



cstc.be
Recherche • Développe • Informe

Contact

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

2016/1

Edition spéciale

La rénovation énergétique des bâtiments



Priorités
p8-9

Murs
p18-19

Innovations
p22-23

Ventilation
p30-31





Sommaire 2016/1

La rénovation énergétique : un défi et une opportunité	3
Priorités des travaux à réaliser	8
L' industrialisation devient-elle la nouvelle technique de rénovation ?	10
Rénovation énergétique des toitures à versants	12
Techniques de rénovation des toitures plates étanches	14
Rénovation des fenêtres existantes	16
Techniques de rénovation énergétique des murs	18
Techniques de rénovation énergétique des sols	20
Rénovation énergétique : tendances et innovations	22
Rénovation des systèmes de chauffage des locaux	24
Rénovation énergétique de l'installation d' eau chaude sanitaire	28
Quelles solutions pour la ventilation en rénovation ?	30
Y voir clair dans la rénovation de l'éclairage	32



La diminution de la consommation énergétique des bâtiments existants est une priorité depuis quelques années déjà. Les politiques européennes, nationales et régionales en la matière ont en effet pour objectif de réduire drastiquement la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ des bâtiments d'ici 2050. Face à ce défi de taille, ce CSTC-Contact vise à guider les professionnels de la construction à travers le processus de rénovation et à les aider à prendre les mesures les plus adéquates sur le long terme grâce à des informations pertinentes.

La rénovation énergétique : un défi et une opportunité

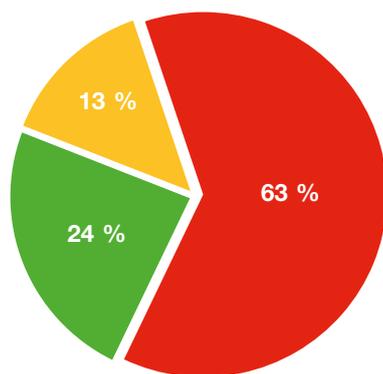
1 En route vers 2050

Etant donné que nos bâtiments anciens ne sont remplacés qu'à très faible allure, les économies d'énergie doivent principalement être réalisées dans le parc immobilier existant. Ce dernier, qui compte en Belgique environ 4,4 millions de bâtiments, est principalement constitué d'habitations unifamiliales (79 % contre 4 % d'immeubles à appartements et 17 % de bâtiments non résidentiels). La majorité des habitations ayant été construites il y a plus de 35 ans

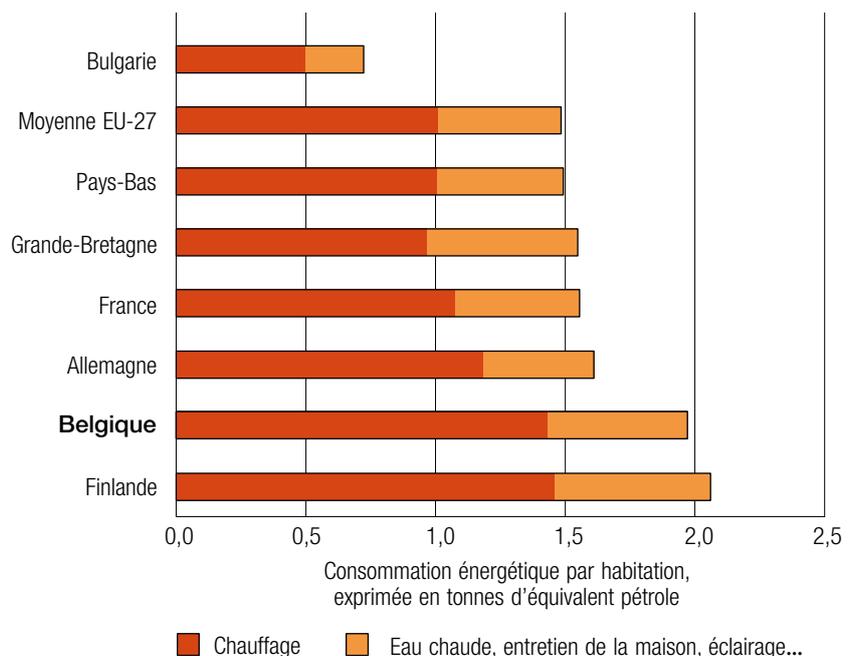
(voir figure 1), avant l'introduction des exigences en matière d'isolation, leur consommation d'énergie (surtout pour le chauffage, voir figure 2) est élevée en comparaison avec celle des autres pays européens. La rénovation et la diminution de la consommation énergétique du patrimoine existant constituent donc deux défis majeurs pour le secteur belge de la construction.

Les gouvernements fixent des exigences toujours plus concrètes pour les mesures et les projets de rénova-

tion. Ainsi, des exigences relatives à l'isolation et aux installations techniques sont déjà en vigueur dans nos trois Régions en ce qui concerne les travaux de rénovation soumis à un permis. Les performances globales du bâtiment — en cas de rénovations lourdes — sont, elles aussi, de plus en plus souvent soumises à des exigences. L'Antenne Normes 'Energie et climat intérieur' (www.normes.be) fournit un aperçu des réglementations énergétiques d'application dans le cadre d'une rénovation.



1 | Répartition des habitations belges en fonction de leur année de construction (avant et après l'introduction des exigences d'isolation) (source : DG Statistiques et Information économique, 2015)



2 | En comparaison avec les autres pays européens, la Belgique fait office de mauvais élève sur le plan de la consommation énergétique (source : AEE, 2010).



Des objectifs concrets à long terme sont déjà en phase d'adoption. En Flandre, dans le cadre du Pacte de rénovation, on imagine, par exemple, l'instauration d'un niveau minimum auquel devraient répondre toutes les habitations existantes d'ici 2050. Cet objectif à long terme peut faire l'objet d'une exigence performancielle applicable au bâtiment (aux alentours d'un niveau E60, par exemple) ou d'exigences pour des travaux spécifiques (qui se rapprocheraient des exigences imposées à l'heure actuelle aux constructions neuves). Cela signifie que tant l'enveloppe que les installations devraient être moins énergivores et que les parois (murs, sol, toiture) devraient atteindre une valeur U de 0,15 à 0,25 W/m².K. Le bâtiment devra aussi être constitué d'éléments de menuiserie et de vitrages bien isolés et performants (U_w = 0,8 à 1,5 W/m².K). Une bonne étanchéité à l'air, une ventilation contrôlée,

des installations à haut rendement ainsi qu'un éclairage efficace pourront également contribuer à atteindre cet objectif.

Puisque les travaux de rénovation ont généralement une durée de vie de plus de 30 ans, il convient de souligner le fait que tous les travaux réalisés aujourd'hui devront déjà répondre à cette vision à long terme et être suffisamment ambitieux d'un point de vue énergétique.

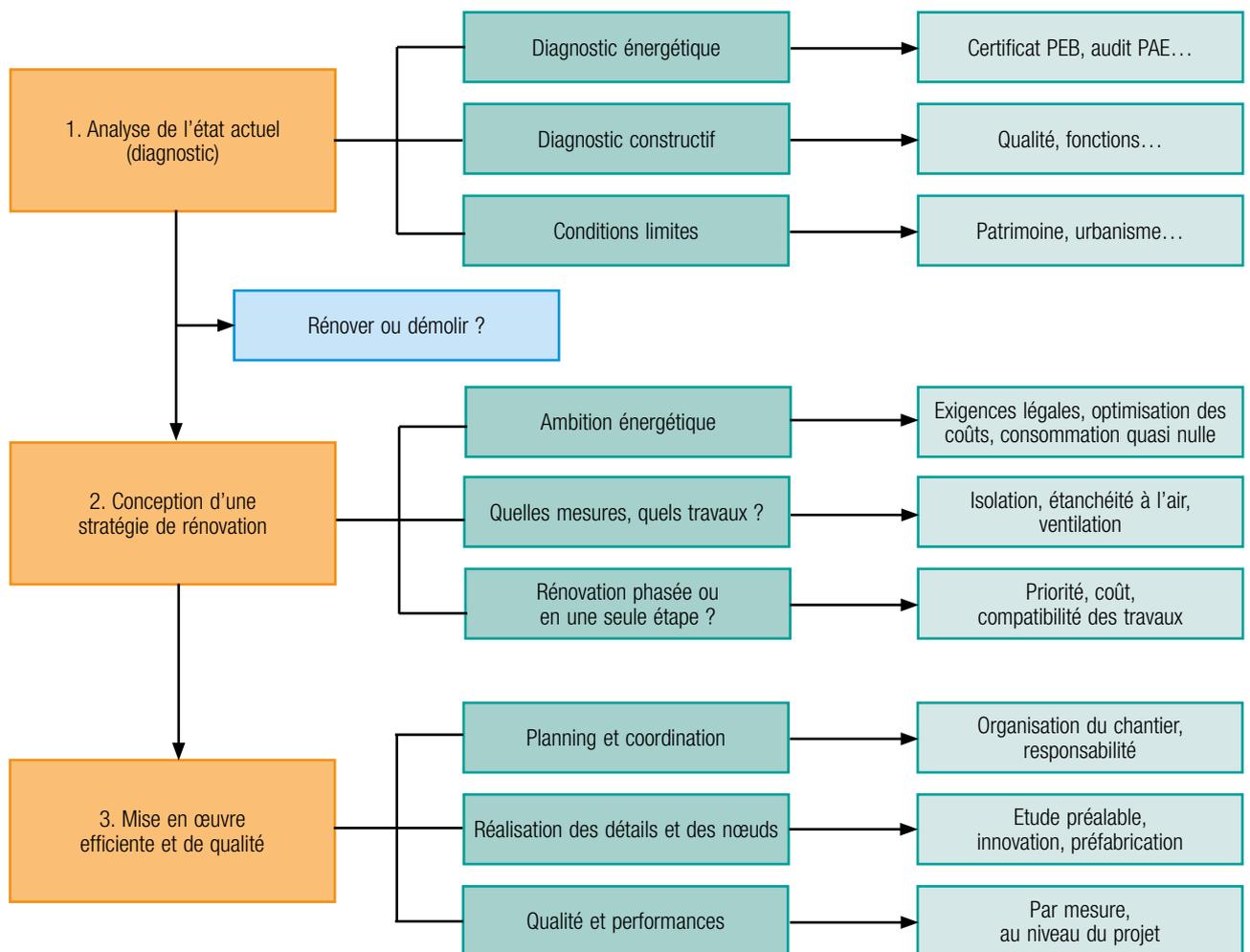
2 Le rôle des experts dans une approche intégrale

L'intérêt croissant pour la rénovation offre aux auteurs de projets et aux entrepreneurs l'opportunité de mettre en pratique leurs connaissances et leur expérience. Mener à bien ces projets et aboutir à un résultat final performant apporte en effet son lot de défis. Ainsi,

il convient d'opter, en fonction de l'état actuel du bâtiment, pour les mesures de rénovation adéquates, sans perdre de vue le budget limité dont dispose généralement le client. Les travaux sont dès lors réalisés le plus souvent par phases, avec tous les problèmes pratiques que cela entraîne : les différentes étapes de la rénovation ne se déroulent pas toujours avec la même efficacité, les mesures choisies doivent être compatibles et une solution *ad hoc* doit être trouvée pour chaque situation. En outre, il convient de déterminer quelles sont les mesures prioritaires et ce qu'elles impliquent.

3 Le processus de rénovation

Le processus de rénovation doit être mûrement réfléchi. Avant chaque étape, il convient d'avoir une idée précise du résultat final souhaité. Le processus (voir



3 | Représentation schématique du processus de rénovation (source : RenoFase)



figure 3) débute par une analyse approfondie du bâtiment existant (phase de diagnostic). Les différentes étapes de la rénovation étant indissociables les unes des autres, il faut opter pour une approche intégrale basée sur cette analyse dès le stade de la conception. Ainsi, l'isolation du bâtiment nécessite la mise en œuvre d'un parachèvement étanche à l'air ainsi que d'une ventilation contrôlée permettant de créer un climat intérieur confortable et d'éviter les problèmes d'humidité. Les mesures de rénovation doivent ensuite être correctement appliquées afin d'obtenir un résultat efficient et de qualité. Une approche intégrale et une vision globale sont donc essentielles.

3.1 Analyse de l'état du bâtiment

L'analyse de l'état du bâtiment est primordiale si l'on souhaite prendre les

décisions adéquates. Ce diagnostic comporte les divers aspects suivants.

3.1.1 Performances énergétiques

Un audit énergétique permet d'avoir une idée de la consommation du bâtiment et de la composition des différents éléments de l'enveloppe et des installations. Il est ainsi possible d'identifier aisément les parties du bâtiment devant être traitées en priorité.

3.1.2 Etat technique

Outre les performances énergétiques du bâtiment, il faut particulièrement veiller à l'état technique général de la construction. Il est en effet très important de détecter en premier lieu et avec attention les problèmes (humidité, sta-

bilité...) et de les résoudre avant d'entamer les travaux. Certaines interventions nécessitent préalablement une analyse des détails (état de la maçonnerie de parement en cas de postisolation par l'intérieur ou par remplissage de la coulisse, par exemple).

3.1.3 Conditions limites et fonctionnalité

Enfin, il convient, avant l'établissement du plan et le lancement des travaux, de vérifier si les modifications envisagées sont réglementairement possibles (urbanisme, patrimoine). D'autres aspects essentiels tels que la fonctionnalité escomptée du bâtiment, la disponibilité de lumière naturelle, la sécurité incendie, l'acoustique, le confort estival et les souhaits du client (répartition des pièces, augmentation de la valeur

Rénover ou démolir ?

L'analyse initiale effectuée, on est parfois en droit de se demander s'il vaut vraiment la peine de rénover le bâtiment, autrement dit s'il ne serait pas préférable de le démolir. En effet, les statistiques révèlent qu'environ 5 % du parc immobilier (soit quelque 200.000 habitations) sont dans un tel état qu'il n'est pas possible d'obtenir un résultat de base acceptable.

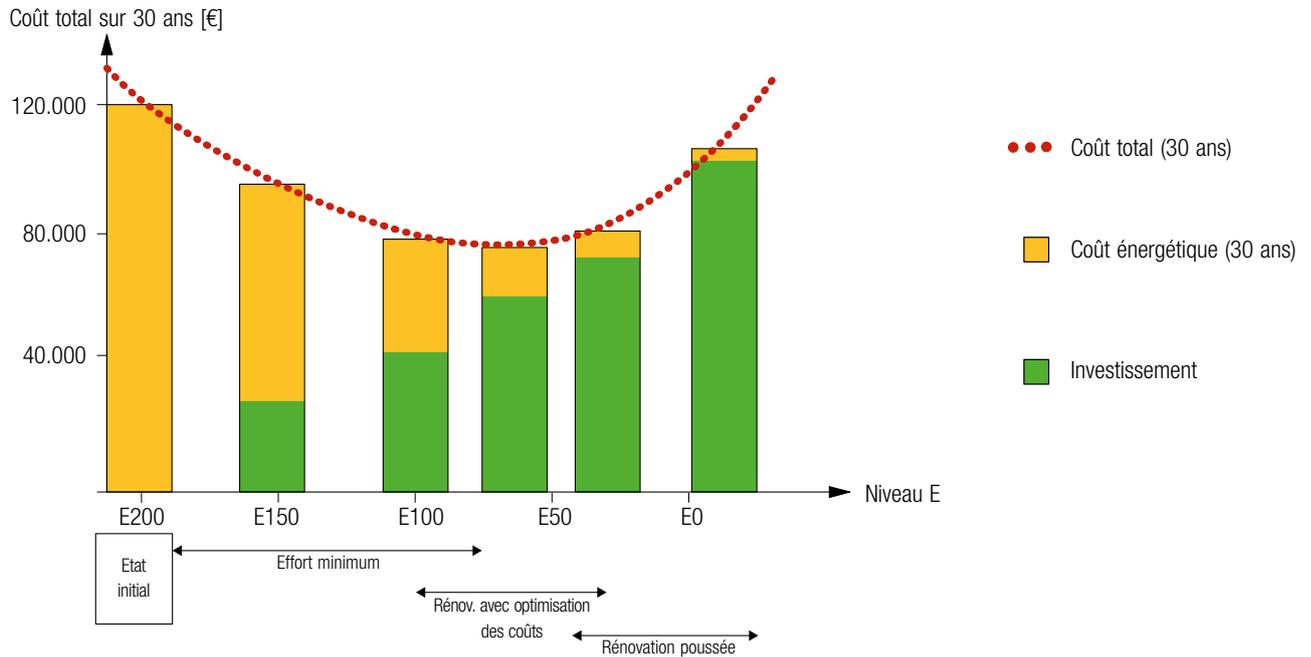
Trois étapes permettent de déterminer s'il faut rénover ou démolir (voir tableau ci-dessous). Dans un premier temps, les conditions limites (légalles) doivent être réunies : les règles patrimoniales ou les contraintes urbanistiques interdisent peut-être la démolition. Ensuite, une analyse qualitative doit être menée parmi un certain nombre de thèmes importants tels que l'état technique du bâtiment, les fonctionnalités souhaitées (utilisation de l'espace, sécurité incendie, confort...) et la création de valeur grâce à la rénovation ou au dégagement du terrain. Enfin, divers scénarios de rénovation et de démolition peuvent être comparés (sur la base du coût d'investissement ou du coût du cycle de vie).

A | Rénovation ou démolition des habitations : aspects pouvant influencer la décision

Etape 1 : les conditions limites (celles-ci peuvent déjà orienter la décision)				
Patrimoine (démolition non autorisée)		Contraintes urbanistiques et aménagement du territoire (conserver l'état actuel, par exemple)		
Etape 2 : analyse qualitative (examen de différents critères)				
Etat technique (évaluation de la stabilité, présence d'humidité...)	Fonctions souhaitées (confort de base, fonctions supplémentaires...)	Ambition énergétique (orientation, compacité, prescriptions)	Création de valeur (valeur du terrain par rapport à la surface exploitable, augmentation de la valeur après rénovation)	
Etape 3 : analyse quantitative (calcul détaillé de différents scénarios)				
Surface réalisée potentiellement différente en rénovation et en construction neuve	Investissement correspondant	TVA, primes	Coût énergétique	Empreinte environnementale



4 | Représentation simplifiée d'une courbe d'optimisation des coûts pour la rénovation d'une habitation (cas d'une maison de maître étudié par l'Agence flamande de l'énergie en 2013)



du bâtiment et éventuelle intention d'y habiter à vie) doivent être étudiés au préalable afin d'en tenir compte lors de la conception et de la mise en œuvre.

3.2 Mise au point d'une stratégie de rénovation durant la conception

Les différentes mesures de rénovation pouvant dépendre les unes des autres, il importe que chaque intervention fasse partie d'une approche intégrale. Il convient dès lors d'établir une stratégie de rénovation ou une feuille de route durant la phase de conception. Pour ce faire, un certain nombre de choix devront être opérés.

3.2.1 Détermination du niveau d'ambition

L'une des questions principales lorsqu'il s'agit de rénovation consiste à savoir dans quelle mesure la consommation énergétique peut être réduite et quelles sont les économies correspondantes. Il va de soi qu'il faut, au moins, répondre aux prescriptions légales (ce qui demande un minimum d'efforts). Dans le cadre d'une vision à long terme, il est toutefois recommandé d'être suffisamment ambitieux et

donc – en fonction du budget – d'aller plus loin que le prescrit légal.

Une première approche consiste à tenter d'atteindre le 'niveau d'optimisation des coûts' (voir figure 4). L'investissement initial plus élevé pourra alors être (partiellement) récupéré grâce à une facture énergétique moins élevée. La diversité des projets (étendue des travaux, situation initiale...) ne permet cependant pas de fixer un niveau E ou K optimal et unique pour l'ensemble des bâtiments. Celui-ci doit donc être déterminé pour chaque projet.

Si l'on ambitionne un meilleur niveau énergétique, il convient de procéder à une rénovation poussée. Bien que l'investissement initial soit dans ce cas supérieur, le coût total sur 30 ans ne le sera pas forcément, vu les gains de consommation énergétique engendrés. Ce niveau de performance avoisine les exigences applicables depuis 2016 pour les constructions neuves et celui qui devrait être en vigueur de manière générale d'ici 2021 (consommation quasi nulle). Nous conseillons de viser au moins le niveau de performance prescrit en 2016 pour les bâtiments neufs.

Toutefois, un projet trop ambitieux n'est pas toujours réalisable. C'est notam-

ment le cas des bâtiments présentant une valeur patrimoniale et dont l'état original doit être conservé autant que faire se peut. Bien que les interventions permettant des gains énergétiques soient possibles dans ce cas également, il n'est pas simple de concilier les deux points de vue. Heureusement, diverses solutions applicables au secteur patrimonial, notamment les matériaux superisolants (voir pp. 22-23), ont entretemps été développées.

3.2.2 Choix des mesures

Une fois le niveau d'ambition défini, les différentes mesures de rénovation à long terme peuvent être établies. Pour ce faire, il faut particulièrement tenir compte de l'impact que ces mesures peuvent avoir sur les autres (isolation, étanchéité à l'air, ventilation et traitement des détails en rénovation). Les articles présentés dans ce CSTC-Contact sont consacrés aux différents éléments du bâtiment et aux points auxquels il convient de veiller pour chacun d'eux.

3.2.3 Phaser ou pas ?

La mise en œuvre des travaux de rénovation peut être effectuée en optant,



B | Avantages et inconvénients d'une rénovation intégrale et d'une rénovation phasée

Implications du mode de rénovation	Rénovation intégrale (en une seule étape)	Rénovation phasée (étape par étape)
Avantages	Coordination plus simple des travaux (utilisation d'un échafaudage pour la toiture, la façade et les fenêtres)	Etalement des coûts d'investissement
	Une seule période de nuisances pour les habitants	L'habitation peut rester occupée durant la plupart des travaux
	Moins de dégâts dus aux interventions ultérieures	Il est possible de prendre les mesures lorsque celles-ci sont vraiment nécessaires (et de respecter ainsi la durée de vie des éléments)
Inconvénients	Coût d'investissement initial élevé	Risque de <i>lock-in</i> (pour plus d'informations, voir pp. 8-9)
	Déménagement temporaire souvent nécessaire	Etalement des travaux

d'une part, pour une rénovation intégrale, durant laquelle les mesures sont prises simultanément, ou, d'autre part, pour une rénovation phasée se déroulant étape par étape. Ces deux options présentent des avantages et des inconvénients (voir tableau B).

Concernant la méthode phasée, il est vivement recommandé qu'un coordinateur (un architecte, un entrepreneur général ou un expert, par exemple) établisse, en concertation avec le client, un ordre logique pour les travaux à effectuer, en partant de l'état actuel du bâtiment. Il importe, en effet, de veiller à la compatibilité des différentes mesures. Pour de plus amples informations concernant l'interdépendance de ces mesures et des points auxquels il convient de prêter attention, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2012/4.2](#).

3.3 Mise en œuvre et résultat final

La coordination et l'harmonisation des travaux sont également cruciales lors de la mise en œuvre, et ce non seulement pour le projet global, mais également pour les jonctions concernées par plusieurs mesures. Afin de garantir une exécution rapide et efficace du processus de rénovation, il convient de prêter une attention particulière aux aspects suivants sur le chantier.

3.3.1 Planning et coordination

L'ordre des mesures défini par le coor-

dinateur précité permet aux exécutants de connaître la nature des travaux qui seront réalisés avant et après leur intervention et d'en tenir compte. A l'avenir, nous pourrions ainsi – certainement pour les plus grands bâtiments – disposer d'un modèle informatique (BIM) spécifique à la rénovation.

3.3.2 Réalisation des détails

Il est également essentiel de bien concevoir la réalisation des détails, afin d'informer chaque intervenant des tâches à effectuer. Quelques détails types relatifs à la rénovation sont abordés dans ce CSTC-Contact (voir pp. 8-9).

En vue de traiter certains problèmes ou de simplifier la mise en œuvre, des solutions plus innovantes sont disponibles, avec leurs lots de fonctionnalités intégrées (voir pp. 10-11 et 22-23).

3.3.3 Qualité et performances

Des contrôles intermédiaires permettent de détecter les problèmes à temps, de faire un état des lieux et d'avoir une meilleure vision du résultat final éventuel.

Lors de la mise en œuvre, il est important de veiller à la qualité. Ainsi, des systèmes qualité existent ou sont en développement pour les différents types de travaux (postisolation des murs creux, isolation extérieure et intérieure des façades, mesure de l'étanchéité à l'air...). A l'avenir, une approche qualité prenant en compte l'intégralité du

processus de rénovation pourrait également être envisagée.

4 Conclusions et perspectives

Etant donné le nombre considérable de bâtiments anciens en Belgique, la rénovation énergétique occupe une part de marché de plus en plus importante. Les défis qui en découlent à court et à long terme offrent aux entrepreneurs et aux architectes l'opportunité de mettre en pratique leurs connaissances et leur savoir-faire. En effet, une rénovation requiert toujours que l'on analyse l'état technique et énergétique du bâtiment et que l'on détermine le résultat final escompté sur le plan de l'énergie, du confort, des fonctionnalités... En outre, il convient de viser un niveau d'ambition énergétique le plus élevé possible, en vue des objectifs à long terme. Les étapes et les mesures doivent par conséquent être établies dans le but d'atteindre le résultat souhaité. Divers choix doivent être effectués, sur la base d'une quantité suffisante d'informations et de l'expérience acquise, et faire l'objet d'une mise en œuvre efficace et de qualité. Il est important que l'ensemble des travaux soient réalisés selon une feuille de route bien conçue et une approche globale. |

J. Vrijders, ir., chef adjoint du laboratoire
Développement durable, CSTC

X. Loncour, ir., chef de la division
Energie, CSTC



Il n'existe pas de règles générales applicables à tous les bâtiments en ce qui concerne l'ordre dans lequel effectuer les travaux d'une rénovation énergétique. Cet article attire l'attention sur les points auxquels il convient de veiller dès le début du projet de rénovation.

Priorités des travaux à réaliser

Priorisation des travaux ? Ayez une vue à long terme

On dit souvent qu'il faut commencer par l'isolation, afin de pouvoir réduire la puissance des systèmes de chauffage. Pour certains bâtiments, il ne s'agit toutefois pas toujours du meilleur conseil. Il se peut, par exemple, que les systèmes soient tellement peu performants qu'il serait plus rentable de les remplacer immédiatement, plutôt que d'attendre une rénovation complète, mais éventuellement phasée, de l'enveloppe. De même, des travaux temporaires de petite envergure, mais permettant d'économiser de l'énergie peuvent s'avérer rentables, car ils sont peu coûteux et peuvent être effectués immédiatement (éventuellement par l'occupant). Enfin, l'urgence de réaliser certains travaux peut également déterminer l'ordre des rénovations.

Il existe de nombreuses interactions entre les différents éléments de construction. Il convient donc de contrôler l'influence qu'une action de rénovation pourrait exercer sur les actions éventuellement à venir. Ainsi, lors de la rénovation de l'isolation thermique des façades, il faut anticiper les jonctions avec les châssis ou avec la toiture. [Les Dossiers du CSTC 2012/4.2](#) font notamment le point sur ces différentes interactions.

Pour cette raison, il est utile que le propriétaire d'un bâtiment se fasse aider

d'un professionnel (un auditeur énergétique, par exemple), afin d'avoir une vue globale des travaux à entreprendre.

Isolation thermique, étanchéité à l'air, ventilation : le trio indissociable

La rénovation énergétique d'un bâtiment doit idéalement s'appuyer sur une démarche globale comprenant trois piliers : étanchéité à l'air, ventilation et isolation thermique. Un traitement cohérent de ces trois aspects peut se révéler difficile dans le cadre d'une rénovation phasée.

Toutefois, l'étanchéité à l'air et l'isolation thermique étant plus spécifiquement liées à l'enveloppe, celles-ci peuvent être traitées de pair. C'est notamment le cas lors de la rénovation de toitures inclinées. La pose de l'isolant thermique par l'intérieur, d'une part, et de la membrane d'étanchéité à l'air, d'autre part, se fera simultanément (voir pp. 12-13). De même, lors du remplacement des châssis, on veillera à réaliser un resserrage à la fois étanche à l'air et isolé thermiquement de manière continue (voir pp. 16-17).

Si une rénovation des systèmes de ventilation est prévue, il peut s'avérer judicieux d'anticiper les percements nécessaires, en prévoyant, par exemple,

des fourreaux lors de la rénovation de certaines parois.

Dans tous les cas, il est essentiel d'assurer un renouvellement suffisant de l'air intérieur en installant un système de ventilation (voir pp. 30-31). Cette action devrait idéalement être menée avant l'amélioration de l'étanchéité à l'air, afin de donner priorité à la qualité de l'air.

Au final, une performance d'étanchéité à l'air de l'ordre de $3 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (exprimée en \dot{v}_{50}) constitue un niveau moyen. Dans le cas de rénovations importantes, il est envisageable d'atteindre de meilleures performances. Notons que ces ordres de grandeur ne s'appliquent pas nécessairement à certaines typologies de bâtiments, telles que les appartements.

Détails de rénovation : éviter le lock-in

Tout comme pour les bâtiments neufs, une bonne planification et une mise en œuvre soignée des détails de construction sont essentielles pour les projets de rénovation. La qualité des détails joue effectivement un rôle important dans la consommation énergétique d'un bâtiment. Ainsi, la valeur U réelle d'une façade peut être deux à trois fois plus élevée en présence de ponts thermiques. D'un point de vue énergétique, l'augmentation de la résistance

Quel audit énergétique pour quel bâtiment ?

Pour les logements, il existe la Procédure d'avis énergétique PAE 2 en Wallonie. En Flandre et à Bruxelles, la PAE 1 est disponible, mais moins appliquée. La description des travaux recommandés figurant dans le rapport d'audit constitue une bonne base de discussions entre le propriétaire et l'entrepreneur pressenti pour réaliser ces travaux. Pour d'autres typologies de bâtiments, il existe d'autres types d'audits, moins standardisés.



Répartition des nœuds constructifs courants

Détail constructif	Priorité
Raccordement d'une toiture à versants avec un mur pignon	①
Intégration des menuiseries au gros œuvre	② → ③
Pied de mur	③ → ④
① Fuites très importantes	③ Fuites peu importantes
② Fuites importantes	④ Fuites marginales

thermique R de la postisolation jusqu'à plus de 1,5 à 2 m².K/W n'aura donc de sens que si les nœuds constructifs sont également traités avec attention (pour de plus amples informations, voir [Les Dossiers du CSTC 2013/2.4](#)).

Nous renvoyons également le lecteur à l'article 'Aspects énergétiques des nœuds constructifs' (voir [Les Dossiers du CSTC 2015/1.2](#)). Il y trouvera une classification de différents traitements du nœud 'pignon-toiture à versants' en fonction de leur efficacité thermique.

Lors de travaux de rénovation phasés, il importe de veiller à éviter la *lock-in*, autrement dit une situation de construction pour laquelle aucune solution ne peut être trouvée (par exemple, lorsque le raccordement de la couche d'isolation thermique et de la barrière d'étanchéité à l'air de la toiture avec l'isolant et la barrière d'étanchéité présents dans le mur adjacent ne peut être réalisé sans coûts supplémentaires). Pour ce faire, il faut prévoir un plan global du projet de rénovation avant le début des travaux. Cela permettra au couvreur, par exemple, de savoir — quand il lui sera demandé de poser l'isolation — si les

murs adjacents seront isolés ultérieurement et de connaître la technique d'isolation qui sera employée (isolation extérieure ou intérieure, remplissage de la coulisse, par exemple). Il peut ainsi mettre en œuvre l'isolation au pied de la toiture de manière à ce que le futur raccordement avec l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air de la façade reste possible (voir figure ci-dessous). Si ce plan global n'est pas disponible, il est recommandé que l'entrepreneur attire l'attention du maître d'ouvrage sur l'importance de ce dernier pour un résultat de qualité, et qu'il propose qu'un architecte se charge de la réalisation de ce plan.

En termes de priorité d'action, la [NIT 255](#) propose une priorisation des détails en fonction de leur influence sur l'étanchéité à l'air globale du bâtiment. En effet, des tests effectués sur des points singuliers de bâtiment ont permis de chiffrer les fuites d'air et d'ainsi répartir les nœuds constructifs courants en quatre catégories (voir tableau).

Ainsi, les nœuds indiqués ① sont estimés prioritaires dans le sens où l'absence de traitement conduit géné-

ralement à des fuites d'air quantitative-ment très importantes. Ce tableau, qui dépend du système constructif, peut se révéler intéressant pour améliorer significativement l'étanchéité à l'air d'un bâtiment de manière pragmatique.

Pour une mise en œuvre bien coordonnée, il est essentiel que les divers entrepreneurs impliqués discutent des raccordements sensibles avant le début des travaux.

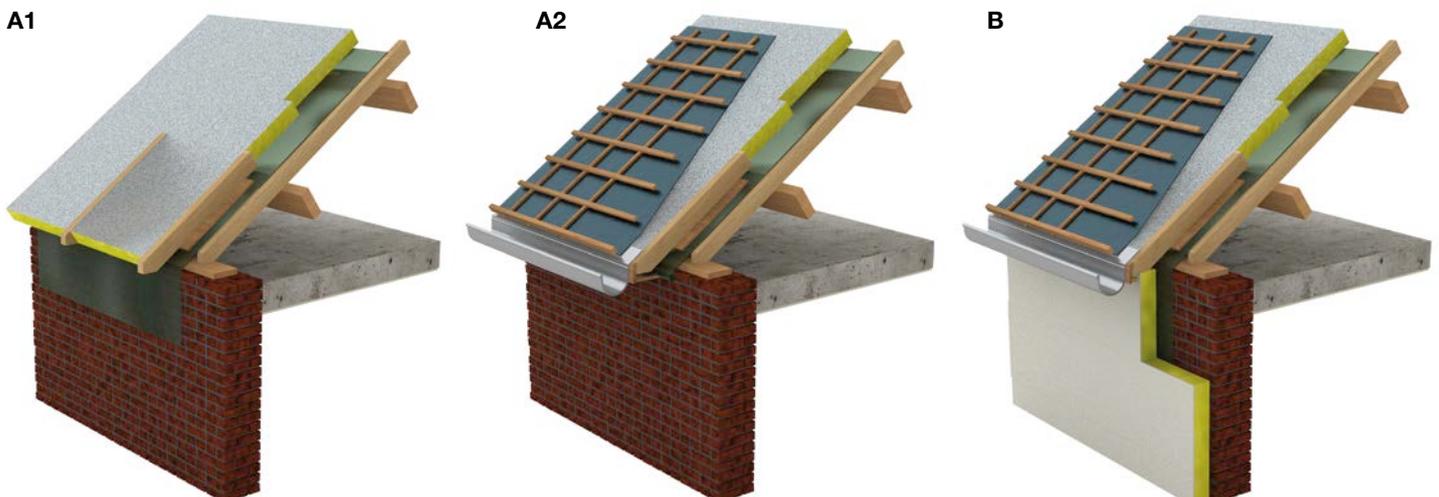
L'étude des détails de construction relève en principe de l'auteur de projet. Il est donc conseillé que le maître d'ouvrage assigne un architecte aux travaux, même s'il ne s'agit que d'une petite étape dans l'ensemble du processus.

Si le choix des détails de raccordement s'avère complexe, il est possible de recourir à un bureau d'étude spécialisé en physique du bâtiment. Ce dernier pourra étudier les nœuds constructifs à l'aide de logiciels de simulation thermique permettant d'évaluer les risques de dégradations et de réaliser les détails de manière plus sûre.

En conclusion, les seules règles généralisables sont la nécessité de garder une vue d'ensemble et de phaser les travaux de manière à ne pas investir dans des améliorations susceptibles d'être détruites ou détériorées par des interventions ultérieures.

C. Mees, ir., F. Dobbels, ir.-arch., et N. Heijmans, ir., division Energie, CSTC

L'isolation de la toiture doit être mise en œuvre de manière à qu'il soit toujours possible d'effectuer ultérieurement un raccordement avec l'isolation de façade.





L'évolution des procédés industriels, associés à des lignes de production automatisées de plus en plus performantes, offre des solutions nouvelles pour la rénovation du bâtiment. Similairement à ce qui se fait en construction neuve, des éléments d'enveloppe préfabriqués peuvent aujourd'hui être assemblés en atelier et fixés à la structure portante du bâtiment existant dans une phase ultérieure.

L'industrialisation devient-elle la nouvelle technique de rénovation ?

Dans sa forme la plus innovante, cette technique permet de 'recouvrir' le bâtiment d'une nouvelle enveloppe superposée aux murs existants. Les habitants peuvent ainsi continuer à occuper leur lieu de vie durant les travaux. De plus, cette approche accélère la phase de mise en œuvre, réduit les nuisances associées au chantier et offre un contrôle qualité accru. Outre leur fonction de deuxième peau, certains types de modules de façade préfabriqués peuvent également être utilisés pour l'extension du volume habité par l'ajout d'un étage ou d'une extension horizontale (voir figure 1). Les modules doivent alors pouvoir exercer une fonction portante.

Par ailleurs, l'intégration de techniques spéciales au sein des modules (conduits et câbles, panneaux solaires thermiques, panneaux photovoltaïques, protections solaires fixes ou mobiles...) ouvre la voie à une approche plus globale de la rénovation, avec ce que l'on peut finalement appeler des systèmes de façade industrialisés et multifonctionnels, ou éléments AIM-ES (*Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems*). Des dizaines de bâtiments ont été rénovés en Europe au cours des deux dernières décennies en recourant à cette méthode AIM-ES, attestant ainsi de son potentiel, de sa faisabilité et de ses avantages.

Implications

Cette approche de la rénovation requiert nécessairement une phase d'investigation approfondie du bâtiment existant, l'architecte devant s'entourer des



1 | Principe de rénovation constitué d'éléments de façade préfabriqués appliqués sur les murs existants

experts ou bureaux d'études compétents. Un haut niveau de préfabrication et de technicité entraîne une interaction poussée entre les équipes liées au projet. Une planification précise des interventions, des rôles et des responsabilités engagés lors des différentes phases du projet est dès lors cruciale. L'accélération de la phase chantier et l'amélioration de la qualité de la rénovation doivent donc être mises en perspective avec les exigences d'une telle préfabrication.

Au vu des coûts importants pouvant découler de la phase de conception, la méthode AIM-ES est adaptée de préférence à la rénovation de bâtiments de taille moyenne à grande et affichant un

certain degré de répétabilité architecturale, ou d'un ensemble de bâtiments identiques tels que des maisons de rangée, pour lesquelles le processus décisionnel permet une intervention simultanée sur plusieurs bâtiments.

Conception des modules

Les modules AIM-ES peuvent être conçus de multiples manières, les cinq paramètres principaux de la conception étant :

- le type de matériau structural du module
- la taille et l'orientation d'un module type
- sa composition et le niveau de pré-



fabrication

- les modalités de son raccord au mur existant
- son niveau de technicité.

Le dernier paramètre est lié à la possibilité d'intégrer des techniques spéciales en surface (panneaux solaires) ou dans le module (gainés de ventilation). Dans ce contexte, les modules de grande dimension⁽¹⁾ à structure en bois semblent particulièrement pertinents, car le principe constructif de ces derniers ne diffère que très peu de celui déjà utilisé en construction neuve. Le principal défi technique réside dans la conception adéquate de l'interface entre le mur existant et la nouvelle enveloppe, communément appelée couche d'adaptation (voir figure 2). Il faut en effet pouvoir s'assurer de l'absence totale de mouvement d'air entre les deux éléments, ce qui peut se révéler délicat dans le cas où les murs existants présentent d'importantes irrégularités.

Divers projets de recherche permettent déjà de disposer d'informations techniques sur les systèmes AIM-ES constitués d'une structure en bois⁽²⁾. Au vu des différents chantiers réalisés en Europe, de tels systèmes peuvent être classés en deux grandes familles. Le premier, dit système TES⁽³⁾ fermé, est caractérisé par une structure fermée par ses deux faces au moyen de panneaux (voir figure 2). L'isolant y est presque toujours posé en atelier. L'application ultérieure d'une couche d'adaptation est nécessaire. Pour ce faire, une sous-structure en bois peut être fixée sur les murs existants au droit des dalles de plancher. Ce lattis servira de zone d'ancrage aux modules. L'espace entre les lattes est comblé par un isolant compressible avant l'installation des modules ou par isolant insufflé après installation de ceux-ci. Il est également possible de poser un isolant compressible continu sur la face arrière des modules.

Dans le système TES ouvert, seule la

structure du module est placée sur la façade existante, posée sans isolant et panneautée uniquement sur la face avant (voir figure 2). L'isolant installé dans une phase ultérieure sur chantier (par injection ou insufflation) vient épouser les irrégularités des murs existants. Alors que cette seconde approche simplifie les processus de mise en place et la fixation des modules, elle limite le niveau de préfabrication et requiert donc la planification de nombreuses opérations sur chantier.

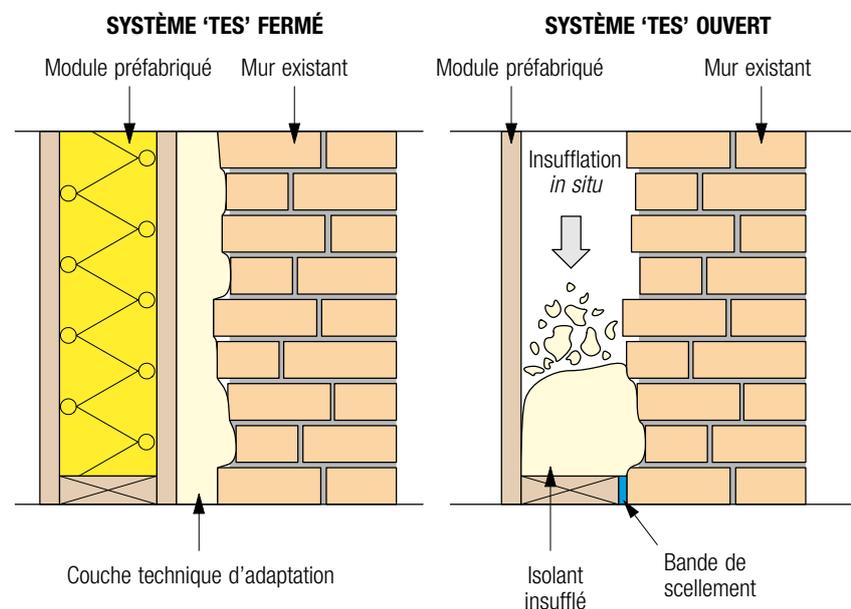
Certains points liés à la conception de ces deux types de systèmes nécessitent d'être approfondis, en raison du caractère innovant de la méthode. Mentionnons d'abord l'interfaçage entre les nouveaux éléments d'enveloppe et la structure existante. Sur ce point, l'étude géométrique du bâtiment est cruciale et les techniques récentes de relevé, comme les scanners 3D et les techniques de photogrammétrie 3D semblent inévitables. Les questions structurales sont également fondamentales, notamment la détermination des types d'ancrages à utiliser pour lier les deux structures et la

répartition des charges qui en découle. La sécurité incendie, les performances énergétiques et le confort des occupants constituent d'autres aspects centraux. Tous ces thèmes doivent être examinés plus en profondeur, à la lumière de la réglementation et du contexte belges. Le CSTC s'attelle actuellement à décrire des règles de conception et de mise en œuvre de ces systèmes.

Conclusion

Globalement, on peut retenir que la méthode AIM-ES se pose en tant que solution très intéressante dans un contexte d'intensification des efforts de rénovation lourde. Bien que n'étant pas adaptée à tous les types de projets, la préfabrication couplée à une intégration des techniques spéciales gagne en popularité, par leur qualité et leur rapidité d'exécution. **I**

*S. Dubois, dr. ir.,
et M. de Bouw, prof. dr. ir.-arch.,
chefs de projet, laboratoire Rénovation, CSTC*



2 | Les deux systèmes principaux constitués d'une structure en bois

(1) Les dimensions maximales d'un module sont communément limitées à 13 x 3,8 m pour des questions de transportabilité.

(2) Projet européen TES EnergyFacade (<http://www.tesenergyfacade.com>), projet Annex 50 de l'Agence internationale de l'énergie (<http://www.ecbcs.org/annexes/annex50.htm>), projet européen E2Rebuilt (<http://www.e2rebuild.eu/en/Sidor/default.aspx>), projet AIM-ES du CSTC (<http://www.brusselsretrofitxl.be/projects/aim-es/>).

(3) *Timber-based Element System*, terminologie issue du projet TES EnergyFacade.



Lorsqu'un nouveau propriétaire acquiert une maison existante, l'une des premières mesures qu'il envisagera pour améliorer son confort et agrandir l'espace de vie sera de prendre possession du volume sous les combles et d'isoler la toiture. Au vu des enjeux énergétiques actuels, il pensera souvent aussi à améliorer l'étanchéité à l'air et à fixer des panneaux solaires.

Rénovation énergétique des toitures à versants

Avant de démarrer les travaux, l'entrepreneur devra se poser un certain nombre de questions :

- peut-on conserver la couverture existante ? Les tuiles ou ardoises sont-elles en bon état ? Leur recouvrement est-il suffisant pour garantir l'étanchéité de la toiture ?
- la toiture est-elle pourvue d'une sous-toiture ? Est-elle déjà isolée ? L'isolant présent est-il visible ? N'est-il pas humide ou tassé ?
- les éléments à isoler sont-ils facilement accessibles ou y a-t-il de nombreux obstacles (pièces de charpente, gainages existants...) ?
- peut-on conserver la charpente existante ? En tout ou en partie ? Les éléments structurels sont-ils en bon état, stables et de section suffisante ?

Quels matériaux, quelles techniques ?

Concernant l'isolant, l'un des critères de choix réside évidemment dans sa conductivité thermique (valeur λ , exprimée en W/m.K) : plus faible sera sa valeur λ , meilleures seront ses performances thermiques pour une même épaisseur.

Il conviendra ensuite de déterminer la méthode de pose de l'isolant :

- **l'isolation au moyen de plaques rigides** (mousses synthétiques, verre cellulaire, fibre de bois...), par-dessus ou par-dessous la charpente, est particulièrement bien adaptée aux toitures de géométrie simple avec une charpente régulière et non déformée

- **l'isolation par matelas** (laines minérales, végétales...), plus souple, permet d'épouser la forme de la charpente
- **l'isolation insufflée** (flocons de cellulose, perlite...) **ou projetée** (mousses synthétiques) a l'avantage d'éviter les travaux de découpe et de remplir les moindres recoins du pan de toiture, même ceux difficiles d'accès. Elle pourra être envisagée dans les versants pourvus d'une sous-toiture rigide ou très fortement tendue et sera volontiers d'usage pour isoler les planchers des combles.

Il est déconseillé d'isoler sans prévoir de sous-toiture (une sous-toiture de substitution peut constituer une solution temporaire), car les différentes fonctions de celle-ci (protection de l'ouvrage en cours de travaux, reprise des éventuelles eaux de condensation sous la couverture, étanchéité au vent et à la poussière) permettent de protéger l'isolant et d'assurer sa performance. Qu'elle soit constituée d'une membrane, de plaques ou de panneaux, la sous-toi-

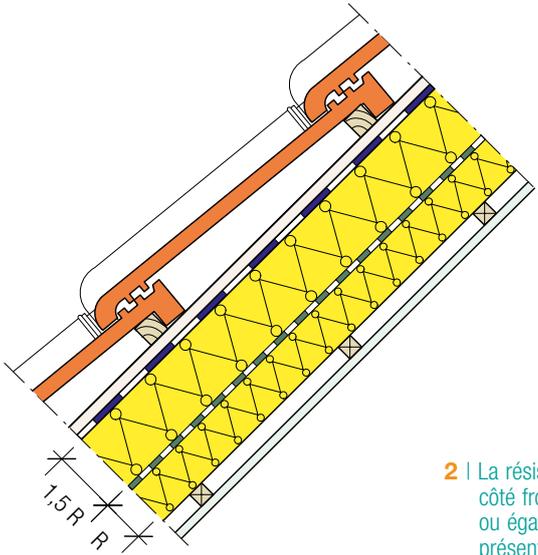
ture doit être ouverte à la diffusion de vapeur ($S_d \leq 0,5$ m). On conservera les sous-toitures anciennes, très peu perméables à la vapeur, que si la couverture n'est pas remplacée, et ce en étant extrêmement vigilant quant au choix du pare-vapeur et à sa mise en œuvre.

Du côté intérieur, un écran à l'air et à la vapeur posé de manière continue s'impose dans tous les cas : même si le matériau d'isolation est lui-même très étanche à la vapeur (plaques en PUR ou en PIR, par exemple), il ne faut pas oublier qu'une grande partie du transfert de vapeur d'eau peut se faire par convection, via les fuites entre les éléments d'isolation.

La pose du pare-vapeur doit être réalisée 'selon les règles de l'art', sans fuite visible au niveau des raccords. Pour contrôler sa mise en œuvre, il peut être conseillé de faire subir au bâtiment un test de pressurisation visant à repérer et à corriger les éventuelles fuites, d'autant plus si le climat intérieur est relativement humide et les locaux mal ventilés.

1 | Isolation posée par l'intérieur, au droit de la sablière, sur toute la hauteur du surcroît





2 | La résistance thermique de l'isolation du côté froid de la toiture doit être supérieure ou égale à 1,5 fois celle de l'isolant présent du côté chaud.

Répondre aux objectifs de performance thermique

Les réglementations imposent désormais, pour toute rénovation complète de la toiture, que le coefficient de transmission thermique de la paroi soit inférieur ou égal à $0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Afin de répondre à cette exigence, il faut compter, selon le type de sous-toiture envisagé (panneau de fibres de bois, plaque mince ou membrane), de 18 à 23 cm de laine minérale ou végétale entre les chevrons, ou environ 12 cm de polyuréthane sur ou sous la structure portante. Pour améliorer les performances, il est bien entendu possible d'augmenter ces épaisseurs, de combiner différentes techniques ou de recourir à des éléments structurels spécifiques (poutrelles en bois à âme mince...).

Mise en œuvre

En cas de rénovation, il est fréquent que l'on souhaite conserver les finitions intérieures.

Il convient dès lors de travailler par l'extérieur, en plaçant, par exemple, des panneaux rigides par-dessus les chevrons (méthode sarking).

Quelques règles d'exécution sont essentielles à respecter pour cette technique. Parmi celles-ci, rappelons que :

- les chevrons de support doivent avoir une largeur minimale de 50 mm, même en cas d'utilisation de vis autoforantes. La méthode sarking est à déconseiller lorsque la structure portante est constituée de fermettes (dont la largeur usuelle est de 36 mm)
- pour éviter la fissuration du bois, les contre-lattes doivent être de section suffisante : au moins $30 \times 50 \text{ mm}$ pour des vis d'un diamètre de 6 mm et au moins $40 \times 60 \text{ mm}$ pour des vis d'un diamètre de 8 mm
- la profondeur d'enfoncement des vis dans la structure portante doit être au moins six fois supérieure à leur diamètre (36, 42 ou 48 mm pour des vis de respectivement 6, 7 et 8 mm de diamètre)
- s'il n'est pas fait usage de vis placées

3 | Maison isolée par l'extérieur plusieurs années après réfection de la toiture. Des variations de teinte sont visibles au niveau des rives et du bas de toiture.



de biais, il est impératif de prévoir un chevron de calage en pied de toiture afin de reprendre le poids propre et les charges de neige.

Dans le cas de couches d'isolation combinées (sur et entre les chevrons), il faudra toujours veiller à garder l'écran à l'air et à la vapeur dans la partie chaude de l'isolant. Si le pare-vapeur est situé juste sous le panneau sarking, la résistance thermique du panneau devra être au moins 1,5 fois supérieure à celle de l'isolant placé entre les chevrons (voir figure 2). Concrètement, pour une laine minérale de 9 cm ($\lambda = 0,035 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) présente entre les chevrons, il faudra prévoir un panneau PUR ($\lambda = 0,024 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) d'au moins 10 cm d'épaisseur.

De manière générale, la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air avec les façades et des pignons doit être étudiée avec attention, y compris au niveau des détails. Pour traiter le nœud constructif en pied de versant, il peut s'avérer nécessaire de prévoir des solutions de recouvrement, tant en ce qui concerne l'isolation (voir figure 1) que le pare-vapeur (voir pp. 8-9).

Prévoir l'avenir...

En cas de rénovation phasée des différentes parties de l'enveloppe (toiture puis façades, par exemple), il est judicieux de prévoir certains détails dès le démarrage du projet. La mise en œuvre d'un débord au niveau des façades et des pignons, notamment, permettra de placer les futurs isolants en épaisseur suffisante, sans devoir recourir à des profilés de raccord ou démonter la gouttière et les éléments de rive dans les étapes ultérieures. Ces travaux sont évidemment réalisables, mais engendrent un surcoût important et peuvent mener à des variations de teinte dans le revêtement de toiture (voir figure 3).

D. Langendries, ir., chef de projet senior, division Energie, CSTC

Cet article a été rédigé avec le soutien de la DG06 dans le cadre de la Guidance technologique COM-MAT 'Matériaux et techniques de construction durables'.



Rénover une toiture plate ne revient pas simplement à appliquer une nouvelle couche d'étanchéité. En effet, l'entrepreneur d'étanchéité doit tout d'abord examiner l'ensemble du complexe toiture afin de repérer les éventuels problèmes et de proposer des solutions. Par ailleurs, dans le contexte énergétique actuel, il est impensable de rénover une toiture sans vérifier si celle-ci est suffisamment isolée thermiquement. Cet article présente un certain nombre de scénarios de rénovation spécifiques aux différents complexes toitures.

Techniques de rénovation des toitures plates étanches

1 Analyse du complexe toiture

En vue de déterminer les travaux de rénovation nécessaires, une analyse approfondie de la composition et de l'état du complexe toiture existant s'impose et entraîne peut-être la réalisation de quelques sondages. Des spécialistes pourront éventuellement être contactés au sujet de certains aspects de cette analyse (notamment la stabilité ou l'intégration des travaux dans la rénovation globale du bâtiment).

L'analyse préalable doit notamment se rapporter aux points suivants :

- la destination du bâtiment : à quelle classe de climat intérieur appartient ou appartiendra-t-il après la rénovation ?
- l'éventuelle attribution de fonctions supplémentaires à la toiture : prévoit-on la pose de panneaux solaires ou la réalisation d'une toiture verte ?
- la présence d'humidité dans le complexe toiture : observe-t-on des signes d'infiltrations ou des problèmes de condensation ?

- l'adhérence des diverses couches : a-t-on constaté des défauts d'adhérence ?
- la nature et l'état du plancher de toiture : sa capacité portante est-elle satisfaisante (flèche) ?
- la présence ou l'absence d'une forme de pente : y a-t-il stagnation d'eau ?
- la présence et l'emplacement des couches d'étanchéité à la vapeur et des matériaux isolants dans le complexe toiture : s'agit-il d'une toiture chaude, inversée ou froide ?
- la nature et l'épaisseur de la couche d'isolation : est-elle encore suffisamment cohésive ?
- le mode de fixation et l'état des couches d'étanchéité : celles-ci peuvent-elles être conservées ?
- les détails de toiture : quelle est la hauteur des relevés et peuvent-ils éventuellement être rehaussés ?

Les avaloirs présents dans les toitures constituent généralement les points les plus délicats. Comme il n'est pas possible de garantir qu'ils disposeront

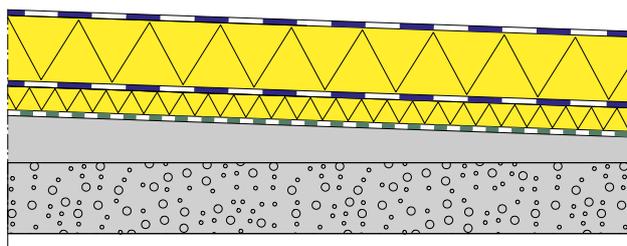
de la même durée de vie que la nouvelle étanchéité de toiture, il est toujours recommandé de les remplacer.

2 Isolation thermique

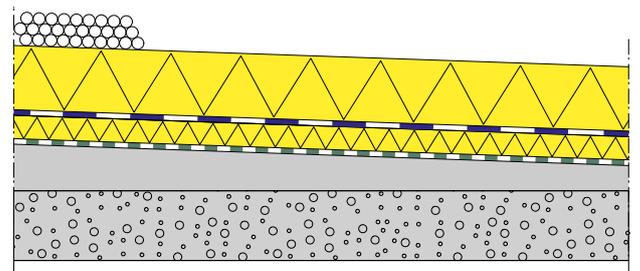
Afin de répondre à la réglementation actuelle, il sera généralement nécessaire d'appliquer dans le complexe toiture une couche d'isolation thermique supplémentaire, d'une épaisseur comprise entre 10 et 18 cm.

Pour que cette intervention soit menée à bien d'un point de vue technique et pour éviter tout problème de condensation interne, il est préférable — comme pour les constructions neuves — d'opter pour les complexes toitures dont le pare-vapeur se trouve juste en dessous de l'isolation thermique et sur un support continu (plancher de toiture ou sa forme de pente) (voir NIT 215) (*). L'isolant supplémentaire étant alors posé au-dessus du complexe toiture existant, les émergences de la toiture doivent être suffisam-

1 | Rénovation thermique d'une toiture chaude au moyen d'une isolation thermique et d'une étanchéité de toiture supplémentaires



2 | Rénovation thermique d'une toiture chaude au moyen d'une isolation de toiture inversée et d'une couche de lestage (toiture duo)



(*) Les complexes toitures dont l'isolation thermique est située sous le support de toiture sont déconseillés, car le pare-vapeur ne reposerait pas sur un support continu (voir Infocliche 26).



ment hautes ou pouvoir être rehaussées (voir [Les Dossiers du CSTC 2011/2.6](#)).

S'il n'y a pas de problèmes d'humidité dans le complexe toiture et si la destination du bâtiment n'est pas modifiée, l'apport d'une isolation thermique sur la face supérieure ne devrait, en principe, pas engendrer de problèmes de condensation. Toutefois, si ces conditions ne sont pas remplies, la résistance thermique R de la couche d'isolation supplémentaire, placée au-dessus de l'étanchéité d'origine qui sert à présent de pare-vapeur, doit être 1,5 fois supérieure à celle de l'isolation existante (voir [Infocarte 26](#)).

La présence de lames d'air entre le pare-vapeur et l'étanchéité de toiture est à proscrire. Une circulation d'air pourrait effectivement s'y introduire et entraîner une réduction des performances de l'isolation thermique ainsi qu'un accroissement du risque de condensation.

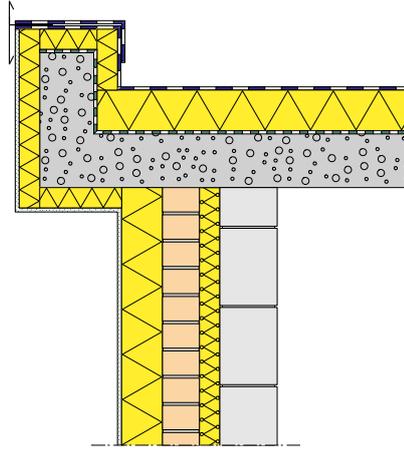
3 Scénarios de rénovation

3.1 Rénovation thermique d'une toiture chaude

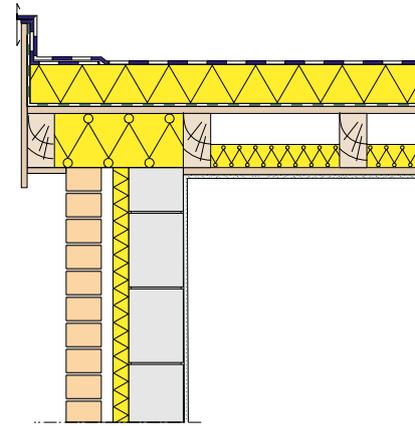
S'il ressort de l'analyse préalable que le complexe toiture existant peut être conservé, il est possible d'appliquer au-dessus des couches d'étanchéité présentes soit une couche d'isolation thermique supplémentaire ainsi qu'une étanchéité (toiture chaude, voir figure 1), soit une isolation de toiture inversée et une couche de lestage (voir figure 2). Pour cette dernière configuration, également appelée toiture duo, il convient de vérifier la qualité de l'étanchéité originelle, car celle-ci doit continuer à assurer l'étanchéité à l'eau du nouveau complexe toiture. Le plancher de toiture doit, quant à lui, pouvoir supporter le poids du lestage supplémentaire.

3.2 Rénovation thermique d'une toiture froide

Les complexes toitures froids ne sont pas acceptables d'un point de vue technique et doivent dès lors être transformés en toitures chaudes. Pour ce faire, tous les orifices d'aération éventuels doivent être obturés. Dans un complexe



3 | Rénovation d'une toiture pourvue d'un débord et d'un support en béton



4 | Rénovation d'une toiture pourvue d'un débord et d'un support en bois

de ce type, il est essentiel de vérifier l'état du plancher de toiture, car il existe un risque important d'humidité excessive dû à la condensation.

L'isolation thermique située sous le plancher doit, de préférence, être retirée. Néanmoins, si elle est encore en bon état, elle peut éventuellement être conservée. Dans ce cas, il faut veiller à ce que la résistance thermique de l'isolation supplémentaire placée au-dessus du plancher de toiture soit 1,5 fois supérieure à la résistance de l'isolation déjà présente. L'étanchéité existante fera office de pare-vapeur dans la toiture rénovée.

Pour le cas spécifique des toitures compactes, nous renvoyons à l'article publié dans [Les Dossiers du CSTC 2012/2.6](#), qui traite des points essentiels, des conditions de mise en œuvre et des risques encourus.

4 Importance des détails

Lors de la rénovation énergétique d'un bâtiment, les détails doivent faire l'objet d'une attention particulière au préalable. Les parties d'enveloppe attenantes peuvent en effet fortement influencer la conception des détails.

L'un des points auxquels il convient de veiller le plus concerne la continuité de l'isolation thermique (nœuds constructifs conformes à la PEB). Cette continuité pourra généralement être assurée en isolant davantage les émergences de toiture.

Ainsi, la rénovation des toitures pourvues d'un débord doit être effectuée selon une méthode mûrement réfléchie. Pour les planchers de toiture en béton, il conviendra d'isoler la totalité du débord afin d'éviter la création d'un pont thermique (voir figure 3). Dans le cas d'un plancher en bois, il est possible d'ouvrir celui-ci le long des rives de la toiture afin de placer un isolant thermique complémentaire entre les poutres (voir figure 4).

Soulignons enfin que l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment dans le cadre de la rénovation d'une toiture plate ne relève pas de la mission habituelle de l'entrepreneur d'étanchéité. Pour les toitures comportant un plancher en béton, on compte en effet sur l'étanchéité à l'air du plancher ainsi que sur celle du revêtement intérieur (enduit). Dans le cas de toitures munies d'un plancher léger, qui n'est pas remplacé durant la rénovation, l'entrepreneur d'étanchéité ne sera plus en mesure de mettre en œuvre les membranes d'attente permettant de relier la barrière d'étanchéité à l'air des murs extérieurs au pare-vapeur ou à l'étanchéité de la toiture. Ces membranes doivent effectivement déjà être placées durant la réalisation de la toiture. Dans ce cas, il sera peut-être nécessaire de poser une barrière d'étanchéité à l'air supplémentaire sous le plancher de toiture (voir [Les Dossiers du CSTC 2012/1.7](#)). |

E. Mahieu, ing., chef adjoint de la division Interface et consultation, CSTC



Une étanchéité à l'air correcte et une bonne isolation thermique permettent de réduire les déperditions thermiques des fenêtres et, par conséquent, d'augmenter leurs performances énergétiques et le confort des occupants. Il faudra agir sur le châssis ou sur le vitrage, selon que l'on souhaite améliorer respectivement l'étanchéité à l'air ou l'isolation thermique.

Rénovation des **fenêtres existantes**

Les performances à atteindre en matière d'isolation thermique dans le cas de nouveaux bâtiments ou de rénovations avec permis d'urbanisme sont, pour la fenêtre, de $U_{w,max} = 1,5 \text{ W/m}^2.K$ en Flandre et de $1,8 \text{ W/m}^2.K$ en Wallonie et à Bruxelles et, pour le vitrage, de $U_{g,max} = 1,1 \text{ W/m}^2.K$. C'est donc vers ces performances qu'il faut tendre lorsque l'on envisage un remplacement complet de la fenêtre ou une rénovation partielle de celle-ci. D'un point de vue purement énergétique, le remplacement des fenêtres existantes par de nouvelles fenêtres équipées de vitrages performants (dits à haut rendement) ou par des fenêtres à haute performance énergétique (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/2.7](#) et [2015/4.5](#)) reste la solution la plus efficace. Elle permet en outre de garantir des performances durables et adaptées aux besoins du maître d'ouvrage.

D'autres solutions (voir § 1) permettent cependant de ne pas procéder au remplacement complet de la fenêtre si celui-ci n'est pas envisageable pour diverses raisons telles que le prix, les désagréments causés par les travaux, les difficultés rencontrées en présence de bâtiments classés..., voire pas absolument nécessaire. Avant d'envisager la rénovation de la fenêtre, il faut procéder à une évaluation de ses profilés. En effet, le châssis existant ne pourra pas toujours être conservé s'il n'est, par exemple, plus en bon état ou plus adapté à l'usage ou aux performances attendues. Souvent, lorsque les fenêtres sont équipées de simple vitrage, le châssis ne permettra pas d'obtenir des performances énergétiques intéressantes. En outre, d'une part, il est souvent difficile de respecter l'ensemble des recommandations en matière de drainage de la feuillure

des doubles vitrages et, d'autre part, le risque de concentration de condensation sur les châssis non isolants est bien réel. Le remplacement du simple vitrage constitue donc une solution temporaire et à envisager à court terme. Le remplacement complet de la fenêtre est, dès lors, souvent souhaitable.

En cas de rénovation énergétique d'un bâtiment, la ventilation ne doit pas être oubliée afin, notamment, d'éviter des problèmes d'humidité et d'assurer le confort des occupants (voir pp. 30-31).

Enfin, pour atteindre des performances énergétiques élevées au niveau du bâtiment, le seul remplacement des fenêtres est souvent insuffisant et devra s'envisager avec l'isolation future de la façade.

Le présent article se focalise sur la rénovation des fenêtres existantes équipées de doubles vitrages datant d'avant 2000. Les solutions propres au remplacement du simple vitrage et à la pose de doubles fenêtres n'y seront pas abordées (voir [Les Dossiers du CSTC 2012/3.8](#)).

1 Solutions alternatives au remplacement complet de la fenêtre

Les solutions les plus courantes permettant d'éviter le remplacement complet de la fenêtre sont essentiellement :

- l'amélioration de l'étanchéité à l'air des fenêtres existantes (voir [Les Dossiers du CSTC 2012/3.8](#)), des grands ensembles menuisés juxtaposés, du raccord de la menuiserie avec le gros œuvre (voir § 3)
- l'amélioration des performances du vitrage :
 - le remplacement du vitrage existant

par un double vitrage performant, voire un triple vitrage, pour autant que la résistance du profilé et la quincaillerie du châssis existant le permettent. Signalons toutefois qu'il existe des doubles vitrages présentant une valeur U_g de $0,8 \text{ W/m}^2.K$ – solution idéale en rénovation (cas des profilés de faible épaisseur) – et dont le poids est réduit par rapport à celui d'un triple vitrage

- le placement d'un film sur le vitrage, qui permet d'améliorer certaines performances (contrôle solaire, sécurité, anti-UV...), mais diminue la transmission visuelle. Ces films augmentent cependant le risque de casse thermique et leur impact sur la valeur U_g du vitrage est relativement faible s'il s'agit de films à contrôle solaire (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/2.6](#) et [2012/4.9](#)).

2 Menuiseries existantes : critères initiaux

Le remplacement du vitrage existant nécessite le respect de différents critères énoncés ci-après.

2.1 Les matériaux

Pour une menuiserie en bois, un poinçonnement manuel à l'aide d'un stylet de 3 mm^2 permet, s'il ne s'enfonce pas dans le matériau, de valider la qualité de la menuiserie. Il y a lieu de vérifier la menuiserie en plusieurs endroits en faces extérieures, intérieures et en partie centrale (fond de feuillure). Il est en effet probable qu'un entretien superficiel ait pu camoufler certains désordres.



Pour une menuiserie en acier ou en aluminium, les actions de la corrosion pourront fragiliser les parois métalliques. Le test de poinçonnement s'avère également pertinent. Si la menuiserie métallique ne comporte pas de rupture thermique, la rénovation (à finalité énergétique) nécessitera le remplacement des châssis.

Pour une menuiserie en matière synthétique, une fragilisation des parois extérieures pourrait fortement hypothéquer la durabilité des châssis. Une vérification de la fragilité peut être effectuée par un impact d'une énergie égale à 0,5 Nm (soit un corps dur de 500 g tombant de 10 cm).

Si les critères de qualité des matériaux ne sont pas remplis, il y a lieu de remplacer les profilés. Pour les menuiseries en bois, le remplacement partiel reste possible.

2.2 Rectitude et équerrage

La compression des joints nécessite des profilés rectilignes et un bon équerrage des ouvrants et dormants. Constatés lors du diagnostic initial, des écarts jusqu'à 12 mm sur la diagonale pourront facilement être rattrapés par un nouveau calage du vitrage. Si les écarts sont supérieurs, il sera certainement nécessaire d'intervenir au niveau des assemblages. Si les profilés sont déformés par torsion, flexion ou incurvation, l'étanchéité sera difficilement atteinte. Une intervention importante étant à prévoir, le remplacement des cadres sera privilégié.

2.3 Qualité des assemblages

La rénovation des menuiseries peut entraîner une augmentation du poids du vitrage et donc une augmentation des sollicitations au niveau des assemblages. Une vérification minutieuse de ces derniers, voire un renforcement (tenon, équerre, tire-fond...) devront dès lors être envisagées. On contrôlera leur étanchéité à l'aide d'une jauge d'épaisseur inférieure à 0,2 mm (voir figure). Pour les menuiseries métalliques, l'étanchéification complémentaire des assemblages est nécessaire après renforcement mécanique, tandis que, pour les menuiseries synthétiques, la fissuration des assemblages nécessitera le remplacement du châssis.

2.4 Quincailleries et joints

L'analyse initiale doit également permettre de s'assurer que les points de suspension, points de fermeture et autres éléments de quincaillerie ne sont pas dégradés ou oxydés et qu'ils sont toujours bien fixés. L'analyse doit également déterminer si le nombre de points de quincaillerie est suffisant pour assurer la compression des joints et donc l'étanchéité souhaitée de l'élément. Dans le cas de châssis coulissants, outre la qualité et la continuité des joints, les vérifications ciblent également les joints (mousses) en partie centrale.

2.5 Resserrage et fixation

Le diagnostic initial doit aussi porter sur le resserrage et les fixations du

châssis. Les pattes ou dispositifs de fixation doivent assurer la continuité des performances mécaniques. Ces fixations ne doivent pas être dégradées. Si une vérification *de visu* n'est pas possible, l'analyse se focalisera sur la fixation du dormant. Une action (manuelle) de 400 N sur les profilés dormants doit confirmer la rigidité de la fixation. Au niveau des joints de resserrage, les mastics perdent rapidement leurs caractéristiques de reprise élastique. Un entretien régulier, voire un remplacement est nécessaire.

3 Continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air

La continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air avec le gros œuvre est primordiale. Si, dans un premier temps, seule la rénovation des menuiseries extérieures est envisagée, il y a lieu de tenir compte des futures interventions (isolation par l'extérieur, par l'intérieur, injection dans les coulisses...). La position des menuiseries, voire les dimensions des profilés devront probablement être adaptées.

Dans le cas d'une future isolation par l'extérieur, un retour de l'isolant contre le châssis devra être prévu. Ainsi, les dormants des menuiseries devront tenir compte de cette battée complémentaire. En pratique, on veillera à laisser au minimum 2 cm supplémentaires au niveau du linteau et des côtés latéraux.

Au niveau du seuil, un préseuil ou un profil complémentaire permettront d'adapter plus facilement les seuils tout en gardant une continuité possible avec la future isolation. En cas d'isolation ultérieure par l'intérieur, la manœuvre des ouvrants pourrait limiter l'isolation du tableau. Il faut en tenir compte lors de la phase de rénovation des menuiseries. Un surprofil ou des blochets permettront de prévoir l'épaisseur d'isolation du tableau suffisante pour garantir des nœuds tendant à être PEB conformes. |

Contrôle de l'étanchéité à l'aide d'une jauge



V. Detremmerie, ir., et B. Michaux, ir., division Enveloppe du bâtiment et menuiserie, CSTC



La rénovation énergétique des murs consiste principalement à accroître leur performance d'isolation thermique et à améliorer leur étanchéité à l'air principalement au droit des raccords avec les menuiseries. En partie courante, l'étanchéité à l'air est généralement assurée par l'enduit intérieur. Atteindre le niveau d'ambition souhaité à l'aide de matériaux d'isolation 'traditionnels' nécessite l'ajout d'une ou plusieurs couches d'isolation supplémentaires de l'ordre de 12 à 20 cm d'épaisseur au total.

Techniques de rénovation énergétique des murs

On distingue plusieurs concepts d'isolation thermique en fonction de la typologie du mur porteur, de la situation projetée pour ce dernier par rapport au volume protégé et de l'influence sur l'aspect esthétique. Une combinaison de techniques d'isolation n'est pas exclue et peut même s'avérer pertinente.

1 Principales techniques

La **postisolation d'un mur creux** existant par remplissage de la coulisse est décrite dans la **NIT 246**. Celle-ci doit être envisagée, car il s'agit d'une technique relativement économique, d'une bonne rentabilité et n'engendrant que très peu de désagréments durant les travaux. Etant donné que l'épaisseur d'isolation rapportée se limite souvent à environ 5 ou 6 cm et que cette isolation influence le comportement de la façade, la technique constitue généralement une étape préalable à l'application d'une plus forte isolation qui présentera l'avantage

1 | Isolation par l'extérieur de murs existants



d'éliminer la plupart des ponts thermiques résiduels. De ce point de vue, une couche d'isolation complémentaire rapportée sur la face extérieure de la façade s'avère souvent plus favorable.

L'**isolation par l'intérieur** (voir **Les Dossiers du CSTC 2012/4.16** et **2013/2.4**) est un concept qui envisage la pose, du côté intérieur du mur et contre ce dernier (sans lame d'air), d'une couche d'isolation et, le plus souvent, d'une membrane d'étanchéité à l'air et à la vapeur. Cette technique entraîne cependant un certain nombre de risques accrus devant être soigneusement évalués. Les nœuds constructifs exercent une influence non négligeable sur les déperditions thermiques totales de la paroi, de sorte qu'une augmentation de l'épaisseur d'isolant au-delà de 6 à 8 cm n'a que peu de sens d'un point de vue énergétique si l'on ne traite pas soigneusement les raccords. Il convient en outre de tenir compte du fait que la présence de ponts thermiques augmente le risque de condensation et de développement de moisissures. Si ce constat est valable quelle que soit la technique d'isolation de la façade, il est toutefois incontestable que l'isolation par l'intérieur complique singulièrement le traitement de certains nœuds.

L'**isolation par l'extérieur** est un concept qui consiste à protéger les façades au moyen de techniques d'isolation appropriées comme, principalement :

- les bardages isolés (**NIT 243**, **Les Dossiers du CSTC 2014/4.8**)
- les pierres agrafées isolées (**NIT 146**)
- les ETICS, c'est-à-dire les enduits (**NIT 209** en révision) ou les revête-

ments durs sur isolation extérieure (**Les Dossiers du CSTC 2015/4.9**)

- les parements neufs en maçonnerie isolée (STS 22 et NIT à paraître).

Le concept permet assez aisément la pose d'une couche d'isolation d'épaisseur suffisante (12 à 20 cm). Les choix esthétiques sont très nombreux et offrent la possibilité de répondre à quasi tous les souhaits.

L'isolation par l'extérieur est à privilégier lorsqu'elle est autorisée (par le code de l'urbanisme, par exemple), car elle est plus favorable sur le plan hygrothermique que l'isolation par l'intérieur (conservation de la masse thermique du mur dans le volume protégé, limitation des risques de condensation...). Elle permet en outre de protéger le mur porteur des sollicitations climatiques. Enfin, les nuisances intérieures durant les travaux sont limitées (voir figure 1).

Lorsque l'isolation par l'extérieur n'est pas envisageable, l'isolation par l'intérieur, combinée, le cas échéant, à la postisolation du mur creux peut être concevable et réalisable.

2 Diagnostic technique

Afin d'établir l'applicabilité des techniques de rénovation énergétique, il y a lieu de procéder à l'examen préalable du mur et de son exposition. Différents points de contrôle sont repris dans les documents de référence, en particulier ceux relatifs à la stabilité du mur et à la présence d'humidité ou de dégâts en tout genre (gel, fissures...).



Le mur doit tout d'abord être stable et permettre l'application de l'isolation et du parachèvement, sans porter atteinte à leurs performances fonctionnelles et esthétiques. Les fissures actives, par exemple, peuvent constituer un signe d'instabilité. L'examen de la coulisse des murs creux est nécessaire afin de s'assurer, entre autres, que les attaches existantes sont toujours fonctionnelles (absence de corrosion).

D'une manière générale, quelle que soit la technique d'isolation envisagée, les pieds de murs devraient être pourvus des barrières anticapillaires nécessaires. Aucune technique d'isolation ne permet de pallier des problèmes d'humidité ascensionnelle. Dans tous les cas, le mot d'ordre doit être de ne jamais cacher un éventuel problème d'humidité, mais de procéder à un diagnostic précis et de voir quelles mesures doivent éventuellement être prises avant d'isoler la façade.

La postisolation d'un mur creux et l'isolation par l'intérieur requièrent une étude particulière systématique quant à l'exposition de la façade aux intempéries. Ces techniques sont généralement déconseillées en présence de pathologies visibles liées à l'humidité (dégâts de gel, infiltrations d'eau visibles, certaines efflorescences).

Les techniques d'isolation par l'extérieur contribuent à remédier aux problèmes d'humidité liés à des infiltrations d'eau à travers la façade ainsi qu'aux problèmes de dégâts de gel.

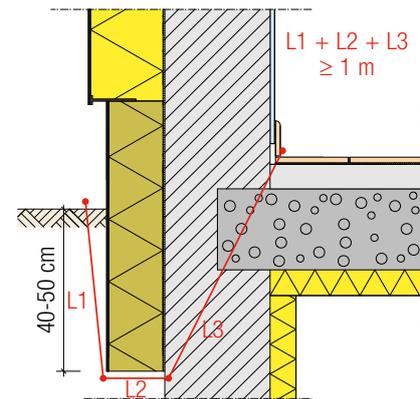
3 Raccords

Bien que la réglementation n'exige la prise en compte des nœuds constructifs que dans le cas des bâtiments neufs et assimilés, le soin apporté à leur traitement influence grandement la qualité de la rénovation énergétique. On devrait donc, dans ce cadre, s'inspirer fortement des détails conçus et réalisés en construction neuve. En particulier, on appliquera dans la mesure du possible les règles simplifiées des réglementations thermiques. A titre illustratif, des raccords sont discutés ci-dessous.

3.1 Pied du mur

En cas d'isolation par l'extérieur d'un mur existant, le traitement soigné du nœud constructif en pied de mur requiert d'excaver le sol extérieur au contact du mur jusqu'à une profondeur de l'ordre de 40 à 50 cm et d'y poser une couche d'isolation adaptée, insensible à l'humidité (voir figure 2). Ce traitement permet de limiter les déperditions thermiques entre les environnements intérieur et extérieur grâce à un chemin de moindre résistance thermique suffisamment long (≥ 1 m).

Si l'isolation par l'extérieur n'est pas envisageable et qu'on recourt à une isolation par l'intérieur, le traitement soigné du nœud est relativement complexe. Or, comme évoqué ci-avant, sans ce traitement des différents nœuds, une isolation rapportée à l'intérieur de plus de 6, voire 8 cm d'épaisseur a peu de sens.



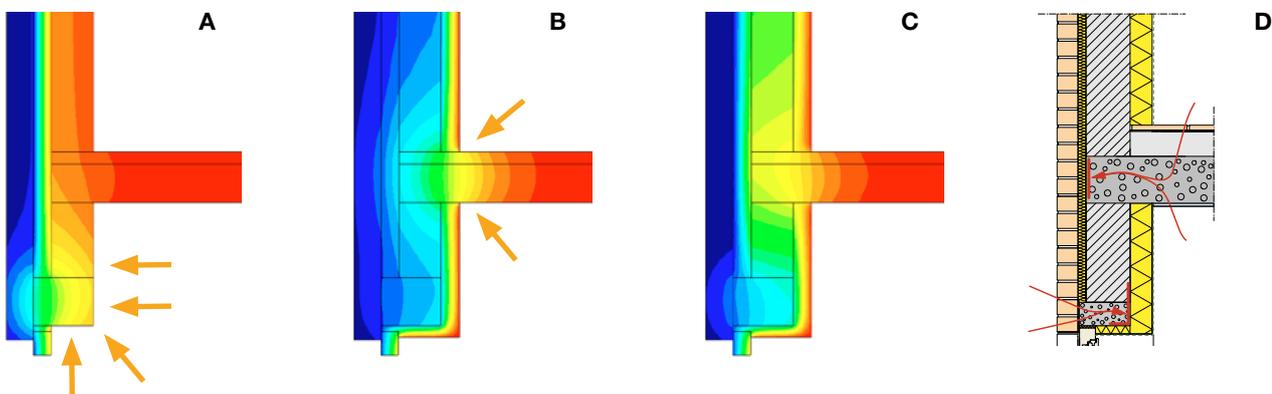
2 | Prolongement dans le sol de la couche d'isolation extérieure afin d'allonger le chemin de moindre résistance thermique

3.2 Combinaison de techniques

Lorsque l'isolation par l'extérieur n'est pas envisageable, le traitement soigné de tous les nœuds constructifs sur le plan thermique sera très difficile. Mais dans le cas d'un mur creux, la combinaison de la postisolation de la coulisse et de l'isolation par l'intérieur peut s'avérer pertinente, car les ponts thermiques relatifs aux deux techniques ne sont pas les mêmes (voir les schémas de la figure 3).

Au droit du plancher, l'isolation du creux comble souvent la déficience de l'isolation par l'intérieur et inversement au droit du linteau de baie.

Y. Grégoire, ir., et A. Tilmans, ir.,
divisions Matériaux et Energie
et J. Wijnants, ing., division
Avis techniques, CSTC



3 | Champs de température : isolation du creux avec pont thermique au niveau du linteau (A), isolation par l'intérieur avec pont thermique au niveau du plancher (B), combinaison des deux techniques sans pont thermique résiduel (C) et sa représentation schématique (D)



Les grands principes relatifs à l'isolation thermique des planchers ont été examinés en détail dans l'Infofiche 69.4. Cet article aborde plus particulièrement les techniques de rénovation énergétique des sols existants, lorsque ces derniers séparent un volume chauffé d'un volume non chauffé. En revanche, le cas particulier des planchers mitoyens n'est pas abordé, compte tenu des moindres exigences thermiques les concernant, mais surtout des exigences acoustiques complémentaires requérant une étude spécifique.

Techniques de rénovation énergétique des sols

Pour toute rénovation complète de la paroi, les réglementations imposent actuellement un coefficient de transmission thermique maximum de $0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ à Bruxelles et en Wallonie, et de $0,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en Flandre, ce qui nécessite une épaisseur d'isolation comprise entre 10 et 20 cm selon le type d'isolant choisi.

Diagnostic

Avant d'entamer les travaux, il convient d'effectuer un examen attentif des planchers existants, ce qui permettra de déterminer le mieux possible l'ampleur des travaux à réaliser et d'en chiffrer le coût.

Dans tous les cas, toute déformation anormale du support (flèche) devra être examinée afin d'en identifier les causes. Les déformations admises en ce qui concerne les planchers sont mentionnées dans la norme NBN B 03-003. Ces valeurs, comprises entre $1/250^{\circ}$ et $1/1000^{\circ}$ de la portée, sont principalement fixées en fonction de la sensibilité à la fissuration des **revêtements de sol** ou des cloisons prenant appui sur le plancher. Des déformations plus importantes ne sont pas nécessairement alarmantes – la norme précitée accepte, dans le cas de supports de toiture plate, une déformation atteignant $1/125^{\circ}$ de la portée entre appuis –, principalement pour les planchers en bois et pour les portées importantes, pour lesquels le critère de déformation intervient largement avant le critère de stabilité. Au

besoin, il y aura lieu de consulter un bureau d'étude qui pourra procéder aux investigations complémentaires et qui déterminera les remèdes à apporter (appuis complémentaires, armatures collées...) en tenant compte de la gêne éventuelle liée aux vibrations.

S'il s'agit d'un **revêtement de sol directement posé sur lit de sable stabilisé sur terre-plein** ou d'une **dalle sur sol**, il convient essentiellement de vérifier la présence d'humidité.

Pour les **planchers sur cave, sur vide sanitaire ou surplombant un espace extérieur**, il importe de vérifier attentivement l'état du support (présence de traces de corrosion, d'éclats dans le béton, de fissuration des hourdis en terre cuite).

Dans le cas spécifique des **planchers en bois**, il est particulièrement important de s'assurer de l'absence de toute trace d'humidité ou d'attaque d'insectes ou de champignons, principalement au droit de l'encastrement des gîtes. Il est impératif que les mesures soient prises afin de supprimer durablement l'éventuelle source d'humidité et de remplacer, à l'aide de bois traité, les parties du gîtage qui auraient été attaquées (procédé A2 ou à déterminer selon les risques estimés).

L'isolation thermique complémentaire peut être rapportée au-dessus ou en dessous du support ou, en présence de planchers en bois, dans l'épaisseur de ce dernier. Dans tous les cas, il importe

de garder à l'esprit que, plus l'isolation thermique sera proche du revêtement de sol, plus l'inertie thermique de celui-ci sera faible et plus il réagira rapidement aux variations de températures du climat intérieur. De même, la pose de la couche d'isolation au-dessus du support permet généralement d'assurer aisément la continuité avec l'isolation thermique des **murs de façade** lorsque ceux-ci sont isolés par l'intérieur.

Rappelons également que, lorsque le niveau fini du revêtement de sol ne peut être surélevé que dans une faible mesure, l'épaisseur de l'isolation thermique peut être diminuée en utilisant des panneaux dont le coefficient de conductivité thermique est particulièrement faible, tels que les isolants nanostructurés à base d'aérogel et les VIP (*Vacuum Insulating Panels*) (voir pp. 22-23). Leur déformation sous charge doit toutefois être limitée (voir [Les Dossiers du CSTC 2010/4.12](#)). La pose d'un revêtement de sol flottant sur un panneautage (si nécessaire en double couche croisée) permet de réduire également la surépaisseur totale.

Revêtement de sol sur terre-plein

Il s'agit d'une situation que l'on peut rencontrer dans d'anciennes maisons d'habitation dont le revêtement de sol, le plus souvent constitué de carreaux en terre cuite ou à base de ciment, était posé au mortier sur une sous-couche de sable stabilisé mise en œuvre directement sur le sol préalablement damé.



Lorsque le niveau fini du revêtement de sol peut être surélevé – ce qui suppose que la hauteur sous plafond soit suffisante et que le niveau des menuiseries intérieures et extérieures puisse être adapté –, la solution la plus économique consiste à placer l'isolation thermique sur le revêtement de sol existant. Il peut s'agir de panneaux rigides, de préférence posés sur un film anticapillaire, ou d'une mousse de polyuréthane projetée. L'isolation doit alors être protégée au moyen d'un film plastique et surmontée d'une chape armée destinée à la pose du revêtement de sol.

Lorsque le niveau du futur revêtement de sol ne peut pas être modifié, il y aura lieu d'évacuer le revêtement de sol et sa chape de pose, d'excaver le sol sur une hauteur correspondant à l'épaisseur totale nécessaire, de dérouler une membrane anticapillaire, de poser les panneaux d'isolation thermique, de protéger ces derniers au moyen d'un film plastique et de mettre en œuvre la structure de plancher, la chape (armée) et le revêtement de sol souhaité. La pose de l'isolation thermique sur ou sous la structure armée doit être déterminée par l'auteur de projet, en fonction de l'inertie thermique souhaitée.

Dalle sur sol

Tout comme pour le cas précédent, différentes situations peuvent être rencontrées. Lorsque le niveau fini du revêtement de sol peut être surélevé, il suffit de placer l'isolation thermique sur le revêtement de sol existant. Cette solution présente l'avantage d'être économique.

Lorsque le niveau fini du revêtement de sol ne peut être surélevé que dans une faible mesure (portes d'une hauteur importante pouvant être remplacées ou faire l'objet d'une mise à dimension), il est alors possible d'évacuer ce dernier et sa chape de pose, de poser l'isolation thermique sur la dalle de sol et de la protéger au moyen d'un film plastique.

Enfin, lorsque le niveau du revêtement de sol est fixe et ne peut être modifié (niveau déterminé par la hauteur sous plafond ou par les menuiseries intérieures, par exemple), la dalle sur sol doit être démolie et évacuée, et le sol excavé jusqu'au niveau souhaité. On peut alors opter pour la pose de l'isolation thermique en dessous ou au-dessus de la dalle de sol, selon que

l'on souhaite ou non bénéficier d'une inertie thermique plus importante.

Plancher situé au-dessus d'un espace non chauffé

Le choix de l'emplacement de l'isolation thermique dépendra tout d'abord de la volonté de remplacer ou non le revêtement de sol des locaux concernés, de l'inertie thermique souhaitée et de la possibilité de prolonger la couche d'isolation thermique du plancher avec celle des parois adjacentes.

La solution la plus économique consiste généralement à placer l'isolation thermique en dessous du support existant. Cette situation présente cependant l'inconvénient de ne pas permettre la continuité de la couche d'isolation lorsque les façades du bâtiment sont isolées par l'intérieur. Dans ce cas, il est évidemment plus logique d'isoler le complexe plancher par le dessus, sachant que la continuité de la barrière étanche à l'air sera également plus aisée à assurer. ■

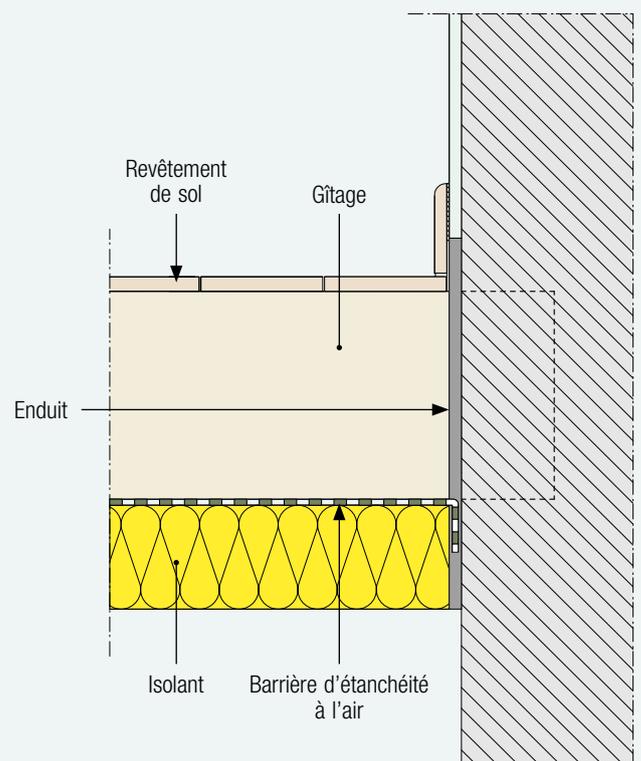
*L. Firket, arch., chef adjoint de la division
Avis techniques, CSTC*

L'étanchéité à l'air et à la vapeur des planchers

Afin de limiter les déperditions par ventilation et d'éviter les risques de condensation interne au sein des planchers après isolation de ces derniers, il importe d'assurer l'étanchéité à l'air et à la vapeur entre les volumes chauffés et non chauffés.

Pour chaque situation, il conviendra donc d'étudier l'emplacement de la barrière d'étanchéité à l'air et sa continuité, en tenant compte du fait qu'un plancher constitué d'une dalle de béton ou d'éléments comprenant un béton de seconde phase (prédalles, poutres-claveaux, certains hourdis) est étanche à l'air et peut dès lors jouer ce rôle (pour les classes de climat I à III).

En présence de revêtements de sol de valeur que l'on souhaite conserver, on peut être amené à placer l'isolation thermique en dessous du support, avec interposition d'une barrière d'étanchéité à l'air et à la vapeur. Une attention particulière doit alors être accordée aux gîtages prenant appui au sein d'un mur extérieur, dans la mesure où il y a lieu de considérer qu'une maçonnerie non enduite n'est pas étanche à l'air. Dans ce cas de figure, il sera donc parfois nécessaire d'enduire la portion de mur correspondant à l'épaisseur du gîtage (voir schéma).





Les performances énergétiques de plus en plus ambitieuses et exigeantes (standard passif, consommation énergétique quasi nulle...) impliquent de trouver des solutions de rénovation spécifiques pour des défis plus complexes (ponts thermiques, ventilation, étanchéité à l'air, espaces restreints, patrimoine architectural...). Cet article présente quelques innovations récentes et décrit certaines tendances offrant une multitude de possibilités aux entreprises. Il convient de noter que ces solutions ne sont livrées aux professionnels de la construction et de la rénovation qu'à titre de simple inspiration et qu'il n'est donc aucunement question de leur validation technique.

Rénovation énergétique : tendances et innovations

1 Matériaux superisolants

Les matériaux superisolants ont pour but de réduire l'épaisseur de la couche d'isolation sans entraver les performances thermiques du bâtiment.

Déjà connus, les panneaux d'isolation sous vide (VIP) en sont un premier exemple. En raison de leur coût et de leur installation complexe (risque de perforation et découpe impossible), ils ne sont toutefois utilisés que dans certaines situations.

Leur principe peut également être appliqué aux vitrages (voir figure 1) : une zone sous vide est créée entre deux couches de verre, ce qui augmente fortement la résistance thermique. La pression atmosphérique est reprise par des écar-

teurs entre les feuilles de verre. Théoriquement, ce vitrage sous vide devrait atteindre un coefficient de transmission thermique (valeur U) de $0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Dans la pratique, seules des valeurs U supérieures ou égales à $0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ont été mesurées. Bien que le triple vitrage présente donc de meilleures performances thermiques, l'épaisseur réduite du verre sous vide (6,5 mm, comparable à du verre simple) offre de nombreux avantages pour la rénovation des bâtiments historiques notamment.

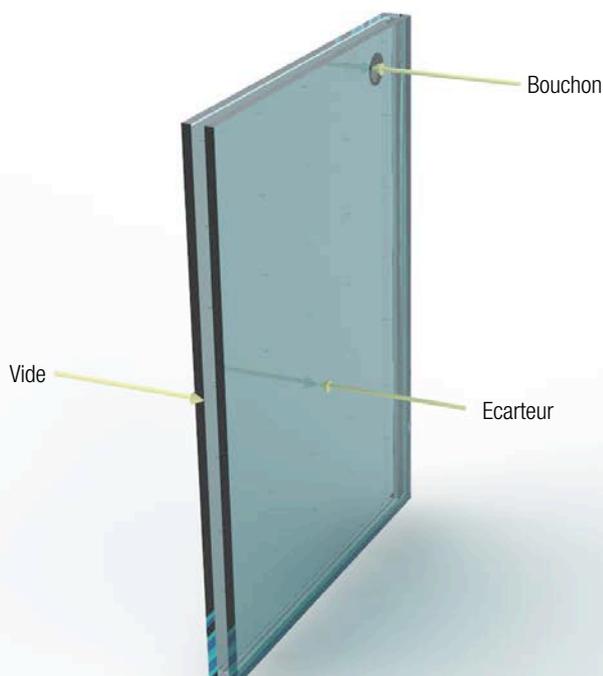
Les aérogels sont d'autres matériaux superisolants. Il s'agit de matériaux nanoporeux (c'est-à-dire présentant des pores extrêmement réduits) pouvant atteindre une conductivité thermique (valeur λ) de $0,004 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (par rapport à des valeurs entre $0,023$ et $0,045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ pour des matériaux d'isolation courants). Ils sont notamment mis en œuvre dans les panneaux d'isolation (λ entre $0,014$ et $0,019 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) et ajoutés aux plâtres et aux mortiers sous la forme de grains. Les aérogels étant transparents, ils peuvent également être intégrés dans les vitrages (semi-transparentes).

volumineux, il est parfois difficile d'incorporer les équipements de ventilation dans les bâtiments existants. Pour contourner ce problème, il est possible de recourir à des systèmes de ventilation décentralisés avec récupération de chaleur. Ceux-ci permettent la circulation de l'air dans chaque pièce individuellement. Les unités peuvent être encastrées dans un châssis ou un mur. Les ouvertures d'alimentation et d'évacuation étant relativement rapprochées tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, il y a lieu de les concevoir de manière à éviter une recirculation (air soufflé ou évacué à nouveau aspiré par le ventilateur). Il convient en outre de veiller aux nuisances sonores éventuelles (voir pp. 30-31).

Il est également possible de mettre en œuvre un système dont les conduits de ventilation sont fixés au plafond de manière visible (dans les coins supérieurs, par exemple, voir figure 2). La finition intégrée du système ne nécessite aucun travail supplémentaire de dissimulation. Pour limiter les pertes de charge, il convient d'éviter les détours et coudes superflus et d'harmoniser le débit avec le diamètre limité des conduits.

Une autre solution, encore en cours de développement, consiste à incorporer les conduits de ventilation dans l'isolation extérieure. Il s'agit alors de panneaux d'isolation contenant les conduits de ventilation dans un vide prévu à cet effet ou de panneaux dans lesquels ont déjà été placés des conduits préformés (voir figure 3). Les conduits de ventilation sont ensuite amenés à l'intérieur du local via une traversée de mur ou un raccord prévu aux fenêtres.

1 | Vitrage sous vide



2 Ventilation mécanique

En raison de conduits d'air relativement



Source : RenoPipe

2 | Conduits de ventilation sous forme de moulure d'angle

Etant donné que ces systèmes présentent certains inconvénients non négligeables (réduction locale de l'épaisseur d'isolant, risque de condensation dans les conduits en raison de leur exposition à des températures plus faibles, pertes de charge due à la longueur plus importante des conduits, risque d'encrassement durant la pose), ils ne seront applicables que sous certaines conditions strictes.

3 | Rénovations du futur

Plusieurs tendances actuelles (drones et Internet des objets) pourraient fortement influencer les rénovations énergétiques dans le futur.

3.1 Drones

Les drones, ou avions sans pilote, ont de nombreux avantages à offrir au secteur de la construction. Ainsi, ils sont de plus en plus utilisés pour inspecter les parties de bâtiment difficilement accessibles (toitures, par exemple) et permettent un meilleur suivi des chantiers.

Dans le cas des projets de rénovation, ils peuvent également être utilisés pour mesurer précisément les bâtiments, par exemple, en vue de préparer l'installation d'éléments de rénovation préfabriqués (voir pp. 10-11).

Plus tard, il sera peut-être même possible d'introduire des drones autonomes de manière active dans le processus de construction. Ceux-ci pourraient ainsi assurer le transport et la pose de différents matériaux relativement légers tels que des matériaux d'isolation, des membranes d'étanchéité et de nom-

breux matériaux de finition. Leur capacité portante limitée les rend toutefois moins aptes à transporter des matériaux structurels lourds.

3.2 Smart homes et Internet des objets

Le monitoring et le réglage des installations de nos bâtiments font à ce jour cruellement défaut. Pourtant, un réglage optimal – surtout dans des habitations mal ou moyennement isolées – permettrait de diminuer fortement la consommation énergétique (en ne chauffant et n'éclairant qu'au moment et à l'endroit où cela s'avère strictement nécessaire). Cependant, les systèmes actuels sont rarement à la hauteur : d'une part, les occupants n'utilisent pas correctement les commandes manuelles et, d'autre part, les thermostats programmables sont souvent réglés suivant le confort et rarement adaptés à une modification de la situation. De plus, d'autres paramètres tels que la qualité de l'air intérieur et le confort visuel sont peu pris en compte.

De nouvelles technologies proposent toutefois une solution à ce problème. Ainsi, l'intelligence artificielle rendra les appareils et les installations autonomes; ceux-ci ne devront donc plus être configurés par l'utilisateur. A titre d'exemple, des thermostats autonomes ont déjà été commercialisés. Ces systèmes analysent même le comportement de l'utilisateur et s'y adaptent pour atteindre un équilibre optimal entre la consommation énergétique et le confort.

Grâce aux réseaux locaux sans fil et surtout à l'Internet des objets, les capteurs, appareils et installations peuvent com-



Source : Fraunhofer

3 | Panneaux d'isolation avec conduits de ventilation incorporés

muniquer entre eux, ce qui leur permet d'être réglés plus intelligemment. Il suffit de penser aux installations de chauffage qui réduisent leur température lorsque la fenêtre est ouverte ou aux smartphones qui activent automatiquement l'installation de chauffage lorsque l'habitant est sur le chemin de la maison. A l'avenir, une machine à laver pourra différer un programme de lavage s'il ressort des prévisions météorologiques que le rendement de l'installation photovoltaïque locale sera plus élevé d'ici quelques heures.

D'autres éléments moins technologiques, mais tout aussi importants en rénovation (approche du client, modèles financiers, collaboration et processus de rénovation) sont également au centre de toutes les attentions. Ces aspects sont abordés dans différents projets menés dans le domaine de la rénovation.

4 | Conclusion

Afin de rencontrer des exigences énergétiques plus ambitieuses, le secteur de la construction a besoin de solutions de rénovation adaptées. Le développement de systèmes innovants constituera dès lors un moteur essentiel pour les entreprises de construction dans les années à venir. Le CSTC prévoit ainsi d'assister les entreprises via divers canaux de soutien dans la mise au point de nouveaux systèmes innovants ou dans la validation de systèmes existants. Des informations plus détaillées à ce sujet sont disponibles sur le site mis à jour de la Veille technologique (voir www.c-watch.be). |

R. Decuyper, ir., chercheur, laboratoire Développement durable, CSTC



Les objectifs énergétiques stricts fixés à moyen terme nécessitent de remplacer les anciennes chaudières par des générateurs de chaleur modernes, permettant de réaliser d'importantes économies. Cet article aborde les différents points auxquels il convient de prêter attention lors d'une telle opération.

Rénovation des systèmes de chauffage des locaux

Réglementation et diagnostic

Avant de procéder à la rénovation d'un système de chauffage, il y a lieu de prendre connaissance de la réglementation en vigueur. Celle-ci peut en effet varier en fonction de la Région ou de l'assujettissement éventuel à un permis d'urbanisme. Pour de plus amples informations à ce sujet, on consultera l'Antenne Normes 'Energie et climat intérieur' (www.normes.be).

Même s'il est demandé à l'entrepreneur/installateur d'intervenir uniquement au niveau de l'installation de chauffage, il est important qu'il tienne compte de l'ensemble des travaux ainsi que des souhaits ou besoins de confort spécifiques du maître d'ouvrage (pour le chauffage et éventuellement l'eau chaude sanitaire). En effet, certaines interventions peuvent avoir un impact considérable sur l'installation de chauffage, notamment le renforcement de l'isolation ou de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, le déplace-

ment de la chaufferie, les extensions ou les démolitions.

Enfin, il est primordial d'analyser de manière approfondie l'état de l'installation, afin de détecter d'éventuels problèmes et de déterminer les éléments pouvant être conservés.

Evaluation des besoins en chauffage

Préalablement à l'analyse de l'installation de chauffage existante, il convient de déterminer la puissance de chauffe nécessaire, et ce tant au niveau du bâtiment (pour le choix d'un générateur de chaleur central tel qu'une pompe à chaleur ou une chaudière, voir figure 1) qu'au niveau des locaux (pour le choix des appareils d'émission de chaleur tels que des radiateurs, convecteurs ou sols chauffants, voir figure 2; pour celui d'appareils locaux tels que les convecteurs au gaz et les poêles à pellets, voir figure 3). Un bâtiment en cours

de rénovation énergétique peut en effet subir d'importantes modifications par rapport à la situation d'origine pour laquelle l'installation de chauffage avait été conçue. Si l'enveloppe du bâtiment doit être également rénovée, il est préférable de commencer par celle-ci en premier lieu, de sorte que l'on puisse en tenir compte lors du choix de l'installation de chauffage (puissance de chauffe beaucoup moins élevée, par exemple).

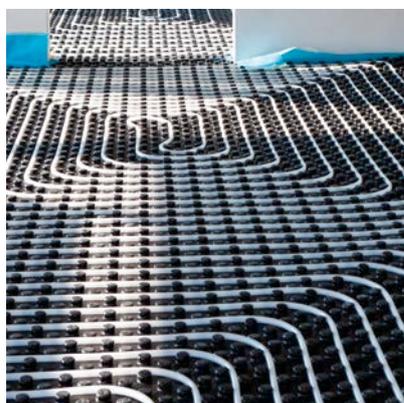
Le calcul précis de la charge thermique doit être effectué conformément à la norme NBN EN 12831 et à son annexe nationale. Le site Internet du CSTC propose à cet effet un outil de calcul ainsi qu'un catalogue des valeurs U indicatives (www.cstc.be, rubrique 'Outils de calcul').

Puissance du générateur de chaleur

Une évaluation de la puissance du générateur de chaleur existant permet de



1 | Générateur de chaleur central : chaudière



2 | Système d'émission de chaleur : sol chauffant



3 | Générateur de chaleur local : poêle à pellets



4 | La présence et l'état de l'isolation doivent être vérifiés.

d'en évaluer l'état général. Les points suivants, qui concernent le système de distribution, doivent être vérifiés :

- la conception hydraulique est-elle encore fonctionnelle ou a-t-elle subi des modifications telles que l'ajout de radiateurs, l'adaptation d'une circulation par thermosiphon en circulation forcée ou le déplacement de la chaudière ? Soulignons que les systèmes complexes entraînent un risque de problème de circulation
- l'installation est-elle encore en bon état ? Présente-t-elle des traces de corrosion externe ou de fuites ? Est-elle isolée et dans quel état se trouve l'isolation (voir figure 4) ? Celle-ci est-elle constituée d'amiante ? L'installation dispose-t-elle de vannes thermostatiques ou est-il facile d'en installer ?
- quel que soit leur état, il est fortement conseillé de remplacer le vase d'expansion ainsi que tous les organes de sécurité (soupapes de sécurité et manomètres, par exemple). Le volume du vase peut être calculé à l'aide de l'outil de calcul disponible sur le site du CSTC (www.cstc.be, rubrique 'Outils de calcul')
- la circulation se fait-elle normalement et de manière équilibrée ? Les radiateurs chauffent-ils tous à la même vitesse ? Les différents conduits sont-ils irrigués de façon uniforme ? Dans le cas contraire, il convient d'en déterminer la cause (réglage hydraulique,

obstructions dues à la corrosion ou aux dépôts de boue, par exemple).

Bien qu'il soit possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en remplaçant les vieilles chaudières, le propriétaire peut néanmoins parfois décider de conserver quelque temps encore le générateur de chaleur existant. Dans ce cas, il convient de veiller aux points suivants :

- l'état de l'appareil : en général, une chaudière devrait être remplacée dès qu'elle atteint 15 à 20 ans. Ceci dépend toutefois de son utilisation réelle. Un audit de l'installation peut fournir des informations utiles dans ce contexte. On notera néanmoins qu'une attestation de combustion n'indique qu'un rendement relatif aux gaz de combustion et ne donne pas de renseignements quant au rendement de la chaudière et de l'installation dans son ensemble
- le type d'appareil à combustion et l'alimentation en air nécessaire à la combustion : les appareils non étanches (à brûleurs atmosphériques) puisent l'air comburant dans le local où ils sont installés. Celui-ci doit toujours être muni d'une ouverture permanente, non obturable, donnant sur l'extérieur et dont les dimensions sont conformes aux prescriptions des normes NBN B 61-002 et 61-001 (puissance ≥ 70 kW). La nécessité de cette amenée d'air permanente dans les

locaux de chauffe contraste toutefois avec l'exigence d'une enveloppe suffisamment étanche à l'air. Il est dès lors vivement conseillé de remplacer les appareils non étanches par des appareils étanches

- les conduits de fumée : il faut prêter une attention particulière à leur étanchéité à l'air, aux traces de bistre, à l'état de la traversée de toiture et à la stabilité de la cheminée qui surplombe la toiture. Il convient également de vérifier si les conduits de fumée sont adaptés au nouveau générateur de chaleur. Dans le cas des chaudières à condensation, le conduit de fumée devra peut-être être adapté (voir NIT 235). Pour de plus amples informations au sujet des conduits collectifs dans les bâtiments dont les appareils reliés ne sont pas remplacés simultanément, le lecteur consultera [Les Dossiers du CSTC 2012/4.15](#) et [2013/4.12](#).

En cas de réutilisation d'une partie de l'installation existante, il est toujours recommandé d'effectuer un rinçage afin d'éliminer les dépôts et les additifs éventuellement présents dans l'eau de l'installation. Pour les installations très encrassées ou les nouvelles chaudières présentant un volume d'eau limité, la pose d'un séparateur de boue devrait être considérée.

Les générateurs de chaleur envisageables

L'un des principaux critères de sélection d'un nouveau générateur de chaleur est la disponibilité d'un combustible – gaz naturel, propane ou butane, mazout de chauffage ou granulés de bois (pellets) – ou d'un vecteur énergétique déterminé (raccordement à l'électricité avec une puissance suffisante). Le choix d'un générateur de chaleur central ou non est également très important. Nous traitons dans la suite de cet article des combustibles du premier type.

En ce qui concerne les chaudières au gaz ou au mazout, il est préférable d'opter pour des appareils étanches et à condensation, combinés de préférence à un système d'émission à basse température. Equipé d'une régulation agissant sur la température de l'eau, ce



type d'appareil peut toutefois être installé avec quasiment tous les systèmes d'émission de chaleur.

Il existe aujourd'hui divers types de chaudières au bois à condensation ou non. Si les appareils avec alimentation automatique en pellets présentent de nombreux avantages, il convient cependant toujours de veiller à ce que la quantité de pellets soit suffisante; diverses solutions sont disponibles sur le marché. Pour ce qui est des appareils ne fonctionnant pas selon le principe de la condensation, il importe que la température de retour reste supérieure au seuil minimal mentionné dans les prescriptions du fabricant. Pour de plus amples informations en la matière, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2010/3.14](#).

Les pompes à chaleur peuvent également faire office de générateurs de chaleur central. Plus encore que pour les chaudières, la température de chauffe doit être (très) basse, comme pour les sols et les parois chauffants. Le facteur final de performance saisonnière (valeur SPF, rapport entre l'énergie fournie et la consommation en énergie électrique) est en effet fortement influencé par ces températures d'émission.

Les pompes à chaleur géothermiques (qui puisent la chaleur dans le sol, voir figure 5) requièrent, quant à elles, la mise en place d'un échangeur de chaleur horizontal ou vertical dans le sol.

Ce type d'installation nécessite toutefois beaucoup de place, ce qui fait parfois cruellement défaut. Si l'espace le permet, ces systèmes sont à préférer aux pompes à chaleur alimentées en air (voir figure 6), étant donné qu'ils peuvent atteindre un SPF plus élevé. Même si ces pompes à chaleur sont plus faciles à installer dans un contexte de rénovation, leurs performances sont généralement moindres, car l'air extérieur est en général plus froid que le sol. [Les Dossiers du CSTC 2013/3.2](#) et le site Internet de Smart Geotherm (www.smartgeotherm.be, en néerlandais uniquement) fournissent de plus amples informations concernant les pompes à chaleur géothermiques.

Concernant les situations pour lesquelles les températures d'émission requises sont plus élevées, il est possible de recourir à des pompes à chaleur à haute température ou à des pompes hybrides (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/3.11](#)). Ces dernières sont généralement associées à une chaudière au gaz (éventuellement déjà existante) qui s'enclenche lorsqu'une température plus élevée ou une puissance plus importante est nécessaire (pour l'eau chaude sanitaire ou en cas de faibles températures extérieures, par exemple).

Régulation

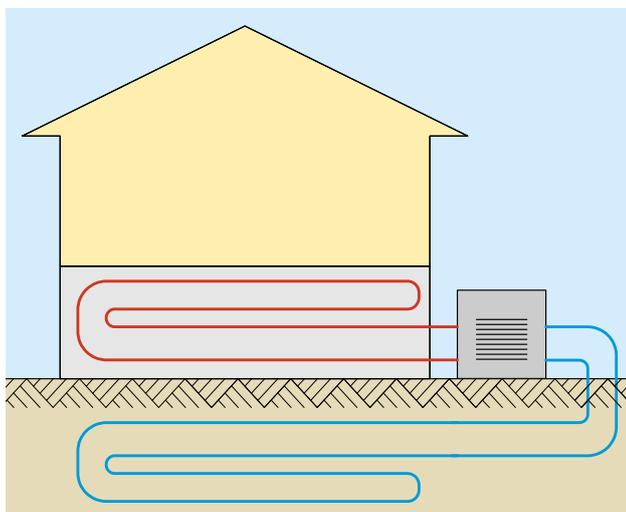
Dans une installation de chauffage, ce

sont habituellement les éléments de régulation qui vieillissent le plus mal (thermostats, vannes thermostatiques, régulation climatique, par exemple). Il est donc vivement déconseillé de conserver ces éléments en cas de rénovation et de les réemployer en combinaison avec du nouveau matériel, d'autant qu'il existe actuellement diverses possibilités de régulation intelligente, comme la domotique et la gestion par applications mobiles.

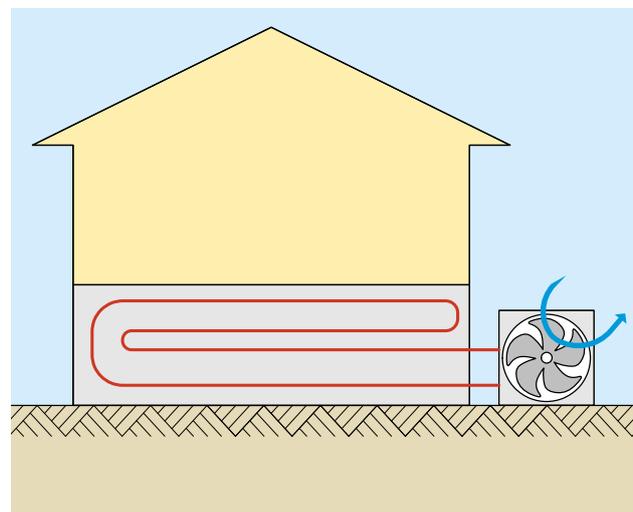
Conclusion

Le remplacement des anciennes chaudières de type non étanches par des chaudières à condensation étanches peut engendrer d'importants gains d'énergie. Il est toutefois également possible d'obtenir de bonnes performances avec des installations dont on aurait conservé certains éléments, à condition d'effectuer une analyse approfondie de l'ensemble du système et de recourir éventuellement à certaines techniques innovantes. **I**

*P. Van den Bossche, ing., chef du laboratoire
Chauffage et ventilation, CSTC*



5 | Pompe à chaleur géothermique



6 | Pompe à chaleur alimentée par l'air extérieur



Le renforcement progressif des niveaux d'isolation et la réduction des besoins en chauffage qui en découle ont conduit à augmenter la part de l'eau chaude sanitaire (ECS) dans la consommation énergétique des habitations. La durée de fonctionnement prévue d'une installation rénovée étant en principe de quelques dizaines d'années, on s'efforcera de respecter le *trias energetica* des installations techniques : limiter les besoins, optimiser l'utilisation des énergies renouvelables et maximiser l'efficacité d'utilisation des énergies fossiles. Lors de la rénovation de l'installation sanitaire, on visera donc à respecter la réglementation PEB actuelle, mais on anticipera également l'avenir à l'horizon 2030. Le présent article se focalise sur les aspects énergétiques, mais il ne faut pas perdre de vue que d'autres aspects peuvent également entrer en ligne de compte et sont parfois plus importants encore, notamment la santé et l'hygiène.

Rénovation énergétique de l'installation d'eau chaude sanitaire

Contrairement à la construction neuve, la rénovation présente l'avantage de pouvoir mesurer la consommation et d'en déduire plus précisément les besoins en eau chaude. Connaître les besoins réels permettra de dimensionner rigoureusement l'installation (puissance de l'appareil de production, volume de stockage éventuel et diamètre des conduites) et de réduire ainsi les pertes en évitant le surdimensionnement (très fréquemment rencontré dans les installations existantes, et ce d'autant plus lorsqu'il s'agit d'installations collectives).

Production

Si l'appareil de production est vétuste ou doit être remplacé, on optera de préférence pour une production efficiente

(voir [Les Dossiers du CSTC 2015/3.15](#)) comme une chaudière à condensation ou une pompe à chaleur. On évitera, dans la mesure du possible, le recours à un ballon de stockage, sauf si les besoins sont très élevés durant un très court laps de temps ou s'il permet d'optimiser l'utilisation d'énergies renouvelables (panneaux solaires thermiques et photovoltaïques, électricité d'origine éolienne ou hydraulique, biomasse...).

L'installation de nouveaux appareils énergétiquement performants a peu de sens si l'on conserve le reste d'un système désuet. Une évaluation de l'installation de distribution d'eau chaude en fonction des besoins, des souhaits du client et de l'utilisation future est donc toujours préférable. Cette évaluation est plus importante encore s'il s'agit

d'installations collectives (bâtiments à appartements à production d'eau chaude centralisée, par exemple).

Robinetterie

Le remplacement de la vieille robinetterie par des robinets équipés de limiteurs de débits ou de mousseurs, qui procurent une sensation de confort tout en réduisant le débit, contribue très facilement et directement à la réduction de la consommation d'eau et du besoin d'eau chaude. En raison de leur débit limité, ces nouveaux robinets auront notamment un effet favorable sur la puissance de l'appareil producteur nécessaire et donc sur la consommation énergétique.

En revanche, le choix d'une douche de type 'pluie', par exemple, peut augmenter considérablement les besoins d'ECS. Ceux-ci devront alors également être pris en compte pour dimensionner la nouvelle installation.

Distribution

Afin d'optimiser la future installation d'ECS, on considérera, avant tout, sa compacité. Idéalement, les locaux dits 'humides' (principalement la cuisine, la salle de bain et la salle de douche) devraient être situés à proximité les uns des autres et la production d'ECS, centralisée, serait située le plus près





possible des différents points de puisage. Lorsque le réseau de distribution n'est pas compact, les temps d'attente et les volumes de purge des différentes conduites de puisage peuvent très vite devenir importants (voir [Les Dossiers du CSTC 2014/2.12](#)). A titre d'exemple, une conduite galvanisée 1/2" de 15 m de long a une capacité d'un peu plus de 3 litres d'eau. Compte tenu du temps d'attente, il faudra laisser couler approximativement 4,6 litres d'eau avant d'obtenir de l'eau chaude au robinet. Au bout d'un an, cela représente 1,6 à 2 m³ d'eau pour cette seule conduite (en plus de l'énergie perdue au refroidissement). Si après réaménagement des locaux et de l'installation, on remplace cette conduite par une autre en cuivre de 12 mm de diamètre et de 3 m de long (débit maximum de 7 l/min), ces purges ne représenteront plus que 120 litres d'eau par an, soit 14 fois moins.

Dans un logement unifamilial, on évitera la boucle d'eau chaude sanitaire. En cas de rénovation lourde, le moment est opportun pour envisager la relocalisation et un regroupement des locaux. Si ce scénario est rejeté, on pourrait opter pour une production locale (décentralisée) performante d'ECS. Si aucun de ces scénarios ne peut être envisagé et si une boucle d'eau chaude s'avère nécessaire pour limiter le temps d'attente, il faudra procéder à l'isolation de ces canalisations.

La réglementation PEB en vigueur pour les bâtiments neufs ou les rénovations nécessitant un permis d'urbanisme impose d'isoler les conduites à circulation forcée (boucles d'eau chaude) ou les conduites de chauffage conformément aux épaisseurs reprises dans le tableau ci-dessous. Nous conseillons de

se conformer autant que faire se peut à ces valeurs. L'isolation des conduites de raccordement d'eau chaude aux points de puisage n'est pas obligatoire.

Récupération d'énergie

Rappelons qu'il existe actuellement divers modèles horizontaux et verticaux de récupérateurs de chaleur des eaux usées (voir [Les Dossiers du CSTC 2015/4.13](#)). Leur installation contribue également à diminuer les besoins et la puissance nécessaire de l'appareil producteur, à réduire de manière drastique la taille du ballon de stockage ou à augmenter l'autonomie d'un ballon existant. **I**

O. Gerin, ir., chercheur, laboratoire Techniques de l'eau, CSTC

Épaisseurs minimales pour le calorifugeage des conduites d'eau chaude

Diamètre extérieur de la conduite [mm]	Épaisseur minimale de l'isolant après pose [mm]				
	Environnement I (*) :		Environnement II (**) :		Environnement III (***) :
	Environnement extérieur ou en dehors du volume protégé		Environnement intérieur dans le volume protégé mais dans un espace non chauffé		
	Isolant de classe 1 : $\lambda < 0,035$ [W/m.K]	Isolant de classe 2 : $\lambda \leq 0,045$ [W/m.K]	Isolant de classe 1 : $\lambda < 0,035$ [W/m.K]	Isolant de classe 2 : $\lambda \leq 0,045$ [W/m.K]	Environnement intérieur au volume protégé
Région de Bruxelles-Capitale					
20 ≤ D < 25	13	23	11	19	Aucune exigence, à l'exception des conduites installées ou remplacées qui traversent les murs, sols et plafonds du bâtiment (voir réglementations)
25 ≤ D < 30	17	29	13	22	
30 ≤ D < 40	22	35	16	26	
40 ≤ D < 61	27	42	21	32	
Flandre (température de départ de l'eau > 55 °C)					
20	25	42	20	33	Aucune exigence, à l'exception des conduites installées ou remplacées qui traversent les murs, sols et plafonds du bâtiment (voir réglementations)
25	28	45	23	37	
30	30	48	25	39	
35	34	53	28	43	
Wallonie					
Au moment de la mise sous presse de notre magazine, il n'existait pas de réglementation en Wallonie.					
(*) Environnement I : les conduites et accessoires sont situés dans l'ambiance extérieure, le sol ou les espaces situés en dehors du volume protégé.					
(**) Environnement II : les conduites et accessoires sont situés : <ul style="list-style-type: none"> • dans un local de chauffe ou un local technique, et dans les gaines techniques • en apparent dans les locaux non chauffés qu'ils soient équipés ou non d'un système de climatisation • en apparent dans les locaux équipés à la fois d'un système de chauffage et de climatisation • dans les faux plafonds, les faux planchers et les parois verticales permanentes. 					
(***) Environnement III : les conduites et accessoires sont situés dans toutes les autres situations à l'intérieur du volume protégé.					



La ventilation est une nécessité pour les logements neufs, mais aussi pour les logements plus anciens faisant l'objet d'une rénovation. Elle permet en effet d'éviter certains problèmes d'humidité et d'assurer une qualité de l'air suffisante pour la santé et le confort des occupants, en évacuant l'humidité, les odeurs et les polluants qu'ils produisent ou qui émanent de leurs activités et des matériaux présents dans leur habitat (voir pp. 3-7). Un système de ventilation contrôlée est donc impératif.

Quelles solutions pour la ventilation en rénovation ?

Qu'il s'agisse d'une construction neuve ou d'une rénovation, les principes de la ventilation restent identiques, à savoir : alimenter en air neuf les espaces dits secs et évacuer vers l'extérieur l'air vicié des espaces dits humides. Même si les exigences réglementaires ne sont pas toujours d'application dans le cas d'une rénovation (voir [Les Dossiers du CSTC 2011/2.14](#)), les exigences PEB applicables aux logements neufs et faisant référence à la norme NBN D 50-001 seront considérées comme des recommandations.

La rénovation présente néanmoins les spécificités suivantes :

- l'espace disponible est généralement limité. Or, certains systèmes de ventilation requièrent un espace d'installation pouvant parfois être conséquent : espace pour les conduits d'évacuation naturelle (systèmes A et B), espace pour les conduits de ventilation mécanique et pour les ventilateurs ou groupes de ventilation (systèmes B, C et D) (*)
- les travaux de rénovation sont souvent réalisés en plusieurs phases étalées dans le temps (une pièce à la fois, par exemple), alors que l'installation d'un système de ventilation concerne généralement l'ensemble du logement, chaque espace étant en principe équipé d'une alimentation et/ou d'une évacuation d'air.

Dès lors, la prise en compte de la ventilation et la définition d'un concept

global de ventilation seront essentielles dès le début du projet (en particulier avant le remplacement éventuel des châssis).

Le tableau à la page suivante présente quelques concepts de ventilation adaptés à la rénovation pour des systèmes C et D. Il propose également des critères permettant de faciliter le choix de la solution la mieux adaptée à chaque projet particulier.

Description des solutions

- 1. Système C avec évacuations locales :** chaque espace humide est pourvu d'un ventilateur individuel évacuant l'air vicié directement vers l'extérieur et ne nécessitant aucun réseau de conduits
- 2. Système C classique avec évacuation centralisée des espaces humides**
- 3. Système C avec évacuation centralisée des espaces humides et évacuations supplémentaires dans les espaces secs** (également équipés d'ouvertures d'alimentation naturelle) : ces évacuations améliorent le contrôle des débits dans les espaces secs et permettent une régulation à la demande au sein de ces derniers
- 4. Système D local par local :** une unité compacte avec récupération de chaleur est installée individuellement dans chaque espace (voir pp. 22-23)

- 5. Système D avec alimentation locale et évacuation centralisée :** dans cette variante peu courante du système D, mais parfois intéressante en rénovation, l'alimentation en air neuf est assurée par des ventilateurs individuels présents dans chaque espace sec, éventuellement associés à un convecteur ou radiateur (voir [Les Dossiers du CSTC 2011/2.14](#))
- 6. Système D classique avec alimentation et évacuation centralisées.**

Il est également possible de combiner différentes solutions de même type (C ou D) dans différentes parties du logement (un système C avec évacuations locales et un système C avec évacuation centralisée, par exemple).

Possibilités de diminuer l'impact énergétique

La récupération de chaleur est la solution la plus efficace pour diminuer l'impact énergétique de la ventilation (diminution jusqu'à 80 % pour les meilleurs systèmes). Elle est possible avec un système D centralisé (6), lequel nécessite un réseau de conduits et un groupe de ventilation encombrants. Des systèmes D décentralisés (4) sont également disponibles.

La régulation à la demande constitue, elle aussi, une solution efficace (diminution jusqu'à 50 % pour les meilleurs systèmes). Néanmoins, seuls les sys-

(*) Système A : alimentation et évacuation naturelles; système B : alimentation mécanique, évacuation naturelle; système C : alimentation naturelle, évacuation mécanique; système D : alimentation et évacuation mécaniques.



tèmes qui régulent la ventilation dans les espaces secs (grâce à des capteurs de CO₂, par exemple) sont réellement efficaces, ce qui n'est possible et facilement réalisable qu'avec certains systèmes (3, 4 et 5).

Encombrement et phasage des travaux

Les systèmes qui nécessitent peu ou pas de réseaux de conduits conviendront évidemment le mieux dans les rénovations où l'espace disponible est limité (1, 2 et 4). Des solutions innovantes existent aussi pour faciliter l'intégration de ces conduits et des groupes de ventilation (voir pp. 22-23).

La réalisation des travaux par phases sera facilitée avec les systèmes pouvant être (partiellement) installés pièce par pièce. Outre l'alimentation naturelle de tous les systèmes C (1, 2 et 3), ce sera également le cas avec les ventilateurs ou unités individuels des solutions 1, 4 et 5.

Sur ces deux points, le système C avec évacuations locales (1) cumule les avantages : il sera particulièrement facile et économique à installer dans les rénovations très légères et/ou très étendues dans le temps, mais ses performances en ce qui concerne la maîtrise des débits et la consommation d'énergie sont néanmoins médiocres.

Points d'attention supplémentaires

Comme pour les constructions neuves, une bonne conception et une bonne installation du système de ventilation devraient permettre de limiter d'autres inconvénients spécifiques.

Pour les systèmes C, les ouvertures d'alimentation sont généralement intégrées au châssis, mais peuvent également être placées dans les murs de façade. Le choix d'ouvertures d'alimentation avec atténuation acoustique sera nécessaire dans les environnements bruyants.

Pour les systèmes mécaniques centralisés (C ou D), limiter les pertes de pression des réseaux permettra également de réduire la consommation électrique des ventilateurs et la pose de silencieux adéquats diminuera le risque d'inconfort lié au bruit.

Il reste néanmoins encore un inconvénient difficilement évitable jusqu'à présent pour les systèmes avec des unités ou des ventilateurs placés directement dans les espaces secs (4 et 5), à savoir le bruit généré par ces ventilateurs directement dans la pièce. Dans ce cas, un compromis devra être trouvé entre un débit aussi élevé que possible et un bruit acceptable.

Enfin, l'interaction de la ventilation avec les systèmes de chauffage à combustion ouverte éventuellement présents dans le logement fera l'objet d'une attention particulière (voir pp. 24-27).

S. Caillou, dr. ir., chef adjoint du laboratoire Chauffage et ventilation, CSTC

Solutions de ventilation adaptées à la rénovation et critères de choix (vert : avantageuse; rouge : désavantageuse; orange : neutre; noir : peut être résolu par une bonne conception/installation)

Solutions de ventilation	Maîtrise des débits	Possibilités de diminuer l'impact énergétique		Encombrement	Possibilité de phasage des travaux	Points d'attention supplémentaires
		Récupération de chaleur	Régulation à la demande			
1. C : évacuation locale (espaces humides)	Moyenne	Non	Limitée	Très limité	Oui	Bruit (extérieur)
2. C : évacuation centrale (espaces humides)	Moyenne	Non	Bonne (difficile)	Limité : 1 réseau	Espaces : • secs : oui • humides : non (*)	Bruit (extérieur) Pertes de pression réseau
3. C : évacuation centrale (espaces humides + secs)	Bonne	Non	Bonne (facile)	Moyen : 1 réseau étendu	Non	Bruit (extérieur) Pertes de pression réseau Bruit (mécanique)
4. D : local par local	Bonne	Oui	Bonne (facile)	Limité : unités locales	Oui	Bruit (mécanique)
5. D : alimentation locale, évacuation centrale	Bonne	Non	Bonne (facile)	Moyen : unités locales + 1 réseau	Espaces : • secs : oui • humides : non (*)	Bruit (extérieur) Courants d'air Pertes de pression réseau Bruit (mécanique)
6. D : alimentation et évacuation centrales	Bonne	Oui	Bonne (difficile)	Elevé : 2 réseaux	Non	Pertes de pression réseaux Bruit (mécanique)

(*) Le phasage est possible dans les espaces secs (ouvertures d'alimentation par espace), mais difficile dans les espaces humides (évacuation centralisée).



La consommation d'électricité s'accroît d'année en année. Elle représente actuellement près d'un quart de l'énergie primaire consommée en Europe, réparti entre les secteurs résidentiel (30 %), tertiaire (30 %) et industriel (36 %). L'éclairage représente en moyenne 10 % de la consommation électrique d'un ménage, soit environ 400 kWh. Dans les bâtiments tertiaires, tels que les bureaux et les écoles, ce chiffre s'élève à 20 %, voire à plus de 50 % dans les bâtiments à hautes performances énergétiques.

Y voir clair dans la rénovation de l'éclairage

En Belgique, 75 % des installations d'éclairage intérieur ont plus de 25 ans et peuvent être qualifiées de vétustes. Étant donné leur vieillissement et leur manque de maintenance, elles n'assurent plus le confort visuel des occupants et sont très énergivores. Il n'est pas rare de rencontrer des installations d'une puissance installée de 20 à 30 W/m² n'éclairant pas correctement. Seul 1 % du parc de bâtiments est rénové annuellement alors qu'il faudrait atteindre 2 à 3 % pour mettre à jour nos installations d'éclairage. Le potentiel de rénovation de ces dernières est important, tant en termes d'amélioration du confort visuel que de réduction de la consommation. Dans de nombreux cas, la rénovation de l'installation permet de diminuer la consommation d'un facteur 3 tout en augmentant le niveau d'éclairage.

Le monde de l'éclairage vit actuellement une révolution avec l'apparition des LED qui offrent des solutions fonctionnelles de qualité avec de bonnes performances photométriques (flux, rendement, couleur...) et mécaniques (résistance aux chocs...) ainsi qu'une longévité accrue.

Opérations de rénovation des installations d'éclairage

Dans le domaine de la rénovation, on parle souvent de réaménagement de l'éclairage ou de *relighting*. Ce terme générique englobe toute une série d'opérations spécifiques telles que le *relamping*, l'*uplamping*, le *luminaire retrofit*, le *luminaire replacement* et le *lighting refurbishment*. Celles-ci diffèrent principalement par le niveau d'intervention requis, qui va d'une simple opération de maintenance à une rénovation complète.

Le remplacement des lampes ou relamping (*relamping*) a pour but de remplacer la source lumineuse par une lampe de même type, sans autre intervention sur le luminaire ou l'installation d'éclairage en place. Le remplacement est assimilable à une opération de maintenance courante. Il permet de garantir le confort visuel, mais ne conduit à aucune économie d'énergie.

L'amélioration des lampes (*uplamping*) comprend le remplacement de la source lumineuse par une autre plus efficace.

Aucune autre intervention sur le luminaire n'est requise : les éléments optiques (réflecteur/diffuseur), les auxiliaires (transformateur/ballast) et le câblage restent identiques.

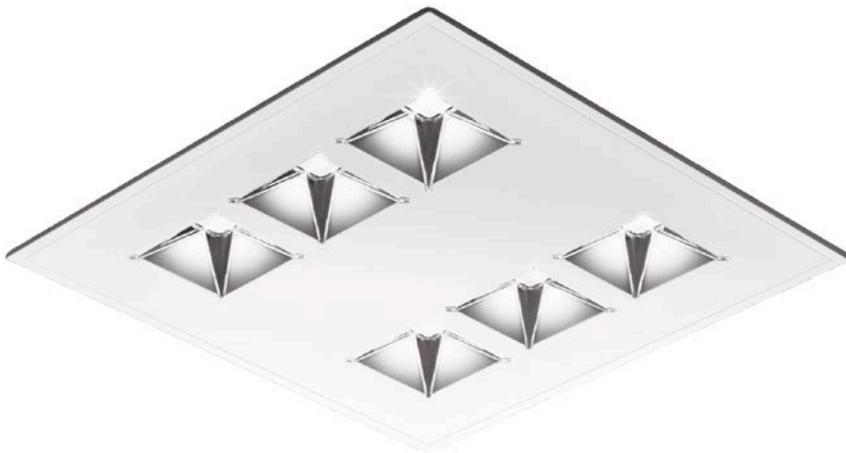
La modernisation du luminaire (*luminaire retrofit*) vise à améliorer l'efficacité du luminaire en changeant la source lumineuse (lampe), l'auxiliaire (ballast) ou les éléments optiques (réflecteur/diffuseur). Cette opération s'accompagne souvent d'une modification du câblage électrique entraînant la perte de la conformité du luminaire (marquage CE) et de la garantie du fabricant.

Le remplacement des luminaires (*luminaire replacement*) repose sur l'emploi de luminaires plus efficaces utilisant une technologie plus récente. Seuls les luminaires sont modifiés et le schéma électrique initial de l'installation ainsi que le nombre de points lumineux sont conservés.

La rénovation de l'installation d'éclairage (*lighting refurbishment*) consiste à repenser complètement l'éclairage. Le

Puissance des lampes (en watts, W) en fonction du flux lumineux (en lumens, lm)

Type de lampe	Flux lumineux				
	220 lm	400 lm	700 lm	900 lm	1.300 lm
Lampe incandescente	25	40	60	75	100
Lampe écohalogène	18	28	42	53	70
Lampe fluocompacte	6	9	12	16	20
Lampe LED	5	6	9	12	15



1 | Luminaires LED à réflecteurs

Le nombre de points lumineux est adapté en fonction du type de luminaires mis en œuvre (directs, indirects...) et de l'environnement (position des plans de travail...). Cette intervention permet de renforcer le confort visuel des occupants et la performance énergétique de l'installation. Elle va généralement de pair avec une réflexion de l'aménagement intérieur, d'où la nécessité de prendre en compte des paramètres tels que la couleur et les propriétés des parois.

L'amélioration des lampes est l'opération la plus simple pour accroître l'efficacité énergétique. Elle est notamment indiquée dans le cas des spots halogènes qui sont énergivores et facilement remplaçables par des spots LED. À confort visuel équivalent, l'efficacité énergétique de ces derniers est quatre à cinq fois supérieure, d'où la rentabilité de cette intervention. La modernisation du luminaire doit être effectuée avec la plus grande précaution, étant donné qu'elle implique la perte du marquage CE du luminaire (remplacement de tubes fluorescents de type T8 par des tubes LED, par exemple).

Même si des solutions performantes existent, il convient de toujours comparer les risques et les gains économiques potentiels. Dans de nombreuses situations, il est en effet plus intéressant de remplacer les luminaires (*luminaire replacement*). Cette opération de moyenne ampleur permet d'augmenter le confort visuel tout en réduisant la puissance installée et donc la consommation énergétique. La rénovation de l'installation d'éclairage est, quant à

elle, la solution la plus lourde à mettre en œuvre, mais elle permet d'obtenir une installation efficace diffusant la bonne quantité de lumière au bon endroit et au bon moment.

Solutions technologiques et performances atteintes

Jusqu'ici réservées aux applications extérieures et décoratives, les solutions performantes à LED pour l'éclairage intérieur et les luminaires à flux lumineux élevé (5.000 à 8.000 lumens) sont désormais disponibles. Les luminaires les plus performants atteignent aujourd'hui des rendements de 120 à 125 lumens par watt, ce qui correspond à une haute efficacité énergétique. Il est ainsi possible, pour une installation de bureau, d'obtenir une densité de puissance de 6 à 7,5 W/m² pour un niveau d'éclairement de 500 lux, soit

près de la moitié des valeurs atteintes une dizaine d'années plus tôt. La valeur par défaut considérée dans la réglementation PEB étant de 20 W/m², la conception d'une installation pouvant atteindre 6 à 7,5 W/m² valorisera l'éclairage et encouragera les concepteurs à définir précisément les équipements d'éclairage et leurs performances.

La couleur de la lumière joue un rôle essentiel dans l'éclairage LED. Il se peut que l'installation fournisse une lumière trop blafarde (pâle) et ne garantisse pas un bon rendu des couleurs, par exemple lorsque la source lumineuse d'ancienne technologie est remplacée par une lampe LED de mauvaise qualité. Afin d'éliminer ce risque, on s'assurera que les lampes ont un indice de rendu des couleurs (R_a) supérieur à 80, voire plus pour des applications spécifiques (musées, écoles d'art, hôpitaux, magasins...).

En outre, il est parfois nécessaire de s'intéresser au spectre de la lumière émise. L'indice de rendu des couleurs n'est en effet qu'une valeur moyenne du rendu d'une source pour un nombre limité d'échantillons de couleurs. De plus, il convient de vérifier non seulement les caractéristiques de la lumière émise initialement par la source, mais aussi la consistance de son spectre pour différentes sources d'une même gamme et l'absence de déviation (*colour shift*) excessive lors de l'utilisation. Pour éviter autant que possible les problèmes liés à la couleur de la lumière dans un même espace, il est conseillé de ne pas mélanger les produits ni les technologies.



2 | Luminaires LED à lentilles



3 | Luminaire LED à diffuseur

Les produits LED ont une durée de vie importante (en moyenne 20.000 à 50.000 heures, voir figure 4). Cette longévité constitue un avantage, en particulier pour ce qui est de la maintenance d'installations d'éclairage utilisées de manière intensive (hôpital, par exemple) ou difficilement accessibles (plafond en hauteur, par exemple).

Les LED étant sensibles à la chaleur, il importe que le refroidissement du luminaire soit correctement assuré. Ainsi, dans le cas des *downlights* (luminaires directs), on évitera impérativement de recouvrir les éléments métalliques de refroidissement avec, par exemple, de l'isolation thermique (cas type d'un faux plafond).

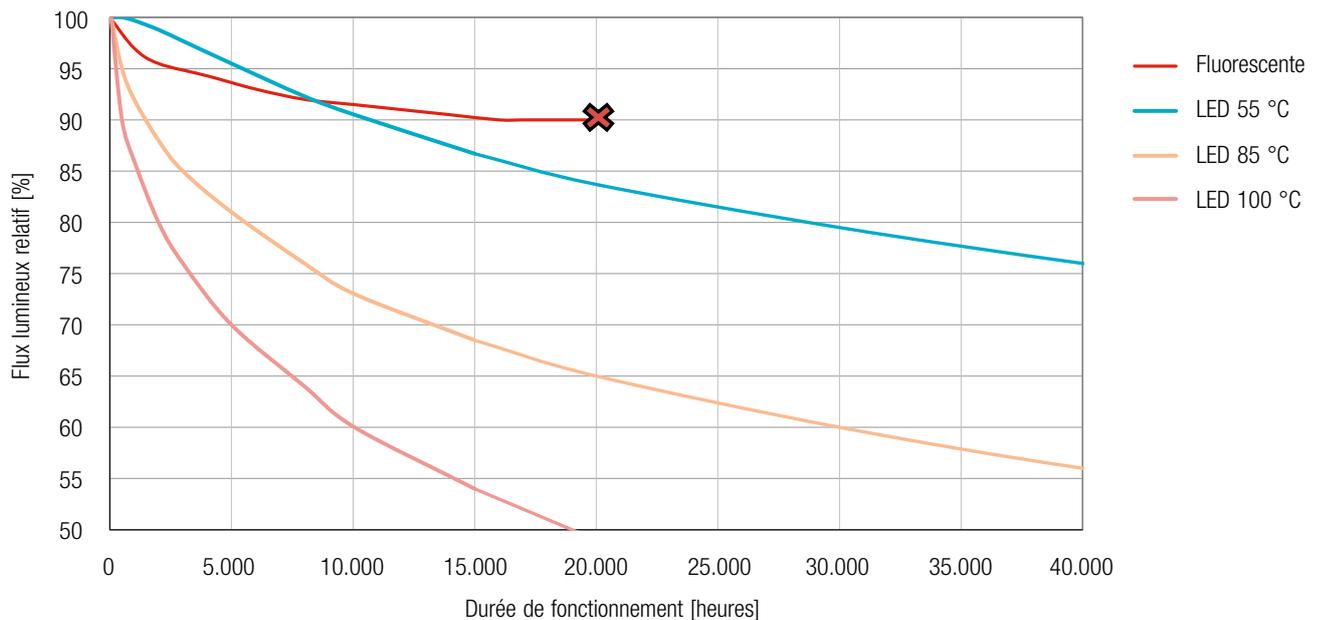
Les luminaires LED se répartissent en trois groupes en fonction de la technologie des composants optiques : réflecteur, lentilles ou diffuseur.

Les luminaires LED munis d'un réflecteur ou de lentilles permettent une meilleure maîtrise du flux lumineux. Bien qu'elles soient hautement efficaces, les installations pourvues de luminaires à réflecteurs sont généralement plus éblouissantes que celles mettant en œuvre des luminaires à lentilles et à diffuseurs.

En règle générale, les luminaires à diffuseurs présentent un risque d'éblouissement moindre, surtout s'ils sont munis de plaques diffusantes texturées. |

A. Deneyer, ir., chef de laboratoire, et B. Deroisy, ir., chef adjoint du laboratoire, laboratoire Lumière et bâtiment, CSTC

Cet article a été rédigé dans le cadre du projet SMART LED soutenu par le Service public de Wallonie DG04.



4 | Dépréciation du flux lumineux en fonction de la durée de fonctionnement pour différentes températures de LED

Projets du CSTC

En vue de répondre aux demandes du secteur de la construction, le CSTC mène actuellement plusieurs recherches ou actions de sensibilisation en lien avec la rénovation énergétique des bâtiments. Citons notamment les projets suivants :



Wallonie

- GT COM-MAT – Matériaux et techniques de construction durables
- SMART-LED – Caractérisation des performances réelles des installations d'éclairage LED



- GT Ecoconstruction et développement durable
- Brussels Retrofit XL – Strategic Platform Environment Retrofitting of the Built Environment (Housing)
- Living Labs Brussels Retrofit
- AIM-ES – Experience-based guidelines for Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems
- Innov-ETICS – Systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur : investigations techniques et dissémination de solutions émergentes innovantes à hautes performances pour la rénovation du logement



- RENOFASE – Stappenplan voor een kwaliteitsvolle energetische renovatie: gestroomlijnd en prestatiegericht werken
- GROEN LICHT – Innovatieve en duurzame lichtbronnen
- INSTAL2020 – Integraal ontwerp van installaties voor sanitair en verwarming
- Vlaams Kennisplatform Proeftuin Woningrenovatie
- TRAJECT METSELWERK IV – Innovaties in de metselwerksector: implementering door innovatievolgers



- GEVISOL-ETICS – Buitengevelisolatie met ETICS



- Antennes-Normes Acoustique, Prévention au feu, Energie et climat intérieur, Parachèvement et Eléments de façades, Détails constructifs (Smart Connect), Lumière et éclairage



- STAR – Sustainable Thermal Acoustic Retrofit (ERACOBUILD)

Publications

Les publications du CSTC sont disponibles :

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

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

Formations

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

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

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

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

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

www.cstc.be



Recherche • Développe • Informe

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

Recherche et innovation

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

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

Développement, normalisation, certification et agréation

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

Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

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

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

SIÈGE SOCIAL

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

BUREAUX

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

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

STATION EXPÉRIMENTALE

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

- recherche et innovation
- formation
- bibliothèque

CENTRE DE DÉMONSTRATION ET D'INFORMATION

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

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

BRUSSELS MEETING CENTRE

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