmoins des solutions en cas d'incompatibilité ou dans le cas, plus complexe, d'une isolation bicouche (voir Les Dossiers du CSTC 2019/2.3).

Ce compartimentage est différent de la fermeture de fin de journée, qui constitue une mesure provisoire destinée à protéger l'isolation des intempéries, mais qui n'est pas forcément suffisante pour remplir la fonction visée dans cet article.

Le principal objectif du compartimentage consiste à **limiter la propagation de l'eau infiltrée et l'humidification de l'isolation**, et ce quelle que soit la technique de pose du complexe (adhérence, semi-adhérence, lestage ou fixation mécanique). Cette technique peut aussi aider à **localiser une éventuelle fuite**, si elle s'accompagne de mesures non destructives de détection des fuites et/ou si le pare-vapeur est étanche (pas de film en polyéthylène ou de fixation mécanique perforant le pare-vapeur) et posé en adhérence totale sur un matériau ne permettant pas à l'eau de circuler (un béton, par exemple, plutôt qu'une forme de pente plus poreuse, tel qu'un béton mousse).

Implications

Le compartimentage confère au pare-vapeur une fonction complémentaire, plus proche de celle d'une membrane d'étanchéité. C'est un aspect prédominant dans le choix du pare-vapeur.



1. Etanchéité
2. Isolation
3. Pare-vapeur en matériau compatible avec l'étanchéité
4. Support de toiture

1 | Compartimentage de l'isolation en cas de compatibilité entre l'étanchéité à l'eau et le pare-vapeur.

Par ailleurs, étant donné que les matériaux et opérations supplémentaires que cette technique implique entraînent un **surcoût**, il est important de la prévoir dès la conception.

L'auteur de projet veillera en outre à **spécifier les dimensions des compartiments dans le cahier des charges**, afin que la mission de l'entrepreneur soit clairement définie. Ces dimensions doivent être déterminées en tenant compte, avant tout, du risque de stagnation d'eau. Celui-ci étant plus élevé au droit des rives et des angles, il est opportun de concevoir des compartiments plus petits à ces endroits. Il en va de même au droit des divers percements de toiture, et plus spécifiquement des avaloirs (voir NIT 244). La taille de la toiture et la cadence de pose (élevée pour les toitures industrielles fixées mécaniquement, par exemple) influencent également les dimensions des compartiments.

Puisqu'il peut s'avérer utile par la suite, le compartimentage doit être indiqué sur les **plans *as-built*** par le responsable désigné dans le cahier des charges.

Quand faut-il compartimenter ?

Le compartimentage n'est pas encore une technique courante. La décision d'y recourir ou non et la détermination des dimensions des compartiments par l'auteur de projet se font **au cas par cas**, en fonction des risques et conséquences (d'une éventuelle propagation d'humidité, pour la détection ultérieure d'infiltrations, ...).

Il se justifie en particulier lorsque l'étanchéité est **difficilement accessible** (terrasse, jardin, installations techniques, panneaux solaires, parking, ...).

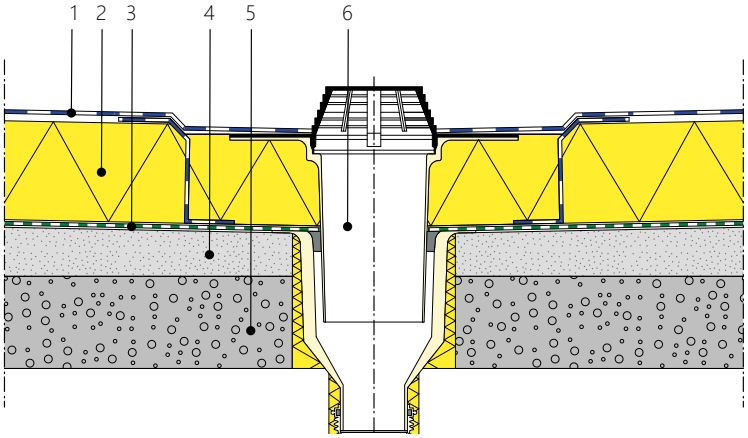
Détails et raccords

La NIT 244 recommande de **compartimenter l'isolation autour des émergences de toiture** – et plus spécifiquement des évacuations d'eau (voir figure 2) – de sorte que, en cas d'infiltration ou de refoulement, la dispersion d'eau dans la toiture soit limitée.

Cette méthode permet également de réduire les conséquences de la **condensation interne** résultant d'une discontinuité du pare-vapeur. En effet, au droit de certains détails, il n'est pas toujours facile de connecter correctement ce dernier à l'émergence de toiture, ce qui s'avère pourtant nécessaire :

- en cas de support de toiture perméable à l'air, afin d'obtenir un raccord étanche et d'éviter les courants de convection
- en cas de support de toiture étanche à l'air, où un pare-vapeur de classe E2 ou supérieure est requis, pour contrer les problèmes de diffusion de vapeur.

Pour relier convenablement le pare-vapeur aux évacuations d'eau, la NIT 244 propose d'**utiliser un avaloir double** lorsque le pare-vapeur appartient au moins à la classe E2 (voir figure 2). Or, il semble que la pose d'avaloirs de ce type ne soit pas encore fréquente. Dès lors, bien qu'il ne puisse pas remplacer complètement la fonction de cet avaloir double, un compartimentage limitera les conséquences d'un éventuel problème de condensation. ⬟



1. Etanchéité
2. Isolation
3. Pare-vapeur en matériau compatible avec l'étanchéité
4. Forme de pente
5. Support de toiture
6. Avaloir

2 | Avaloir double et compartimentage autour de l'émergence.

Composition des parois des constructions en bois avec coulisse ventilée

Au cours des cinq dernières années, le CSTC a étudié le comportement à la diffusion de vapeur d'eau des parois des constructions en bois. L'objectif était également de confronter les comportements hygrothermiques réels de diverses compositions de parois aux résultats d'une série de simulations. Ceci nous permet de valider les simulations théoriques et de pouvoir les appliquer à des compositions qui n'auraient pas été envisagées dans le cadre du projet.

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

Deux bâtiments à ossature en bois ont été construits dans le cadre de cette étude. Chacun comptait 42 parois (toitures plates et à versants, parois verticales et planchers sur vide ventilé). L'un des bâtiments a été conditionné pour une classe de climat intérieur II et l'autre pour une classe de climat intérieur III. Ces classes sont caractérisées par la pression de vapeur régnant dans les locaux. Dans le premier bâtiment, la température était de 18 °C pour un taux d'humidité relative de 65 %, tandis que, dans le second, elle était de 18 °C pour un taux d'humidité relative de 85 %. Les conditions de la classe III ainsi créées correspondaient à des situations d'insuffisance ou de défaillance de la ventilation ou du conditionnement d'air.

Le CSTC a notamment étudié des **parois disposant d'une coulisse ventilée.** Celles-ci combinaient différents types de matériaux de structure (ossature légère, bois lamellé-croisé ou CLT, ...), d'isolants (laine, fibres, synthétiques, à

CSTC

insuffler, ...) et de barrières d'étanchéité (freine-vapeur, pare-vapeur, panneau/membrane pare-pluie, ...).

Les parois ont été équipées de capteurs d'humidité relative et d'humidité des matériaux. L'étude que nous avons menée ciblait principalement ces derniers. Rappelons que le **taux d'humidité du bois** doit rester inférieur à 20 % pour éviter (sans mesures spécifiques) la pourriture, la moisissure ou d'autres problèmes éventuels tels que le tassement des isolants.

Les quatre années de suivi et de monitoring des parois et les extrapolations réalisées sur la base des logiciels de simulation ont permis de confirmer les principes suivants :

- les **panneaux de contreventement** doivent être placés, de préférence, sur la face intérieure des parois. Si le principe constructif implique un placement du panneau de contreventement du côté extérieur, le pare-vapeur doit avoir une résistance à la vapeur d'eau (µd) supérieure à 20 m (pour éviter la condensation due au flux de vapeur sortant) et la coulisse doit être fortement ventilée, afin de maintenir le plus constant possible le taux d'humidité de ces panneaux
- en cas de pare-vapeur ayant une valeur µd supérieure à 5 m, l'**orientation de la façade** n'influence pas le comportement hygrothermique des parois, et ce quel que soit le type de parement, pour autant que les coulisses sont ventilées
- certains panneaux, tels que les **panneaux OSB**, présentent des variations importantes sur le plan de la perméabilité à la vapeur (variations dues à l'humidité, mais aussi à l'hétérogénéité du matériau ou au type de fabrication). L'utilisation de ces panneaux comme freine-vapeur n'est possible que pour une classe de climat intérieur II et pour un écran extérieur nettement plus perméable (ratio intérieur/extérieur de la valeur µd supérieur à 10). Si ces conditions ne sont pas remplies, il faut prévoir un pare-vapeur complémentaire. La membrane peut être posée entre le panneau et la structure ou entre le panneau et le lattage de la contre-cloison
- la **fonction de régulation d'humidité** d'un isolant ne peut être activée que si la valeur µd du freine-vapeur est relativement basse (< 0,8 m). Comme la majeure partie de l'humidité stockée dans la couche isolante est renvoyée vers l'extérieur et ne peut que faiblement réalimenter l'air intérieur, il faudra compter sur d'autres matériaux pleinement activables situés à l'intérieur du volume protégé pour réguler cette humidité. La ventilation intérieure joue aussi un rôle prépondérant à cet égard
- l'**utilisation d'un freine-vapeur à valeur µd variable** est efficace pour les classes de climat intérieur I ou II si l'écran extérieur est nettement plus perméable à la vapeur. Cependant, dans le cas d'une classe de climat intérieur III, le taux d'humidité des matériaux (et du bois en particulier) peut augmenter pendant plusieurs semaines et dépasser 20 %. Le risque de développement de champignons est dès lors présent.

Dans le cas de **panneaux en bois lamellé-croisé (CLT)** pourvus d'un isolant extérieur, la présence d'un pare-vapeur positionné entre la couche d'isolation et les panneaux CLT constitue une solution.

On aboutit à des conclusions similaires entre les simulations et les monitorings pour la plupart des configurations de panneaux. Toutefois, lorsque les freine-vapeur ou pare-pluie sont composés de matériaux présentant des performances variables (OSB, par exemple), les résultats peuvent varier également. Lors des simulations, il faut donc s'assurer que la marge de sécurité est suffisante. ⬟

Des enduits à base d'argile pour les parachèvements intérieurs

Les matériaux naturels et locaux à faible impact environnemental connaissent un succès croissant depuis quelques années. Ce phénomène se ressent également dans l'engouement pour les enduits à base d'argile, des matériaux naturels à base de terre non cuite. En optant pour ce type d'enduits, il faut néanmoins tenir compte de leur sensibilité à l'humidité et de leur résistance mécanique inférieure à celle des enduits intérieurs habituels.

I. Dirkx, ir., chef adjoint du laboratoire 'Matériaux de construction', CSTC

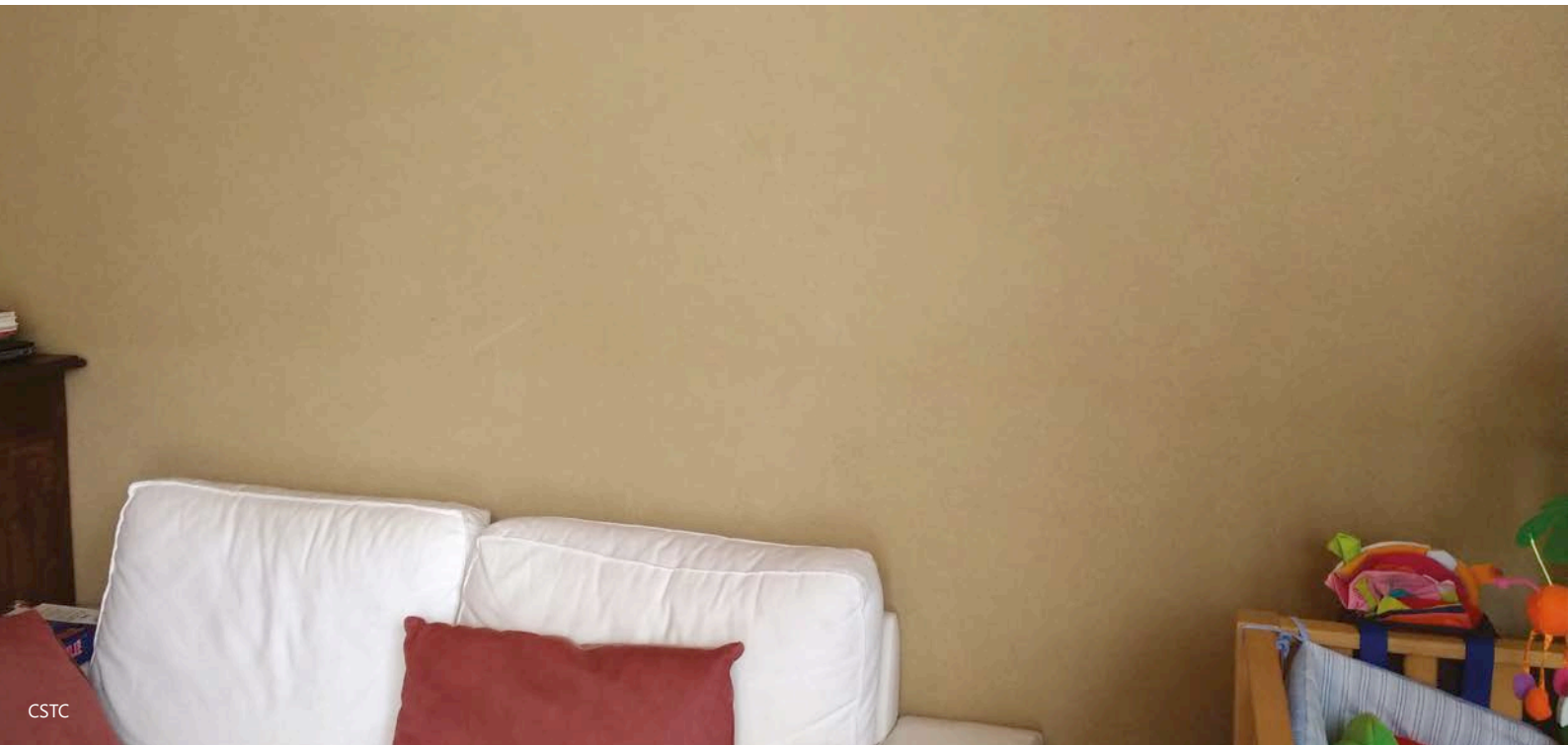
Les enduits à base d'argile peuvent être utilisés comme enduits intérieurs. Ils sont **composés d'argile, de limon, de sable et d'éventuels additifs**. L'argile agit comme liant. On qualifiera l'enduit de 'gras' ou de 'pauvre' selon qu'il contient respectivement plus d'argile ou plus de limon et/ou de sable.

Le durcissement de ces enduits est obtenu par **séchage physique** sans réactions chimiques. Ils redeviennent mous au contact de l'eau. Plus la quantité d'eau augmente, plus les forces de liaison diminuent.

Produire ces enduits n'entraîne pas une forte consommation énergétique. En effet, l'argile n'a pas besoin d'être chauffée et doit seulement faire l'objet d'un traitement mécanique (broyage, tamisage). Comme aucune réaction chimique ne se produit, ils sont facilement recyclables et réutilisables.

Caractéristiques

En raison du retrait important qu'ils subissent en durcissant, les enduits à base d'argile sont très **sensibles à la fissu-**



CSTC

Performances mécaniques des enduits à base d'argile selon la norme allemande DIN 18947 (*).

Caractéristique		Résistance à la compression	Résistance à la flexion	Adhérence
Classe de résistance	S1	≥ 1,0 N/mm²	≥ 0,3 N/mm²	≥ 0,05 N/mm²
	S2	≥ 1,5 N/mm²	≥ 0,7 N/mm²	≥ 0,10 N/mm²
(*) Remarque : il n'existe à l'heure actuelle aucune norme européenne ou belge pour les enduits à base d'argile. Les travaux de rédaction d'une norme belge ont cependant commencé.				

ration. Pour y remédier, des fibres végétales (paille ou lin, par exemple) sont souvent ajoutées à leur composition. Il arrive même que l'on prévoie un treillis d'armature. Malgré ces mesures, l'apparition de fissures ne peut jamais être totalement exclue.

Ces enduits sont également **sensibles à l'humidité**. Il convient d'éviter tout contact direct avec de l'eau. En d'autres termes, il est déconseillé de les appliquer dans des locaux humides (comme les salles de bains) ou aux endroits où ils sont susceptibles d'être aspergés.

En outre, les enduits à base d'argile disposent de **caractéristiques mécaniques inférieures** à celles des enduits habituels au plâtre ou à la chaux. Leur résistance à la compression et à la flexion est généralement moins bonne, par exemple. En conséquence, leur surface est plus sensible à l'usure et aux détériorations. Quant à leur adhérence au support, elle peut être décrite comme plutôt moyenne ou faible par rapport à celle des autres enduits intérieurs, mais elle est suffisante si le support est stable. Nous déconseillons vivement d'utiliser des enduits aux performances inférieures à celles de la classe S1 (voir tableau). Dans tous les cas, ces enduits ne sont donc pas appropriés comme support pour la pose d'un revêtement carrelé.

Le tableau ci-dessus livre un aperçu des performances des enduits à base d'argile selon la norme allemande DIN 18947. Pour les caractéristiques des autres enduits intérieurs, on se référera aux Dossiers du CSTC 2014/2.8.

Les enduits à base d'argile peuvent contribuer à créer un certain effet tampon vis-à-vis d'éventuelles variations d'humidité relative du climat intérieur. Il est possible d'évaluer cette caractéristique à l'aide de la valeur du tampon hydrique (*Moister Buffer Value* en anglais, qui est déterminée selon le Nordtest-Report BYG DTU R-126, 2005). En fonction de leur épaisseur et de leur finition de surface, ces enduits peuvent disposer de bonnes propriétés de régulation de l'humidité (MBV 1-2 g/(m²%RH)), mais ils ne doivent en aucun cas être utilisés pour remplacer un système de ventilation efficace.

D'après la littérature, les enduits à base d'argile disposeraient de meilleures performances d'absorption acoustique. Or, ce n'est le cas que pour les enduits poreux (souvent projetés). Le coefficient d'absorption acoustique est fortement influencé par la finition des surfaces, comme expliqué dans Les Dossiers du CSTC 2021/2.6.

Mise en œuvre et aspect

L'application se fait habituellement en **deux, voire plusieurs couches** : un enduit de base et un enduit de finition. L'enduit de base, plus épais (10 mm ou plus), contient des fibres plus grossières et dissimule les éventuelles irrégularités du support. Lorsqu'il est sec, un enduit de finition (2 à 5 mm) peut être mis en œuvre. C'est lui qui donnera la teinte et l'aspect souhaités. Il est également envisageable de n'appliquer qu'une seule couche, à condition que le support soit homogène, plan et qu'il ait un pouvoir d'absorption uniforme. Si ces conditions ne sont pas réunies, la structure du support risque d'apparaître sous la surface de l'enduit, en raison d'un séchage non uniforme.

En général, les enduits à base d'argile sont choisis pour leur aspect rustique aux teintes de terre et pour leur structure moins lisse. Les nuances de teinte doivent être acceptées dans une certaine mesure, puisqu'il s'agit d'un matériau naturel appliqué manuellement. Etant donné qu'il se peut que ces enduits aient déjà la couleur et la structure souhaitées, il n'est pas nécessaire de prévoir une finition supplémentaire (couche de peinture, par exemple). Si une finition est quand même appliquée, il est conseillé d'opter pour une peinture à base d'argile ou un système de peinture ou d'enduit perméable à la vapeur.

Grâce à la solubilité dans l'eau des enduits à base d'argile, les détériorations ou les microfissures sont réparables jusqu'à un certain point en humidifiant légèrement l'enduit. Ces réparations sont susceptibles d'entraîner de légères variations de teinte. Une surface fragile ou sablonneuse (plus faible teneur en argile, par exemple) peut être renforcée au moyen d'une résine incolore ou d'une peinture spécifique. Quoi qu'il en soit, il est recommandé de consulter le fabricant avant toute réparation. Il faut aussi garder à l'esprit que tout traitement antérieur et postérieur peut avoir un impact sur les possibilités de recyclage de l'enduit. ⬟

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'étude prénormative Clay-Bio-Masonry et de l'Antenne Normes 'Parachèvement' subsidiée par le SPF Economie.

La méthode des 5S pour une gestion plus efficace de vos outils

En tant que carreleur, vous utilisez différents types d'outils. Il est donc primordial d'employer et d'entretenir correctement votre matériel, afin d'en prolonger la durée de vie. Par ailleurs, l'utilisation plus efficace de vos outils aura un impact important sur la qualité de votre travail et la rentabilité de votre chantier.

T. Vangheel, ir., conseillère principale senior, division 'Communication et formation', CSTC
T. Vissers, ing., chef adjoint de la division 'Gestion et qualité', CSTC
B. Coemans, ing., conseiller principal senior, division 'Gestion et qualité', CSTC

Mauvaise organisation d'une camionnette.

Peter Goegebeur

On constate souvent des gaspillages sur les chantiers (voir Les Dossiers du CSTC 2019/3.7). Ceux-ci entraînent inévitablement une baisse de la rentabilité. Une utilisation plus efficace des outils réduit les pertes de temps au quotidien et garantit l'avancement des travaux (voir Les Dossiers du CSTC 2020/3.7). L'application de la méthode des 5S, issue du *lean construction*, peut s'avérer utile à cet égard (voir Les Dossiers du CSTC 2018/2.15). Cette méthode japonaise en cinq étapes propose aux entreprises de mettre en place une structure de travail devant leur permettre de créer systématiquement un **environnement de travail de qualité** sur tous leurs chantiers. Cet environnement doit être fonctionnel, propre, facile d'entretien et sécurisé.

Etape 1 : *Seiri* (éliminer)

La première étape de la méthode des 5S consiste à s'assurer que **seuls les objets utiles et utilisables sont présents sur le lieu de travail**. Il est dès lors essentiel de contrôler régulièrement votre matériel et de le remplacer si nécessaire.

Par exemple, si les dents d'un peigne à colle sont trop usées par le frottement constant sur le support, il convient de le remplacer, car les sillons réalisés avec un tel peigne seraient moins épais que souhaités. Lors de la pose des carreaux, il se pourrait qu'il n'y ait pas assez de colle et que la surface de contact soit dès lors insuffisante.

Si votre longue règle n'est plus droite, elle laissera derrière elle des bosses et des creux, rendant ainsi inégale la surface à carreler.

Si vous sentez ou entendez que le mouvement de rotation de la molette de votre coupe-carreaux n'est plus aussi souple

qu'avant, il est préférable de la remplacer. Il est également conseillé d'aiguiser régulièrement vos scies et vos mèches. En utilisant un matériel de découpe ou de sciage mal aiguisé, vous risquez effectivement d'obtenir des bords de coupe dentelés qui ne seront peut-être pas couverts par la plinthe.

Le matériel ne doit en outre être utilisé que pour les tâches auxquelles il est destiné. Si vous devez exercer une force excessive sur un outil, cela signifie qu'il n'est pas adapté au travail à accomplir et qu'il faut en choisir un autre.

Etape 2 : *Seiton* (ranger)

Qu'il s'agisse de petits outils comme un peigne à colle, un mélangeur, un mètre laser, … ou d'outils plus imposants tels qu'un coupe-carreaux, une meuleuse, voire votre camionnette elle-même, l'ordre et le rangement sont primordiaux. C'est pourquoi il est conseillé d'**aménager votre camionnette et votre espace de stockage de façon méthodique et pratique**. Si vos outils disposent chacun de leur propre place et s'ils sont toujours bien rangés au même endroit, vous retrouverez rapidement celui dont vous aurez besoin. Par ailleurs, une camionnette bien organisée est un gage de professionnalisme.

En rangeant vos outils dans des coffres ou des caisses, vous évitez ainsi qu'ils ne soient couverts de poussière. En outre, si le matériel est correctement rangé ou fixé dans la camionnette, il risque moins d'être endommagé dans les virages ou lors de manœuvres brusques.

Comme la molette du coupe-carreaux peut être endommagée pendant le transport, il est recommandé de la retirer avant le rangement et le transport.

Etape 3 : *Seiso* (nettoyer)

En veillant à ce que le matériel soit **propre et prêt à l'emploi**, vous gagnerez aussi un temps précieux sur le chantier. Il est donc recommandé de nettoyer soigneusement le bac, le mélangeur, la truelle et le peigne à colle après chaque utilisation. En effet, des résidus de colle séchée sont susceptibles de se détacher du peigne lors d'une utilisation ultérieure et d'entraîner la formation de grumeaux dans le mélange de colle. Ces résidus sont en outre beaucoup plus difficiles à éliminer lorsqu'ils sont secs.

Si les carreaux ne sont pas suffisamment plats et bien positionnés sur le coupe-carreaux, ils risquent de se briser autrement que prévu. Les débris de carreaux doivent donc être éliminés et le coupe-carreaux dépoussiéré.

En cas d'utilisation d'un coupe-carreaux électrique, tel qu'une débiteuse à pont ou une table de coupe, il faut s'assurer que les roulements à billes restent propres. Dans le cas contraire, les carreaux risquent d'être sciés en biais, donnant ainsi au carrelage une épaisseur de joint irrégulière.

En ce qui concerne les outils à lubrifier, il est conseillé de prévoir une lubrification régulière avec un lubrifiant approprié (graisse, huile, graphite, …). Il est préférable d'adapter cet entretien à la fréquence et à la durée d'utilisation du matériel. En d'autres termes, plus vous utilisez un outil et plus vous l'utilisez longtemps un outil, plus vous devez le lubrifier.

Etape 4 : *Seiketsu* (standardiser)

Pour faciliter la mise en pratique des étapes précédentes, celles-ci doivent être **exécutées de manière cohérente et uniforme**. Un contrôle peut éventuellement être prévu dans le cadre d'une visite sur chantier.

Etape 5 : *Shitsuke* (suivre)

La dernière étape consiste à s'assurer que les étapes précédentes sont **appliquées systématiquement**. ⬟

Bonne organisation d'une camionnette.

Peter Goegebeur

Bris des revêtements de soubassement en pierre naturelle

La pierre naturelle connaît un véritable succès comme parement de mince épaisseur pour les façades ventilées. Malheureusement, elle subit parfois des dégradations, telles que des éclats et des fissurations, et ce le plus souvent au droit des soubassements.

D. Nicaise, dr. sc., chef du laboratoire 'Minéralogie et microstructure', CSTC

1 Causes potentielles

1.1 Une mauvaise jonction entre la façade et le sol

Lorsque les pierres de soubassement d'un bâtiment ont été posées par agrafage et que le pavage a été réalisé ultérieurement, il arrive que l'on constate après quelques mois :
- un **mauvais alignement** des pierres
- des **éclats** au niveau des goujons d'ancrage
- une **fissuration entre les ancrages latéraux** situés de part et d'autre des dalles (voir figure 1).

De telles dégradations sont dues aux pressions exercées par le revêtement de sol lorsqu'il se trouve à un niveau supérieur à celui de la pierre de soubassement. Ces pressions ont pour origine :
- une **dilatation empêchée du revêtement de sol**, qui survient lorsque l'espace entre ce dernier et le soubassement est insuffisant ou lorsque cet espace est jointoyé à l'aide d'un mortier. Il s'agit de la cause principale
- une **augmentation de volume du joint ou du revêtement de sol** lors d'une phase de gel.

1.2 Des chocs dans un soubassement exposé

La rupture des pierres de soubassement peut aussi être due à des **chocs accidentels** provoqués notamment par des deux-roues (voir figure 2). Les bâtiments jouxtant des rues ou places publiques animées sont donc particulièrement concernés.

L'intensité des chocs n'est pas toujours anticipée lors de la conception et l'épaisseur de la pierre s'avère alors parfois insuffisante, d'autant plus si la position des ancrages est élevée par rapport au niveau du sol (dalles très hautes, par exemple). Lorsqu'ils sont deux, les ancrages se placent généralement au tiers de la hauteur. Plus ils sont en hauteur, plus le risque de dégradation est élevé.

1 | Fissuration entre les ancrages.

2 | Rupture des pierres due à des chocs accidentels.

2 Solutions préventives

2.1 Jonction entre la façade et le sol

Il y a lieu d'**éviter tout contact rigide/franc** au droit de la jonction entre le revêtement de sol et le parement du soubassement, mais également sur l'épaisseur des couches de pose si le soubassement descend à ce niveau, et ce afin de permettre la dilatation du revêtement de sol sans entraîner de tensions.

La solution idéale est de **débuter le soubassement au-dessus du revêtement de sol**. Cette option étant rarement envisagée pour des raisons esthétiques, il est préférable de laisser le revêtement de sol se dilater. Dans ce cas, la technique la plus appropriée consiste à :

- appliquer un joint de 1,5 à 2 cm entre, d'une part, le soubassement en pierre et, d'autre part, le revêtement de sol et son infrastructure
- réaliser un joint souple à l'aide d'un mastic élastique non tachant, en veillant à interposer un matériau durablement compressible sur toute la longueur de la zone de contact entre les deux éléments. L'espace entre le revêtement de sol et la façade peut rester vide, mais celui-ci est alors susceptible de s'encrasser rapidement.

Une autre solution prévoit de **placer une bordure entre le soubassement et le revêtement de sol**, et ce afin de garder un joint parfaitement dégagé entre la bordure et le soubassement. Quelle que soit la technique choisie, le joint doit être réalisé au moyen d'un mastic élastique.

Rappelons qu'il est important de **garantir l'aération de la coulisse et l'écoulement des eaux**, tout en empêchant l'intrusion de petits rongeurs dans la lame d'air.

2.2 Soubassements exposés aux chocs

Après s'être assuré que la pierre résiste suffisamment au niveau des ancrages (voir Les Dossiers du CSTC 2015/2.12), différentes solutions peuvent être envisagées pour limiter le risque de casse. Idéalement, il convient de soumettre la pierre à des **essais de chocs** décrits dans le rapport technique TR001 de l'EOTA. Ceux-ci permettent de simuler soit un choc dur (projection de billes de 1 kg) soit un choc mou (chute d'un sac de sable de 50 kg). Pour rappel, la NIT 146 recommande l'application de revêtements d'une épaisseur d'au moins 30 mm pour les pierres dont la masse volumique est supérieure à 2.500 kg/m³ et de 40 mm pour celles dont la masse volumique est inférieure à 2.500 kg/m³. La Note conseille en outre une épaisseur minimale de :

- 40 mm pour une pierre présentant une résistance mécanique aux attaches supérieure à 1.000 N
- 30 mm si cette résistance est supérieure à 1.500 N.

Les différentes solutions pour limiter le risque de casse consistent à diminuer les tensions dans la pierre. Pour ce faire, on peut :

- limiter les **dimensions** des pierres de soubassement à une surface de 0,8 m² et le ratio hauteur/largeur à 3
- limiter la **distance entre les ancrages** à 80 cm maximum

3 | Renforcement du vide ventilé.

- augmenter l'**épaisseur de la pierre** de 1 à 2 cm pour le soubassement. Dans ce cas, il faut :
  - soit centrer l'ancrage sur la pierre supérieure plus mince si l'on souhaite que l'ensemble des pierres se trouvent dans un même plan
  - soit prévoir un chanfrein et ne pas l'encastrer, ou très peu, afin que le vide reste ventilé
- **renforcer le vide ventilé** en le comblant à l'aide d'un matériau de remplissage de type stabilisé maigre (voir figure 3). Il s'agit toutefois d'une opération fastidieuse avec un risque accru de migration de sels en provenance du mortier et d'apparition d'auréoles d'humidité différentielle due à une ventilation insuffisante du parement dans sa partie inférieure. Par ailleurs, la pierre de soubassement ne sera alors plus considérée comme un élément de façade ventilée, ce qui nécessitera l'utilisation d'un matériau présentant une résistance au gel plus élevée (voir NIT 228).

Notons que la pose d'un plot réglable au centre de la dalle, entre l'isolation et la pierre et à hauteur des ancrages, ne diminue pas le risque de fissuration. ⬟

Comparaison de systèmes de climatisation durables

Il est possible de réduire fortement les besoins de climatisation d'un bâtiment par une conception appropriée et l'application de stratégies de refroidissement passives. Malgré tout, il est souvent nécessaire de recourir à un système de climatisation pour garantir le confort thermique durant nos étés de plus en plus chauds. Les systèmes existants présentent toutefois d'importantes disparités en matière de puissance de froid, de confort thermique, de consommation énergétique, de coût et d'impact environnemental. Il est donc essentiel d'en connaître les possibilités et les limites.

J. Van der Veken, ir., chef de projet, laboratoire 'Chauffage et ventilation', CSTC

Qu'est-ce qu'un 'système de climatisation durable' ?

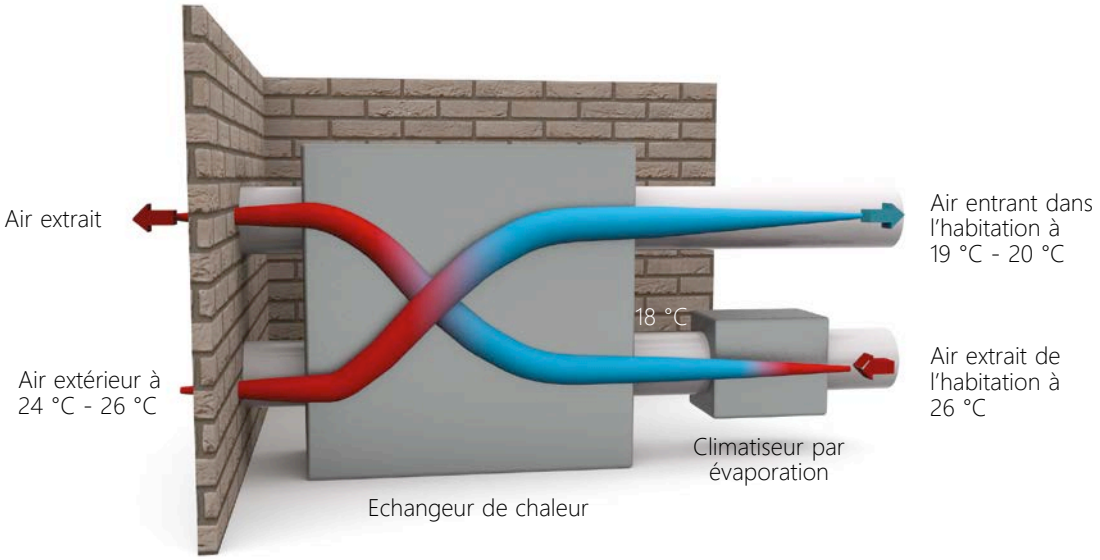
Le concept de durabilité étant très vaste, divers systèmes de climatisation ont été comparés dans le cadre du projet CORNET intitulé SCoolS. L'accent a été mis sur les systèmes atteignant un haut degré d'efficacité sur le plan énergétique et comportant le moins possible de fluide caloporteur. En l'absence de compresseur ou de fluide caloporteur, on parle également de *free cooling*.

Il existe différents types de *free cooling*. Dans les immeubles de bureaux, par exemple, il s'agit souvent d'un système constitué d'échangeurs de chaleur placés sur le toit. Dans les immeubles résidentiels, on a plutôt recours au ***free geocooling*** (ou géocooling gratuit), dont le principe requiert l'utilisation d'une pompe à chaleur géothermique, d'un échangeur de chaleur additionnel et d'un système de régulation adapté. Ces dispositifs supplémentaires permettent de ne pas faire fonctionner la pompe à chaleur durant l'été et de transférer le froid stocké dans la source géothermique en hiver vers le système d'émission, et ce via l'échangeur de chaleur et sans composant de refroidissement actif. Dans ce cas, l'installation doit quand même remplir certaines conditions :

- **la source géothermique doit être correctement dimensionnée**. Un système fermé, en particulier, doit être suffisamment refroidi par la pompe à chaleur en hiver pour assurer un rafraîchissement satisfaisant durant l'été. En effet, la température du sol doit être encore assez basse à la fin de l'été (généralement 16 °C pour le *free cooling*)
- **le système d'émission doit disposer d'une puissance de froid suffisante en cas de températures d'émission plus élevées (généralement 16-18 °C)**, puisque la source géothermique et l'échangeur de chaleur ne peuvent pas fournir des températures plus basses lors des pics de demande. Selon un principe identique à celui du chauffage, qui veut que le système émette de la chaleur à basse température pour fonctionner de manière optimale, il importe, pour la climatisation, que le système émette la température la plus élevée possible, ce qui réduit en outre le risque de condensation de l'air intérieur humide sur la surface de refroidissement. En revanche, il est impossible de déshumidifier l'air.

La comparaison des systèmes de climatisation reposait sur l'hypothèse d'un dimensionnement correct de la source, mais

1 | Convecteur hybride.



2 | Principe de la climatisation indirecte par évaporation.

elle faisait intervenir différents systèmes d'émission, à savoir :

- **un convecteur ou un radiateur 'hybride' ou 'dynamisé'** également capable de refroidir (voir figure 1 à la page précédente). Néanmoins, étant donné les faibles écarts de température, la puissance d'émission est limitée. Cela signifie, par exemple, qu'un convecteur hybride qui émet en hiver 40 W/m² de chaleur à une température de départ de 40 °C peut émettre en été environ 15 W/m² à une température de 16 °C. Comme ces systèmes ne sont pas conçus pour collecter et évacuer l'eau de condensation, un système de régulation supplémentaire est à prévoir, afin de maintenir la température de l'échangeur de chaleur au-dessus du point de rosée de l'air intérieur. Cette régulation est cependant susceptible de réduire encore davantage la puissance d'émission
- **deux systèmes de refroidissement par le sol** : un système classique, dit humide, constitué de tuyaux intégrés dans la chape et un système sec, dont la puissance de froid maximale varie entre 30 et 40 W/m² à une température de départ de 16 °C. Pour éviter la condensation sur le sol, il faut de nouveau également prévoir un système de régulation permettant d'augmenter la température de départ lorsque l'humidité relative à la surface risque d'être trop élevée
- **une batterie froide placée dans l'alimentation d'un système de ventilation double flux**. Celle-ci peut être connectée à une source durable à une température plus élevée, telle qu'une boucle géothermique à 16 °C. Cela entraîne toutefois une limitation de la puissance de froid (généralement 0,6 kW pour un débit de 300 m³/h).

La **climatisation par évaporation** a, elle aussi, été prise en compte lors de la comparaison. Ce processus consiste à extraire la chaleur de l'air ambiant lorsque l'eau s'évapore. Bien que ce principe puisse être appliqué directement en humidifiant l'environnement intérieur, il provoque une augmentation de l'humidité relative et peut causer des problèmes d'ordre microbiologique. Par conséquent, seuls les systèmes indirects ont été considérés dans cette étude (voir figure 2). Selon ce principe, l'air extrait traverse le climatiseur, où sa température diminue (de 26 °C à 18 °C, par exemple). Dans l'échangeur de chaleur du système de ventilation, il peut ensuite absorber la chaleur de l'air en provenance de l'extérieur, dont la température diminuera alors à son tour (de 25 °C à 20 °C, par exemple). Bien que ce système reste économe en énergie, sa puissance de froid est faible. Lors d'une journée chaude, sa consommation énergétique sera habituellement inférieure à 0,5 kW pour un débit de ventilation de 300 m³/h.

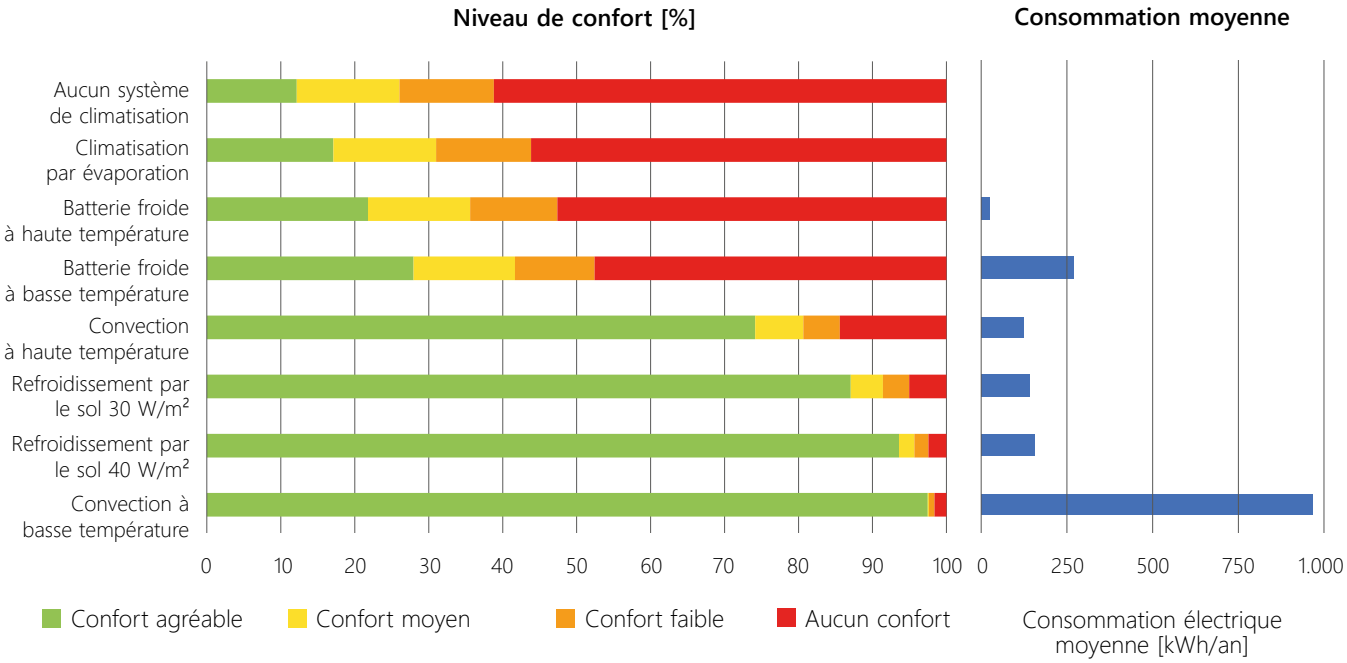
Enfin, deux autres systèmes de climatisation classiques ont été pris en compte dans la comparaison :

- **une batterie froide installée dans un système de ventilation double flux et reliée à un système de climatisation équipé d'un compresseur fonctionnant à basse température**. Celui-ci est presque capable de doubler la puissance d'émission par rapport à une batterie froide fonctionnant à haute température. Par contre, cela se produit au détriment de l'efficacité de la production
- **un système de climatisation par convection**, qui, en principe, peut être dimensionné pour tous les besoins, mais dont la puissance de froid a été plafonnée à 50 W/m² pour cette étude. Il peut s'agir d'une pompe à chaleur air-air réversible reliée à des unités intérieures, mais également de ventiloconvecteurs couplés à une pompe à chaleur air-eau.

Quelles sont les performances de ces systèmes de climatisation en matière de confort et d'énergie ?

Des **simulations énergétiques dynamiques** ont été réalisées sur 9.200 combinaisons en faisant intervenir :

- cinq types de logements



3 | Niveaux de confort thermique et consommation moyenne dans toutes les habitations en fonction du système de climatisation.

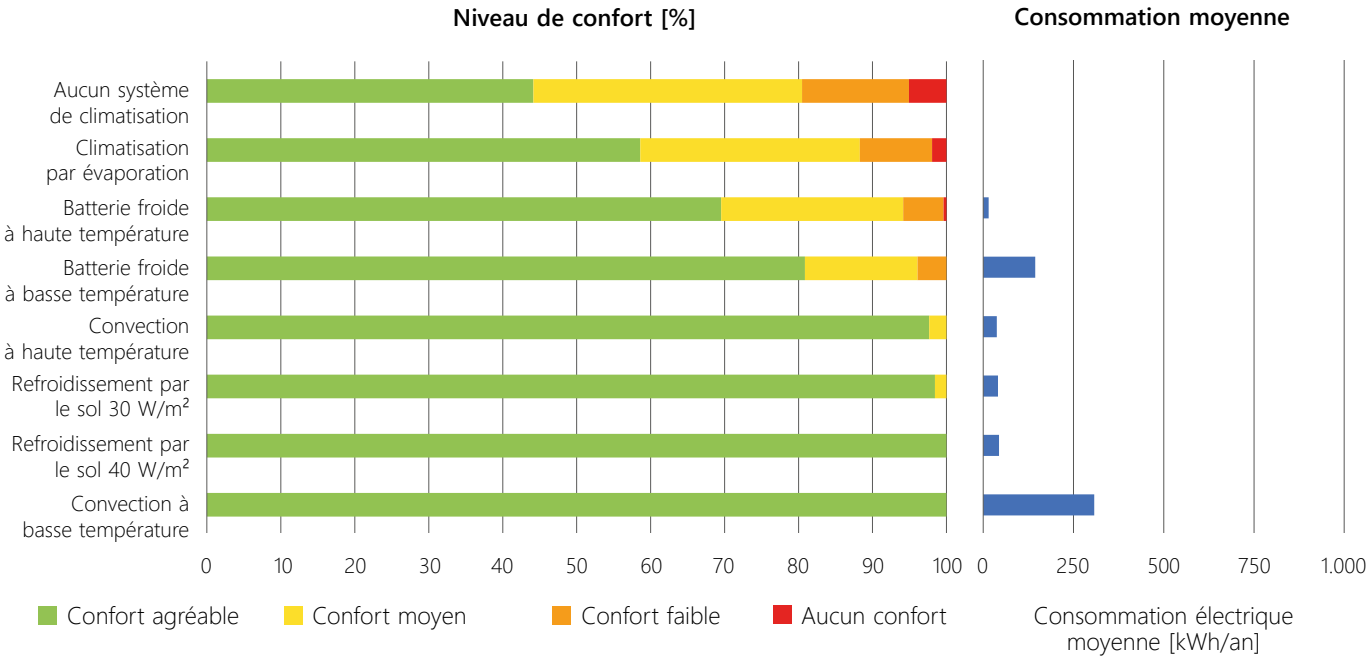
- deux tailles de fenêtres
- deux niveaux d'inertie
- deux niveaux d'isolation
- quatre orientations
- trois protections solaires différentes
- trois niveaux différents de rafraîchissement par ventilation
- huit systèmes de climatisation différents.

4 | Essais sur éléments d'émission chez Thomas More Kempen.

Bien que ces simulations aient été conçues à l'origine pour développer un outil (voir Les Dossiers du CSTC 2021/3.3) et comparer le confort thermique et la consommation énergétique d'un cas spécifique, elles fournissent une idée générale des **performances de différents systèmes de climatisation**.

La figure 3 indique le niveau de confort thermique pour toutes les combinaisons étudiées. Les niveaux de confort ont été déterminés sur la base de la température maximale admissible dans l'habitation, à savoir 28 °C le jour et 26 °C la nuit. Si la température intérieure simulée dépasse ces températures maximales durant moins de 33 h tout au long de l'été, on peut qualifier le confort d'été d'agréable. Si elle les dépasse sur une durée comprise entre 33 h et 100 h, on dira qu'il est moyen et, jusqu'à 250 h, qu'il est faible. En revanche, au-delà de 250 h, le confort est tout simplement inexistant.

Le graphique montre que, selon la simulation, 60 % des habitations sans système de climatisation ne bénéficient que d'un confort d'été limité et que seule une maison sur huit bénéficie d'un bon confort. Bien que le confort s'améliore avec l'installation d'un système de climatisation indirect par évaporation ou d'une batterie froide placée dans un système de ventilation double flux, trois quarts des combinaisons testées obtiennent de bons résultats après l'installation d'un système disposant d'une **puissance de froid plus élevée**, tel qu'un convecteur hybride ayant une puissance de froid spécifique de 15 W/m² à des températures de refroidissement plus élevées, un système de refroidissement par le sol (30-40 W/m²) et le système classique de climatisation par convection à basse température de 50 W/m².



5 | Niveau de confort thermique et consommation moyenne des habitations équipées de protections solaires et recourant à la ventilation en fonction du système de climatisation.

Augmenter la puissance de froid entraîne, par ailleurs, une hausse (limitée) de la consommation énergétique. Les systèmes fonctionnant à haute température (convection à haute température ou refroidissement par le sol), en particulier, n'engendrent qu'une faible consommation électrique grâce à la haute efficacité du *free cooling*. La consommation moyenne des systèmes de climatisation classiques (convection à basse température) est, elle aussi, légèrement inférieure à 1.000 kWh/an.

Nous tenons cependant à souligner que les simulations supposent une régulation idéale, une température de consigne relativement élevée et un comportement logique de l'utilisateur. La consommation d'énergie peut donc être plus élevée dans la réalité.

Le graphique de la figure 5 montre que l'utilisation de protections solaires et la ventilation (de nuit) améliorent le confort thermique de manière spectaculaire. Si l'on tient compte uniquement des **combinaisons basées sur ces stratégies de refroidissement passives**, on constate que près de la moitié des habitations affichent un confort d'été agréable, et ce même sans système de climatisation.

On observe aussi que la climatisation par évaporation et l'intégration de batteries froides dans le système de ventilation offrent de bien meilleurs résultats. Dans ces cas-là, ce sont principalement les systèmes équipés de corps d'émission distincts (convection ou refroidissement par le sol) qui offrent un confort appréciable. Enfin, la consommation énergétique diminue considérablement, d'environ un tiers en moyenne, par rapport à l'ensemble des habitations (voir graphique à la page précédente).

Systèmes de climatisation durables et mesures passives

Les résultats des simulations révèlent qu'**il est effectivement possible de concilier un bon confort d'été et une faible consommation d'énergie**. De plus, la combinaison du *free cooling* et des systèmes d'émission fonctionnant à haute température permet d'éviter l'utilisation de fluides caloporteurs, lesquels sont potentiellement dangereux.

Les systèmes durables ayant souvent une puissance d'émission plus faible, il n'est pas toujours facile de sélectionner le système adéquat et de le dimensionner. En effet, la puissance d'émission nécessaire dépend du volume des locaux et de leur utilisation, des gains solaires et de la compacité du bâtiment. De plus, il est impossible de déshumidifier l'air intérieur si l'humidité relative devient trop élevée.

L'utilisation de protections solaires efficaces et la ventilation de nuit (ouverture des fenêtres ou grilles de ventilation) réduisent les besoins de climatisation et rendent également plus homogène la puissance requise, ce qui facilite le choix du système de climatisation.

Bien que la combinaison du système de ventilation et de ces mesures passives puisse assurer une climatisation suffisante, un confort d'été agréable est surtout procuré par **les convecteurs hybrides et le refroidissement par le sol**. Ces systèmes d'émission fonctionnent en outre à des températures de régime élevées, ce qui ouvre de nouvelles possibilités pour les sources de climatisation durables (géothermie, réseau de refroidissement et pompe à chaleur réversible fonctionnant de manière optimale). ⬟

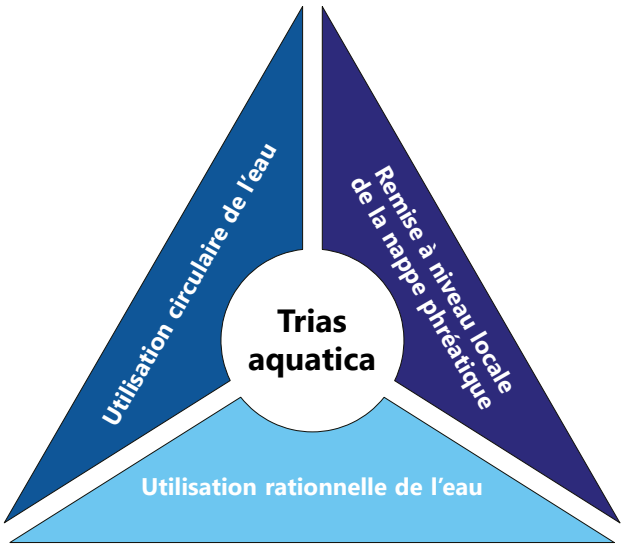
Les eaux de rabattement peuvent-elles être utilisées dans les installations sanitaires résidentielles ?

Les problèmes de sécheresse devenant de plus en plus préoccupants, on observe un intérêt croissant pour la (ré)utilisation des eaux de rabattement, d'ordinaire simplement évacuées vers les égouts. Fin 2020, le CSTC a mené une campagne d'échantillonnage visant à analyser la qualité de ces eaux. Il en ressort que leur utilisation dans les installations sanitaires résidentielles (toilettes, machines à laver, …) n'est pas recommandée.

B. Bleys, ir., chef du laboratoire 'Techniques de l'eau', CSTC
K. Dinne, ing., chef du laboratoire 'Microbiologie et microparticules', CSTC
N. Huybrechts, ir., chef de la division 'Géotechnique, structures et béton', CSTC
G. Goossens, ir., conseiller Environnement, Confédération flamande de la construction

Les problèmes de sécheresse

La succession de périodes extrêmement sèches (2017, 2018 et 2020) a placé la question de la sécheresse au cœur de l'actualité ces dernières années en Belgique. Le gouvernement flamand tente ainsi, par le biais du **'Blue Deal'**, d'intensifier ses efforts dans la lutte contre la pénurie d'eau.



1 | Le *trias aquatica*.

L'utilisation des eaux de rabattement est encouragée et facilitée par plusieurs villes grâce à des initiatives telles que www.werfwater.be. Il faut toutefois veiller à ce que la qualité de ces eaux convienne à l'usage prévu.

Trias aquatica

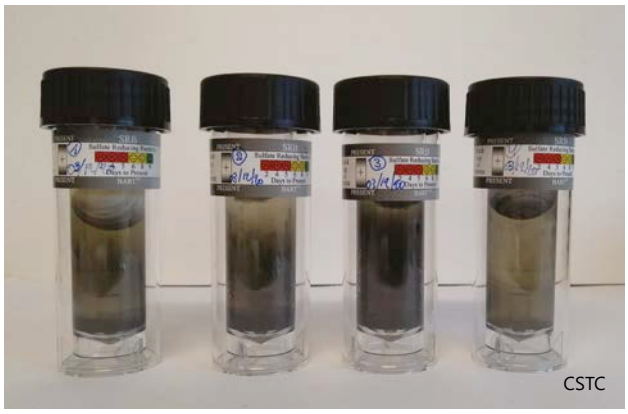
Selon les principes de l'approche *trias aquatica* (voir figure 1), plusieurs options permettent de réduire l'impact d'une opération de rabattement :

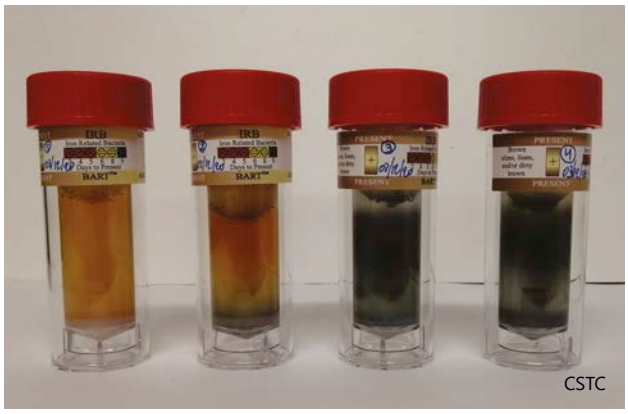
- **l'utilisation rationnelle de l'eau** : réduction de la quantité d'eaux de rabattement pompées grâce à une optimisation du système de contrôle, à l'isolation hydraulique de la fouille, …
- **l'utilisation circulaire de l'eau** : la (ré)utilisation des eaux de rabattement (de qualité non potable) pour certaines applications
- **la remise à niveau locale de la nappe phréatique** par le biais de rabattements retour et de l'infiltration des eaux de rabattement.

Dans ce contexte, il faut en priorité limiter la quantité d'eaux de rabattement. Les rabattements retour et la réutilisation peuvent être envisagés ultérieurement.

La qualité des eaux de rabattement

Il existe peu d'informations concernant la qualité des eaux de rabattement. Ainsi, on sait peu de choses de la





2 et **3** | Résultats de mesure des concentrations en bactéries sulfatoréductrices (à gauche) et ferriréductrices (à droite).

qualité microbiologique de ces dernières, alors que leur (ré)utilisation éventuelle et leur stockage en dépendent. Fin 2020, le CSTC a donc lancé, en concertation avec la Confédération Construction flamande, une **campagne d'échantillonnage exploratoire** (en bouteilles stériles) sur quatre chantiers :

- chantier 1 : stockage des eaux de rabattement dans un conteneur, avec la possibilité d'effectuer des puisages d'eau et de laisser l'eau se déverser dans un ruisseau. Pour cette étude, un échantillon a été prélevé dans le conteneur
- chantier 2 : rabattement sans stockage. Les eaux se déversent directement dans l'égout public et le prélèvement d'un échantillon a été effectué à même le courant
- chantier 3 : stockage des eaux de rabattement dans une fosse temporaire en béton, avec possibilité de prélèvement, et débordement vers l'égout public. Les échantillons ont été prélevés aux points de puisage (après avoir laissé couler un peu d'eau) et au niveau du trop-plein (prélèvement direct)
- chantier 4 : rabattement sans stockage (excavation d'un étang pour une résidence privée). Un échantillon a été prélevé dans le tube piézométrique.

Une fois les échantillons prélevés, nous avons analysé certains paramètres chimiques et microbiologiques. Des concentrations accrues de fer et une dureté plus importante ont été constatées dans divers échantillons, ce qui peut entraîner **une coloration de l'eau, de la corrosion et des dépôts de calcaire** dans les installations sanitaires résidentielles. Une forte concentration en ions phosphore, azote et potassium a également été trouvée dans un des échantillons. Ces ions constituent des nutriments pour les micro-organismes et les algues. Ils sont dès lors susceptibles d'affecter la qualité de l'eau pendant le stockage.

En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, outre la charge bactériologique élevée à très élevée (nombre total de germes à 22 °C compris entre 810 et 320.000 cfu/ml) et la présence d'organismes indicateurs fécaux, les fortes concentrations en bactéries ferriréductrices (BFR – entre 9.000 et 35.000 ufc/ml) et sulfatoréductrices (BSR – entre 5 et 120.000 ufc/ml) sont particulièrement frappantes.

Les figures 2 et 3 montrent certains des échantillons testés. La coloration et les échelles de couleurs indiquent clairement des valeurs très élevées.

Les **bactéries ferriréductrices et sulfatoréductrices** sont l'une des principales causes de corrosion d'origine microbiologique (CMI). Les eaux peuvent en outre dégager une odeur persistante due à la présence des BSR et à leur production d'H_2S, le gaz responsable de l'odeur caractéristique d'œuf pourri. Une fois ces bactéries présentes dans l'installation sanitaire, il est très difficile de les éliminer et plusieurs procédures de désinfection peuvent s'avérer nécessaires pour les éradiquer. La prévention est donc de mise. Ce phénomène peut se produire, par exemple, lorsqu'on utilise une eau de qualité non potable (eau de pluie, par exemple) pour la mise sous pression de l'installation.

Conclusion

Bien que le nombre d'échantillons prélevés au cours de cette campagne d'essai soit trop limité pour tirer des conclusions significatives d'un point de vue statistique, les résultats obtenus nous permettent d'affirmer que les eaux de rabattement ne conviennent pas pour un usage dans les installations sanitaires. Par conséquent, nous déconseillons fortement de les utiliser pour remplir une citerne d'eau de pluie. En revanche, l'arrosage des jardins et des parcs nous semble parfaitement envisageable.

Des mesures supplémentaires doivent être effectuées durant les périodes plus chaudes, afin d'évaluer si l'utilisation des eaux de rabattement comporte un risque de **développement de légionelles**. En cas de stockage, le risque de stagnation est réel et plusieurs conditions (fer, nutriments, …) sont réunies pour entraîner le développement de la bactérie lorsque les températures sont favorables. ⬟

Quelles maçonneries de briques peuvent être peintes ?

Le CSTC mène actuellement un projet de recherche visant à aider les entrepreneurs confrontés au décollement de peintures appliquées sur des maçonneries de briques. Les premiers résultats montrent qu'une attention particulière doit être accordée à la surface des briques et plus particulièrement à leur absorption. Dans certains cas, une vérification préalable de l'adhérence du système de peinture sélectionné peut également s'avérer utile.

E. Cailleux, dr., chef adjoint du laboratoire 'Chimie du bâtiment', CSTC
D. Nicaise, dr. sc., chef du laboratoire 'Minéralogie et microstructure', CSTC
S. Mertens, dr. ir., chef de projet, laboratoire 'Matériaux de construction', CSTC

Ces dernières années, la division 'Avis techniques et consultance' du CSTC est régulièrement confrontée à des problèmes très similaires de **décollement de certaines peintures appliquées sur des maçonneries de briques** (voir Les Dossiers du CSTC 2016/3.10). Bien que le nombre absolu de cas soit limité, ces pathologies mettent en évidence :

- le manque d'informations relatives au comportement des peintures appliquées sur des briques (paramètres influents, caractéristiques de base et de référence concernant les surfaces à peindre, ...)
- le besoin de tests ou de critères permettant d'anticiper d'éventuels problèmes
- les difficultés rencontrées pour trouver une solution durable.

Projet de recherche

Le CSTC a récemment lancé un projet de recherche ayant pour objectif d'**évaluer le comportement de différentes combinaisons de briques et de peintures** en vue de proposer des recommandations et de limiter les décollements ([1])([2]). Les associations des deux matériaux ne sont en effet jamais considérées dans leurs normes respectives ([3]). Il n'existe pas non plus de définition unanime de ce qu'est une 'brique à peindre'. Pour l'architecte comme pour le peintre, il est donc difficile d'identifier au préalable les caractéristiques des supports et les peintures les plus adaptées.

CSTC

([1]) Les pathologies plus habituelles, telles que les efflorescences de sels, ne sont pas abordées dans le projet.
([2]) Cet article se concentre sur l'influence de la surface de la brique sur l'adhérence de la peinture. D'autres paramètres liés à la composition de la paroi (postisolation, isolation par l'intérieur, ...) peuvent également avoir des conséquences importantes sur le comportement de la peinture. L'influence de ces facteurs est également en cours d'étude et fera l'objet de publications ultérieures.
([3]) Les peintures extérieures pour maçonnerie sont couvertes par la norme NBN EN 1062-1:2004. Les spécifications pour les briques de terre cuite sont regroupées dans la norme NBN EN 771-1 + A1:2015 permettant le marquage CE des produits. Le marquage BENOR est possible si les briques répondent aux exigences des prescriptions techniques PTV23-002 de 2012.

Test de la vitesse d'absorption

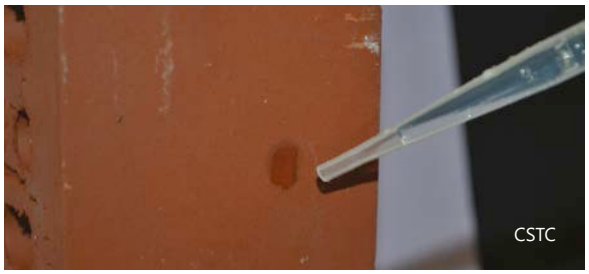
Le test consiste à déposer une goutte d'eau à la surface de la brique et à mesurer son temps d'absorption.

Les essais décrits dans cet article ont été effectués au moyen d'une micropipette de 10 µl. La taille de la goutte d'eau influence toutefois peu sa vitesse d'absorption.

La brique doit être sèche et propre. L'essai est plus aisé à réaliser en position horizontale, mais il peut aussi être effectué en position verticale (voir figures ci-contre). Dans ce dernier cas, il conviendra de limiter le volume de la goutte, car un excès d'eau provoque généralement des coulures qui rendent l'estimation du temps d'absorption plus difficile.

Certaines briques peuvent présenter des différences d'absorption importantes. Pour une estimation plus représentative du comportement pouvant être attendu, il est recommandé de réaliser le test sur plusieurs briques (au moins trois) et en différents points (au moins trois mesures par brique).

CSTC


CSTC

La première partie du projet de recherche a pour objectif d'évaluer l'influence de divers facteurs susceptibles d'avoir un **impact sur l'adhérence initiale de la peinture**. A cette fin, une dizaine de briques aux caractéristiques diverses ont été sélectionnées. Celles-ci étaient notamment issues de modes de fabrication différents (briques moulées à la main ou étirées) et présentaient des faces panneresses (surface d'application de la peinture) pouvant être lisses, rugueuses ou montrer un aspect vernissé brillant.

En pénétrant dans les microporosités et en s'accrochant aux irrégularités de surface, la peinture assure un meilleur ancrage mécanique. Les surfaces d'application ont donc été caractérisées. Les essais que nous avons menés visaient plus spécifiquement à évaluer la **rugosité de surface** et le **comportement à l'absorption d'eau** (mesure de l'absorption capillaire, de l'absorption par pipe de Karsten et de la vitesse d'absorption d'une goutte d'eau). Des observations en coupe, effectuées après application d'une résine colorée à la surface de la brique, ont également permis de visualiser les différences de comportement à l'absorption.

Grâce à ces essais, il a été possible de catégoriser les faces panneresses des briques (voir tableau à la page suivante). Les essais d'absorption d'eau ont montré des tendances globalement similaires. Celles-ci sont illustrées par les observations en coupe qui montrent la réduction de l'absorption de résine lorsque la surface se ferme. La mesure de la vitesse d'absorption d'une goutte d'eau s'est révélée particulièrement simple et pertinente. Sur site et en l'absence d'indication préalable, cet essai peut donner une bonne approximation du comportement à l'absorption des briques (voir encadré ci-dessus).

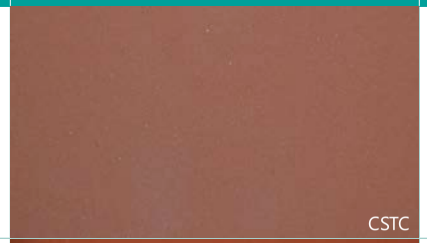
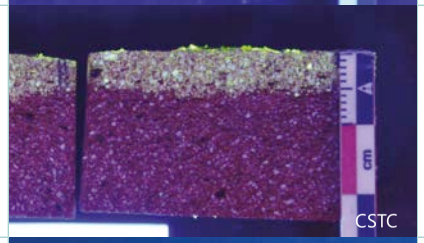
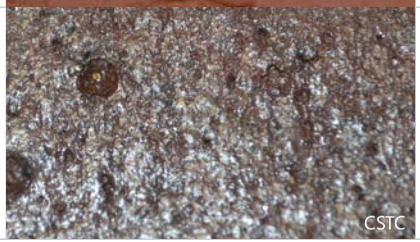
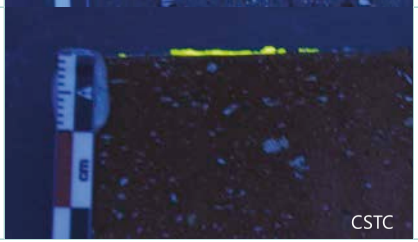
En parallèle, une dizaine de systèmes de peinture ont été sélectionnés. Il s'agissait de systèmes acryliques traditionnels et de systèmes siloxanes (plus 'respirants'). Ces produits provenaient de plusieurs fabricants et disposaient de primaires en phase aqueuse ou en phase solvant. Les propriétés de base des peintures ont été caractérisées ainsi que la viscosité des primaires, ces derniers permettant d'assurer l'accroche des systèmes de peinture.

Des essais d'adhérence ont ensuite été effectués par quadrillage (ou *cross-cut*) sur les différentes briques (adhérence initiale). Les résultats montrent que le risque de défaut d'adhérence s'accroît avec l'augmentation du temps d'absorption :

- pour les **briques structurées très absorbantes** (absorption immédiate ou en quelques secondes de la goutte d'eau), les essais n'ont révélé aucun défaut d'adhérence, et ce quel que soit le système de peinture
- pour les **surfaces un peu moins absorbantes** (absorption en quelques dizaines de secondes, voire localement en 1 à 3 minutes), on a constaté une adhérence correcte de la majorité des systèmes. Des décollements ont néanmoins été notés avec certains d'entre eux. Pour ces supports, nous recommandons par conséquent de vérifier au préalable l'adhérence de la peinture sélectionnée
- pour les **surfaces très peu absorbantes** (absorption au-delà de 3 minutes), on a constaté un manque d'adhérence pour la majorité des produits, et ce malgré la présence d'éventuelles rugosités ou aspérités sur les supports. Il est donc déconseillé de peindre ces derniers.

La suite du projet est consacrée au **vieillissement des diverses combinaisons peinture/briques**. Les essais effectués viseront en particulier à simuler le comportement en fonctionnement en évaluant l'influence d'un passage de vapeur d'eau au travers des briques sur le risque de décollement de la peinture. ⬟

Classification des surfaces d'application des briques et recommandations concernant l'adhérence initiale des peintures.

Surface de la brique	Exemple de surface	Absorption d'une goutte d'eau de 10 µl	Observation de la migration de résine colorée dans la brique (vue en coupe)	Adhérence initiale des systèmes de peinture testés
Surface lisse absorbante	 CSTC	Absorption en quelques secondes (de 2 à 10 sec environ)	CSTC	Adhérence initiale correcte de la majorité des systèmes de peinture. Il est toutefois conseillé de vérifier préalablement l'adhérence du système de peinture sélectionné.
Surface lisse non absorbante	CSTC	Plusieurs minutes (de 3 à 5 min environ)	CSTC	Briques qui ont connu des problèmes d'adhérence sur site avec de nombreux systèmes de peinture. Leur mise en peinture présente un risque et est déconseillée.
Surface rugueuse très absorbante	CSTC	Absorption immédiate ou en quelques secondes	 CSTC	Adhérence correcte de tous les systèmes de peinture.
Surface rugueuse absorbante	CSTC CSTC	Absorption en quelques dizaines de secondes, voire localement jusqu'à environ 1 à 3 min maximum. Ces surfaces peuvent présenter des différences d'absorption importantes.	CSTC	Adhérence initiale correcte de la majorité des systèmes de peinture. Il est toutefois conseillé de vérifier préalablement l'adhérence du système de peinture sélectionné.
Surface rugueuse non absorbante (aspect vernissé, brillant)	 CSTC	Plusieurs minutes (temps d'absorption supérieur à 3 min et pouvant dépasser 10 à 15 min)	 CSTC	Des manques d'adhérence ont été observés pour la majorité des systèmes de peinture. Il est recommandé de ne pas peindre ces surfaces.

Publications du CSTC

Notes d'information techniques

N° 277 'Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des revêtements de sol à base de résine réactive'

La présente Note d'information technique, qui remplace la NIT 216 'Les sols industriels à base de résine réactive' publiée en 2000, traite des revêtements de sol à base de résine qui sont mis en œuvre *in situ* à l'état non durci et dont le durcissement résulte d'une réaction chimique ultérieure.

N° 278 'Installations de chauffage à eau chaude : recommandations pour la prévention des dépôts et de la corrosion'

Afin d'optimiser le fonctionnement et la durée de vie des installations de chauffage central récentes des bâtiments, ce document propose une série de recommandations visant à limiter la corrosion et à éviter la présence de dépôts. Ces recommandations portent sur la conception, la mise en oeuvre, l'utilisation et la gestion des systèmes de chauffage à eau chaude.

Publications

Les publications du CSTC sont disponibles :

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

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

Formations

- Pour plus d'informations au sujet des formations, veuillez contacter T. Vangheel par téléphone (02/716.42.11) ou par e-mail (info@bbri.be).
- Lien utile : www.cstc.be (rubrique 'Agenda').

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

Editeur responsable : Olivier Vandooren, 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

Révision linguistique J. D'Heygere et A. Volant
Traduction : J. D'Heygere
Mise en page : J. D'Heygere
Illustrations : G. Depret, R. Hermans et Q. van Grieken
Photographies CSTC : M. Sohie et al.

cstc.be
Recherche • Développe • Informe

Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 95.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 55 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'européen (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 750 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 18.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

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

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

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

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

- recherche et innovation
- formation
- bibliothèque

Brussels Greenbizz
Rue Dieudonné Lefèvre 17, B-1020 Bruxelles
tél. 02/233 81 00