

2020/1

Vers une économie circulaire dans la construction



Sommaire

2020/1

1	La construction circulaire au service des gens, de la planète et des entreprises	3
2	Conception et réalisation de bâtiments 'circulaires'	4
3	Vers une réduction de l'impact environnemental du béton	10
4	Les matériaux biosourcés au sein de l'économie circulaire	12
5	Maintenir les performances des cloisons déplaçables	16
6	Offrir une certaine adaptabilité aux techniques spéciales	18
7	L'entretien : un maillon indispensable dans le cycle de vie des bâtiments.....	21
8	Réemploi des matériaux : comment justifier leurs performances techniques ?	23
9	Recycler (encore) mieux les déchets de construction et de démolition	27
10	As a Service : un nouveau modèle d'entreprise circulaire.....	30
11	Le numérique : un outil pour favoriser l'économie circulaire.....	32





La construction circulaire au service des gens, de la planète et des entreprises

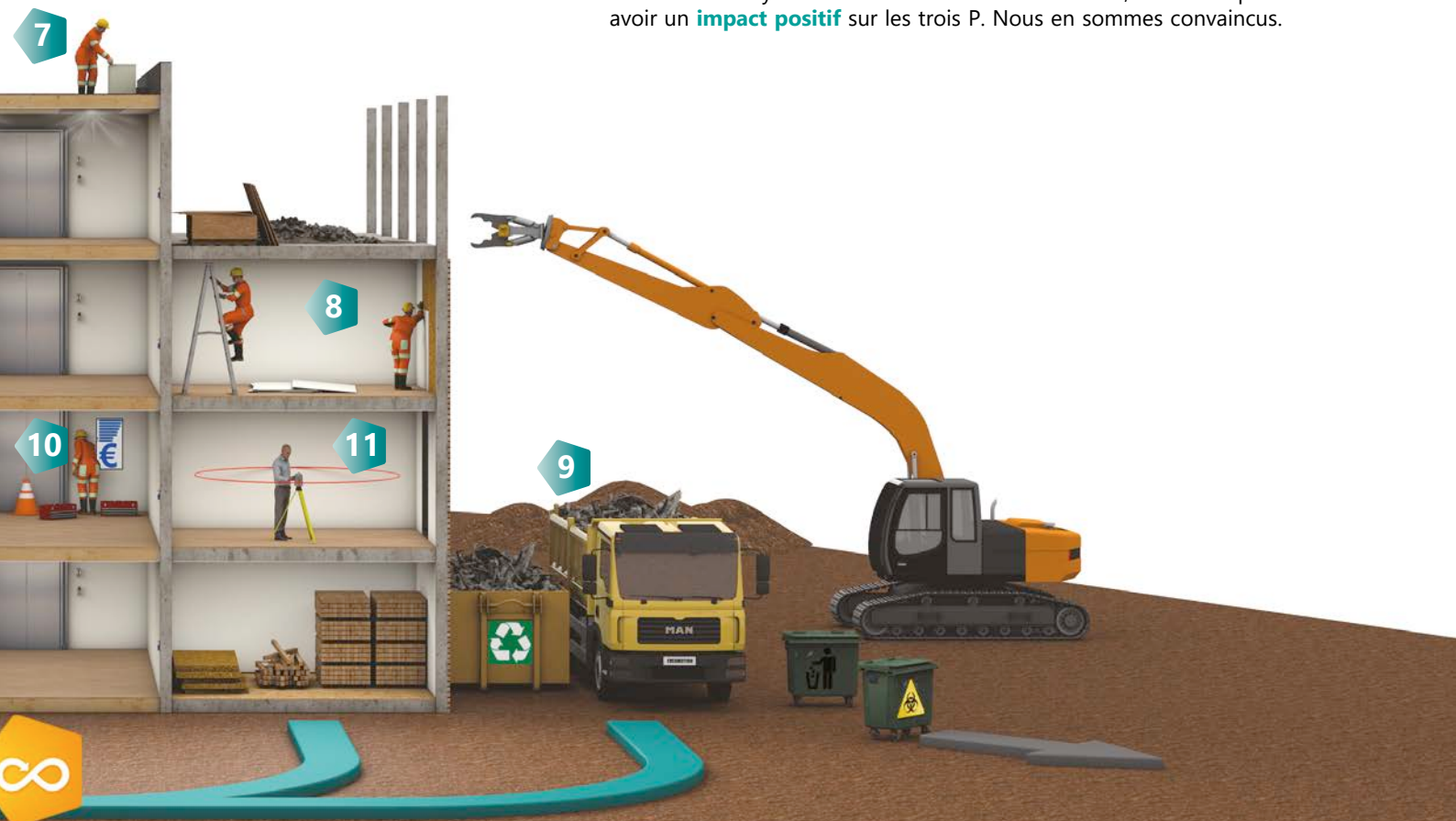
A l'échelle mondiale, le secteur de la construction fait partie des plus gros consommateurs de matériaux et d'énergie (**plus de 50 % des ressources extraites**) et constitue l'une des principales sources d'émission de gaz à effet de serre (**30 % des émissions de CO₂**). En outre, de nombreux bâtiments étant rénovés ou démolis parce qu'ils ne répondent plus aux besoins, le secteur est également responsable des **plus gros flux de déchets en Europe**. Il a donc tout intérêt à s'orienter vers une économie plus circulaire axée sur les trois P du développement durable : **People, Planet** et **Profit** (les personnes, la planète et le profit).

La réduction de l'impact du secteur sur la planète (**Planet**) passe, d'une part, par l'**utilisation optimale des bâtiments et matériaux existants** (allongement de leur durée de vie et réutilisation des matériaux provenant de leur démantèlement). D'autre part, il y a lieu de concevoir et de construire les nouveaux édifices de sorte qu'ils puissent être **facilement adaptés** à l'évolution des besoins, en optant notamment pour des **matériaux durables** à faible impact environnemental et susceptibles d'être réutilisés.

La construction circulaire répond également au P de **Profit**. En effet, si l'accès à la propriété est de plus en plus cher, le modèle de rentabilité de l'entrepreneur atteint ses limites : marges bénéficiaires réduites et qualité qui ne peut plus toujours primer. Pour répondre à ces défis, il convient de prêter davantage attention aux **coûts à long terme** et de développer de **nouveaux modèles économiques** axés sur l'utilisation et les services plutôt que sur la vente, par exemple, et générant une valeur ajoutée tout au long de la durée de vie des bâtiments.

Enfin, il va sans dire que les citoyens (**People**) tireront parti d'un modèle circulaire qui répond non seulement aux besoins de plus en plus changeants de la société, mais profite également au cadre de vie et crée des emplois.

En adoptant un mode de réflexion plus circulaire et en agissant selon une vision à long terme centrée sur les cycles des bâtiments et des matériaux, le secteur peut avoir un **impact positif** sur les trois P. Nous en sommes convaincus.





Conception et réalisation de bâtiments 'circulaires'

Appliquer les principes de l'économie circulaire à un projet de construction demande que l'on consacre suffisamment de temps à sa préparation et que l'on puisse traduire les choix effectués en solutions pratiques. Cet article propose un plan par étapes et quelques exemples permettant d'aider l'équipe chargée du projet à faire les bons choix en vue de la réalisation d'un bâtiment adaptable, visant la circularité et un faible impact environnemental.

J. Vrijders, ir., chef du laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

A. Vergauwen, dr. ir.-arch., chef de projet, laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

1 Les trois axes de la circularité dans la construction

Dans notre secteur, les principes de l'économie circulaire peuvent être déclinés en trois thèmes majeurs, évoqués dans la [Monographie n° 28 du CSTC](#) ainsi que dans [Les Dossiers du CSTC 2017/2.2](#) :

- la **réalisation de bâtiments plus 'dynamiques'** permettant d'adapter leur utilisation
- l'**utilisation des matériaux disponibles** dans les bâtiments existants (*urban mining*)
- le **développement de nouveaux modèles d'entreprise** dans le but de créer de la valeur ajoutée tout au long du cycle de vie.

Cet article est consacré au premier pilier, plus précisément à la conception et à l'exécution de bâtiments 'circulaires'. Les deux autres sont abordés plus loin dans ce CSTC-Contact.

2 Les différentes étapes de la conception et de la réalisation

2.1 Etape 1 : stratégie et vision à long terme

Un certain nombre de choix stratégiques doivent être effectués au démarrage d'un projet.

2.1.1 Au départ : rénovation ou nouvelle construction ? A quel endroit ?

Il convient tout d'abord de choisir si l'on part d'une **situation existante** ou non. Si l'on souhaite économiser des matières premières, il est préférable d'opter pour un bâtiment existant et de le réutiliser ou de le rénover. Cela n'est toutefois pas toujours possible.

Le choix de l'**emplacement** d'un bâtiment neuf importe lui aussi. S'il n'est pas bien situé, par exemple, il finira par être moins, voire plus du tout utilisé et perdra donc rapidement de sa valeur.

2.1.2 Scénarios d'utilisation

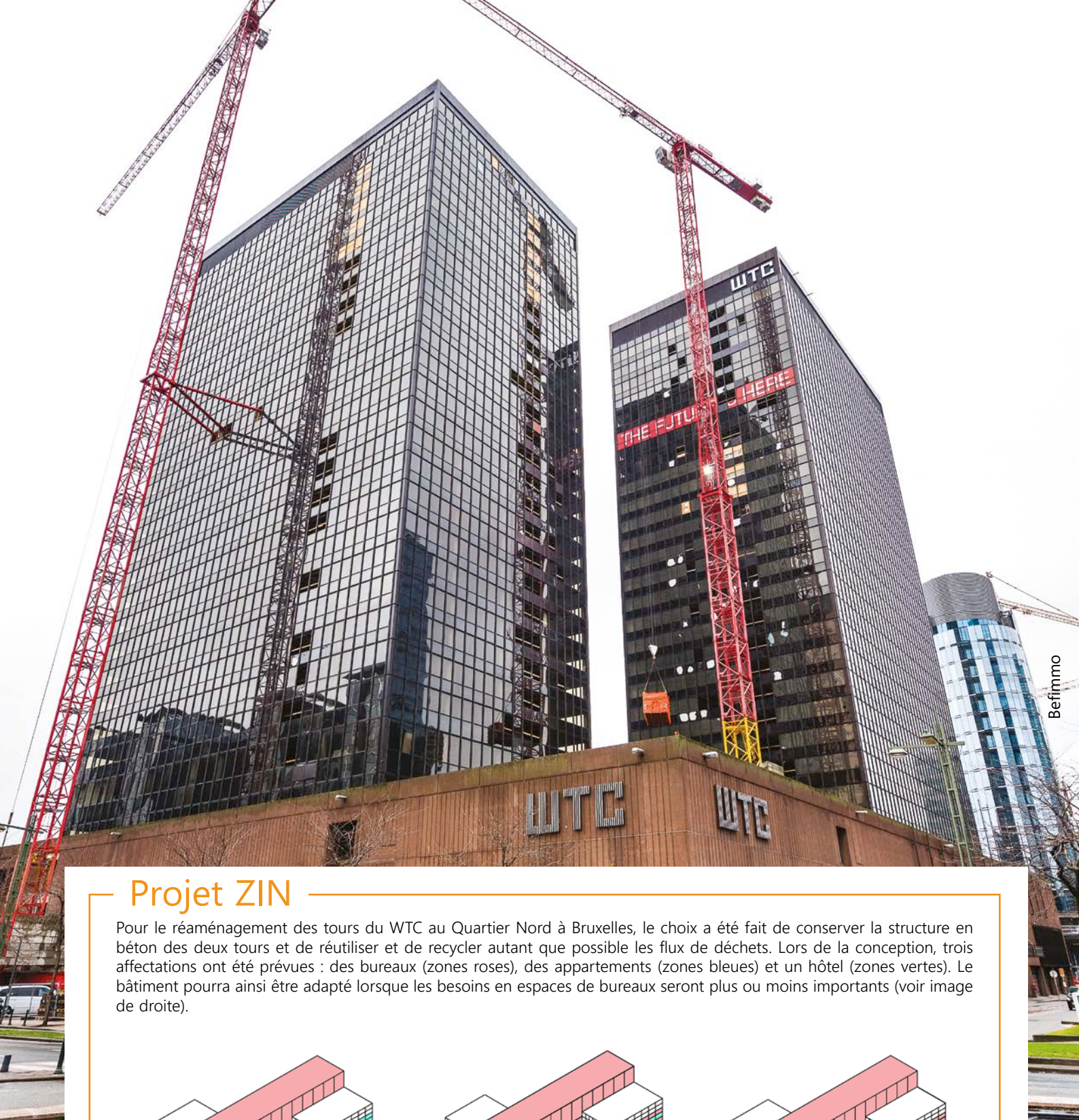
Qu'il s'agisse d'un projet de rénovation ou d'une nouvelle construction, un bâtiment n'est pas une entité statique qui durera éternellement, mais bien un **environnement dynamique** qui continuera à évoluer en fonction des besoins des utilisateurs et des nouvelles techniques. Par conséquent, au moment de démarrer un projet, il faut non seulement satisfaire aux **besoins actuels des utilisateurs**, mais aussi mettre au point une **stratégie à long terme** tenant compte d'une série de scénarios relatifs à l'utilisation future du bâtiment (*design for change*) (voir l'encadré 'Projet ZIN' à la page suivante).

2.1.3 Prévoir la fin de vie

La fin de vie d'un bâtiment doit être étudiée dès sa conception en s'assurant que les matériaux et les éléments constructifs pourront être réutilisés ou recyclés (*design for deconstruction*).

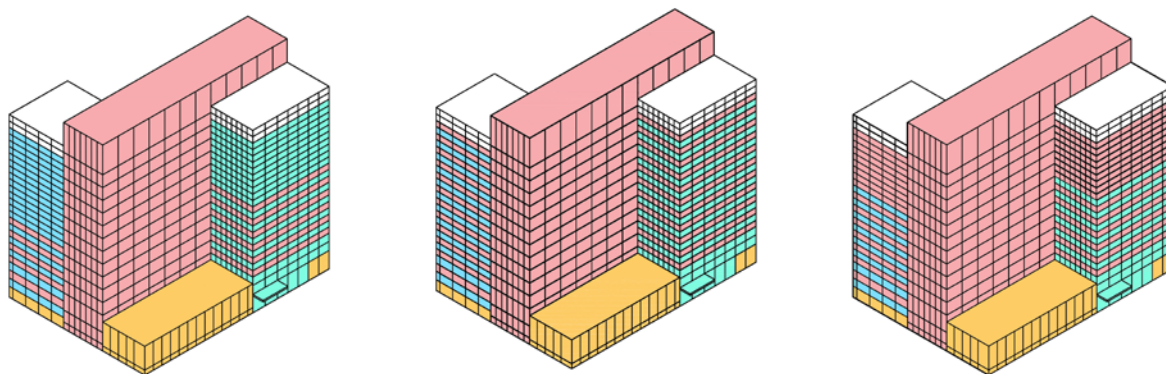
2.2 Etape 2 : un plan concret

Lorsqu'on transpose une stratégie générale en plan concret, il faut chercher à concilier les ambitions en termes de circularité et d'impact environnemental avec diverses exigences techniques et conditions préalables. Pour ce faire, il est souvent nécessaire de trouver un compromis entre les aspects qui offrent une valeur ajoutée au projet et ceux qui



Projet ZIN

Pour le réaménagement des tours du WTC au Quartier Nord à Bruxelles, le choix a été fait de conserver la structure en béton des deux tours et de réutiliser et de recycler autant que possible les flux de déchets. Lors de la conception, trois affectations ont été prévues : des bureaux (zones roses), des appartements (zones bleues) et un hôtel (zones vertes). Le bâtiment pourra ainsi être adapté lorsque les besoins en espaces de bureaux seront plus ou moins importants (voir image de droite).



Source : 51N4E/Jaspers-Eyers/LAUC et Befimmo



Structure en couches



Dans le bâtiment Vandemoortele, le plancher en béton repose sur une structure portante en acier à laquelle est fixée la façade. Les installations techniques ne sont pas solidaires de la structure portante (c'est-à-dire qu'elles ne sont pas posées sous les chapes ou encastrees dans les murs). Les poutres en acier sont systématiquement pourvues d'ouvertures destinées aux installations techniques. On a également opté pour un 'plafond climatique' (c'est-à-dire un plafond intelligent qui combine diverses techniques innovantes).

ont un impact sur l'exécution, les coûts et, éventuellement, sur les performances techniques.

2.2.1 Aménagement intelligent du bâtiment

En premier lieu, **le plan au sol et le dimensionnement du bâtiment** doivent être adaptés à la stratégie à long terme pour permettre d'envisager différents scénarios d'utilisation.

Il est en outre recommandé de pourvoir la **structure portante** de travées suffisamment étendues, afin de pouvoir mieux moduler la répartition des espaces et éventuellement ajouter d'autres charges ultérieurement (étage supplémentaire, changement d'affectation, ...).

Enfin, les étages doivent disposer d'une **hauteur libre** suffisante pour pouvoir adapter le bâtiment à d'autres fonctionnalités et fournir aux installations techniques l'espace nécessaire dans le sol ou le plafond.

Il va sans dire que les avantages d'un tel surdimensionnement sont à estimer au regard du surcoût éventuel et de l'impact environnemental potentiel de certains matériaux.

2.2.2 Structure en couches

Comme les éléments de construction ont généralement des durées de vie différentes, certains devront être adaptés ou remplacés durant la phase d'utilisation. Afin de faciliter ces modifications, il est préférable de construire le bâtiment en

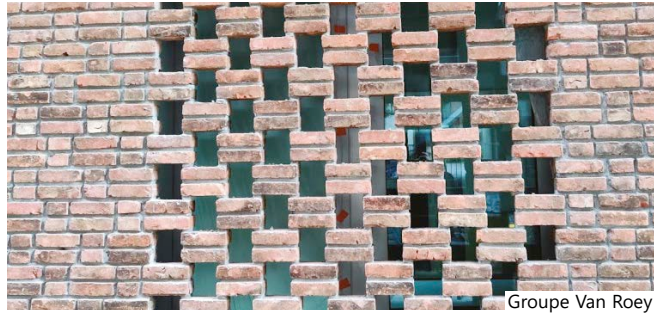


Chapes sèches

Le système Staenis permet de réaliser des chapes sèches. Le matériau de remplissage (qui peut contenir des matériaux recyclés, tels que du béton cellulaire concassé) peut être retiré et les grilles peuvent être réutilisées sur un autre chantier.

Produits 'circulaires'

Dans le cadre du projet ProReMat, le CSTC a établi, en collaboration avec le groupe Van Roey, une liste non exhaustive de produits présentant une ou plusieurs qualités correspondant aux critères de circularité (briques de récupération, ...). Pour de plus amples informations, nous vous renvoyons au site www.proremat.be. Les produits repris dans cette liste n'ont pas été évalués sur la base de leurs performances techniques. Les performances de chaque projet doivent donc être déterminées en fonction de l'application visée.



Groupe Van Roey

plusieurs **couches indépendantes** (voir encadré 'Structure en couche' à la page précédente). Ces couches peuvent, par exemple, être réparties comme suit :

- la structure porteuse
- les installations techniques
- la façade
- la toiture
- les finitions et l'aménagement intérieurs
- le mobilier.

2.3 Etape 3 : le choix des matériaux

La troisième étape consiste à choisir les matériaux, les produits et les solutions techniques. Il est possible de viser la circularité et un faible impact environnemental à cette étape-ci également en optant, par exemple, pour :

- des **matériaux démontables et réutilisables** : robustes, résistants à l'usure, de grande valeur, ...
- des **matériaux recyclables**, en évitant les composites complexes et les substances nocives

- des **matériaux naturels** : compostables ou biodégradables
- des **matériaux déjà présents dans le cycle d'utilisation** : matériaux de réemploi recyclés ou provenant d'autres secteurs (voir encadré 'Chapes sèches' à la page précédente).

Pour un aperçu des diverses solutions, on consultera l'encadré 'Produits circulaires' ci-dessus.

Notons que l'impact environnemental des matériaux ou des solutions circulaires n'est pas nécessairement moindre. Il se peut que leur production demande plus d'énergie, que leur transport s'avère plus long ou que leur fréquence de remplacement soit plus élevée (voir à ce sujet l'article en p. 12).

2.4 Etape 4 : les détails et fixations

Si l'on vise l'adaptabilité et le réemploi des éléments et des matériaux de construction une fois la phase de fin de vie



Circular Retrofit Lab

Dans ces anciens kots d'étudiants, le squelette modulaire en béton a été habillé d'éléments de façade modulaires et de parois intérieures démontables. Les installations techniques restent accessibles à des fins de modifications ultérieures. Pour plus d'informations : <https://www.vub.be/arch/project/circularretrofitlab>.



A'tract architecture - BLIEBERG - P. Van Gelooven

Fixations réversibles

Dans le projet Lab2Fab, les panneaux de la toiture reposent sur une structure portante en acier. La façade constituée d'éléments en bois de type CLT (planches en bois contrecollées en couches croisées) peut être facilement démontée.

du bâtiment atteinte, il importe de miser sur :

- la **modularité**, c'est-à-dire des dimensions standard (voir encadré 'Circular Retrofit Lab' à la page précédente)
- la **compatibilité** entre les matériaux
- les **fixations réversibles ou 'détachables'**, en privilégiant au maximum les fixations mécaniques (vis, colliers, ...) à l'utilisation de colles ou de mastics (voir encadré 'Fixations réversibles').

2.5 Etape 5 : la mise en œuvre

La tâche principale de l'entrepreneur consiste à réaliser sur site ce qui a été conçu sur plan. Les choix décrits ci-avant ayant un impact sur son rôle et ses activités, il est important, pour obtenir un résultat optimal, qu'il collabore efficacement avec l'auteur de projet.

2.5.1 Faisabilité pratique

Les solutions imaginées lors de la conception doivent être transposables dans la pratique. Or, l'expérience révèle que certaines solutions proposées sont (encore) inexistantes ou qu'elles exigent un travail excessif. Ainsi, pour les grands bâtiments, par exemple, il peut s'avérer difficile de trouver des briques de réemploi provenant d'un seul et même lot,

ou du béton recyclé disposant des certifications techniques nécessaires.

Par conséquent, la mise en œuvre nécessitera davantage de préparation, car il faudra, par exemple :

- obtenir les bonnes informations
- coordonner les travaux des différentes parties
- concevoir des détails qui soient non seulement réalisables, mais également suffisamment performants (étanches à l'eau et à l'air, par exemple).

Certaines solutions circulaires offrent néanmoins des **avantages** par rapport aux systèmes traditionnels. On citera notamment la rapidité de mise en œuvre (pose de parois démontables, par exemple, voir encadré à la page suivante) ou la possibilité de travailler par temps très froid ou très chaud (montage de briques sans mortier, par exemple).

2.5.2 Validation technique et innovation

Qu'ils soient 'anciens' ou 'nouveaux', les produits de construction sont susceptibles de présenter des **défis techniques**. Ainsi, la plupart des solutions innovantes ne disposent pas d'un retour d'expérience suffisant ou ne s'inscrivent pas toujours dans le cadre normatif existant. Cela ne signifie nullement qu'elles ne soient pas applicables, mais bien que

leur mise en œuvre nécessitera une certaine réflexion et que l'on devra, par exemple, consacrer suffisamment de temps et de ressources à la collecte des informations techniques nécessaires quant aux performances des produits.

Si on ne peut garantir au préalable les performances des solutions qui n'ont pas encore été validées, il est possible de les suivre de près grâce aux technologies modernes (capteurs et monitoring, par exemple). Il conviendra cependant de bien définir les responsabilités des parties concernées et la manière de traiter les problèmes éventuels.

2.5.3 Coût des solutions circulaires

La réalisation de bâtiments 'circulaires' et durables peut entraîner un certain **surcoût**, d'autant plus lorsque les solutions sont encore en phase expérimentale ou lorsque le concept de circularité n'a pas été pris en compte dès la conception. Plusieurs pistes existent néanmoins pour compenser ce surcoût :

- une autre forme d'**appel d'offres** qui ne tient pas seulement compte du prix le plus bas, mais aussi des coûts liés au cycle de vie ou des avantages environnementaux. Bien entendu, ceci nécessite que toutes les parties possèdent une connaissance suffisante du sujet et qu'une méthodologie standardisée permette de comparer objectivement

les différentes options

- une autre forme de **financement** : une formule de *leasing* ou de location, par exemple, pourrait aider à étaler dans le temps les coûts d'investissement initiaux.

3 Conclusion

Si la circularité est prise en compte lors du processus de conception et que certains choix sont effectués en ce sens, les bâtiments et les éléments constructifs sont susceptibles de conserver leur valeur plus longtemps. Comme ces choix ont un impact sur la mise en œuvre, il est essentiel d'acquérir au cours des prochaines années un maximum de connaissances pratiques et de les diffuser sur l'ensemble du secteur de la construction. ◆

Cet article a été rédigé dans le cadre de divers projets dont Proeftuin Circulair Bouwen subsidié par Vlaanderen Circulair et OVAM, et le projet européen FEDER BBSM (plus précisément la publication de la VUB consacrée à la qualité de la conception).



— Parois démontables —

Ces parois intérieures conçues par JuuNoo n'ont pas besoin d'être vissées : elles sont calées entre le sol et le plafond au moyen de cadres télescopiques. Les panneaux peuvent être fixés à cette structure à l'aide de vis ou de bandes de type Velcro.



Vers une réduction de l'impact environnemental du béton

Le béton étant l'un des matériaux les plus utilisés en construction, son impact environnemental joue un rôle essentiel. Optimiser le pourcentage d'armatures ou utiliser des ciments et des liants alternatifs ou des granulats recyclés peut réduire cet impact. De tels choix apportent également une solution à la pénurie croissante de matières premières et à l'amoncellement des déchets de construction et de démolition.

A. Janssen, dr. sc., chef de projet, laboratoire 'Performance environnementale', CSTC

L. Wastiels, dr. ir.-arch., chef adjoint du laboratoire 'Performance environnementale', CSTC

1 Impact environnemental du béton (armé)

Pour déterminer l'impact environnemental du béton, il faut prendre en compte son **cycle de vie complet**, depuis l'extraction et la transformation des matières premières jusqu'à la démolition de l'ouvrage en fin de vie, en passant par le transport et la mise en œuvre sur le chantier. Une analyse du cycle de vie (ACV) permet de définir cet impact à partir de 17 indicateurs différents (changement climatique, formation de particules, épuisement des matières premières, toxicité pour l'homme, ...). Ces indicateurs peuvent être convertis en un coût environnemental, qui représente le coût social nécessaire pour éviter ou compenser d'éventuels problèmes environnementaux (voir [Les Dossiers du CSTC 2018/2.2](#)).

A titre de référence, le graphique à la page suivante indique l'impact environnemental d'un béton armé prêt à l'emploi réalisé avec du ciment Portland (CEM I) et des granulats primaires (sable et gravier non recyclés), conformément aux exigences de durabilité de la norme NBN B 15-001 pour la classe environnementale EE3 (exposition au gel et à la pluie). La teneur minimale en ciment considérée dans cet exemple est de 320 kg par mètre cube de béton, bien que cette valeur soit souvent plus élevée dans la pratique.

Il ressort du graphique que le ciment a l'impact le plus important. Ceci s'explique surtout par les émissions élevées de CO₂ lors de la production du clinker, principal composant du ciment Portland. La phase de traitement des déchets, qui survient en fin de vie, a également un impact environnemental considérable, la principale raison étant la consommation d'énergie et la formation de particules fines durant la démolition, le transport vers le centre de recyclage

et le recyclage. Enfin, l'impact de la fraction sableuse et des gros granulats est causé par l'extraction et la transformation des matières premières ainsi que leur transport vers la centrale à béton.

Il ne faut pas non plus sous-estimer l'impact environnemental des armatures en acier. Celui-ci est principalement dû à l'influence des métaux sur les indicateurs de toxicité pour l'homme. Une assez forte incertitude plane néanmoins sur ces indicateurs, car les méthodes utilisées sont considérées comme moins rigoureuses.

2 Réduction de l'impact environnemental

Comme pour tout produit ou système de construction, une stratégie générale consiste à **optimiser les quantités de matériaux** (structures plus élancées, éléments creux, ...). De même, prolonger la durée de vie des ouvrages en béton en les entretenant régulièrement peut également contribuer à réduire l'impact de ce matériau sur l'environnement.

2.1 Optimiser le pourcentage d'armatures

Le pourcentage d'armatures peut varier fortement en fonction d'une application et d'une sollicitation spécifique. Ainsi, le fait de choisir une prédalle, des hourdis creux ou une dalle coulée sur place influence la quantité d'armatures requise. En cas d'éléments structurels préfabriqués de grande taille, par exemple, une armature supplémentaire est nécessaire pour reprendre les sollicitations exercées durant le transport vers le chantier ou pendant la mise en œuvre.



2.2 Opter pour d'autres types de ciment

Concernant la composition du béton, son impact environnemental peut être réduit en utilisant des ciments à plus faible teneur en clinker. Ainsi, les analyses du cycle de vie de divers ciments recyclés indiquent un gain environnemental pouvant atteindre 60 % par kilo de ciment par rapport à un ciment Portland classique (CEM I). Si l'on remplace le ciment Portland par un **ciment de haut fourneau** (CEM III/A) dans un béton prêt à l'emploi, ce gain peut avoisiner les 20 % (voir graphique). Or, pour des raisons techniques ou logistiques, il n'est pas toujours possible d'employer du ciment de haut fourneau. Leur délai de décoffrage plus long (lors de la préfabrication, par exemple) ou leur teinte plus claire sont des caractéristiques qui peuvent limiter leur emploi.

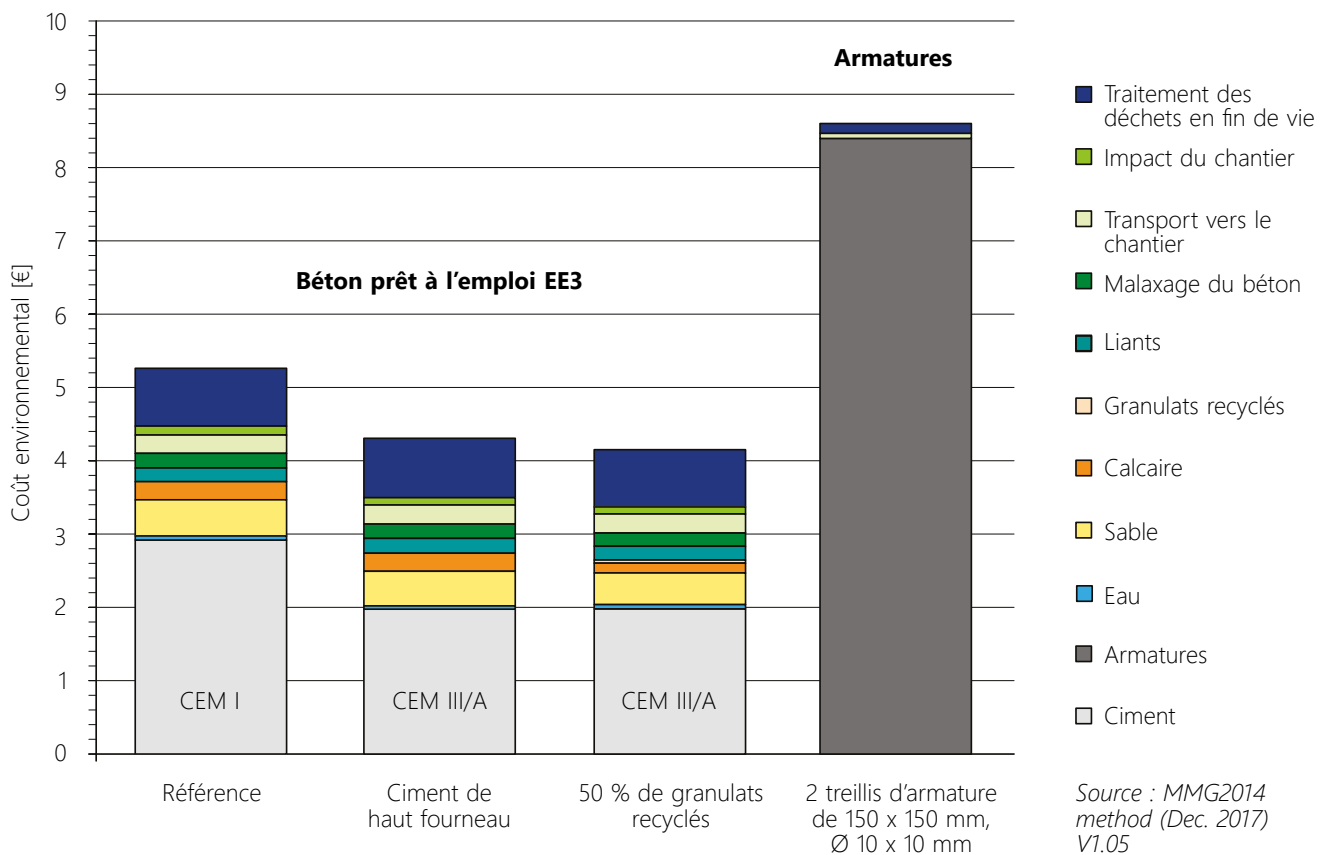
Outre les ciments classiques précités, des liants alternatifs, tels que les géopolymères, sont disponibles sur le marché. Leurs performances techniques et leur impact sur l'environnement font l'objet d'une étude détaillée dans le cadre du projet Circular.Concrete (www.circular-concrete.be).

2.3 Utiliser des granulats recyclés

Bien que le remplacement partiel des gros granulats primaires (calcaire broyé) par des granulats recyclés à partir de déchets de construction et de démolition n'engendre qu'un faible gain environnemental (une réduction de 5 % de l'impact lié à la production si le taux de remplacement est de 50 %, voir graphique), une telle option reste toutefois utile, compte tenu de l'épuisement des matières premières.

Le gain environnemental dépend néanmoins fortement du **transport des granulats recyclés** vers le chantier. Ainsi, une distance trop importante et l'utilisation de certains moyens de transport peuvent annuler ce gain.

Bien qu'un béton à base de granulats recyclés ait en général une résistance en compression légèrement moindre, il n'est en principe pas nécessaire d'ajouter du ciment si le taux de remplacement est compris entre 20 et 30 % (voir [Les Dossiers du CSTC 2019/5.1](#)). Si on décide d'en ajouter malgré tout, l'impact environnemental du béton pourrait augmenter à un point tel que le gain environnemental serait nul. ◆



Impact environnemental d'une dalle en béton armé d'une surface de 1 m² et d'une épaisseur de 15 cm en fonction de la composition du béton.



Les matériaux biosourcés au sein de l'économie circulaire

Pour répondre à la demande croissante en matériaux de construction, tout en tenant compte des défis sociétaux et environnementaux, le développement des filières de produits biosourcés est incontournable. Il importe cependant de rester vigilant quant à l'impact environnemental réel de ces produits.

L. Delem, ir., chef de projet, laboratoire 'Performances environnementales', CSTC

L. Wastiels, dr. ir.-arch., chef adjoint du laboratoire 'Performances environnementales', CSTC

L'utilisation de matières biosourcées s'intègre bien dans une approche d'économie circulaire et d'écoconception, dans la mesure où elles présentent divers avantages. Outre le fait qu'elles soient de nature renouvelable et potentiellement biodégradable, elles permettent également :

- de **stocker temporairement du dioxyde de carbone** (CO₂)
- de **développer des filières locales**.

Comme pour tous types de matériaux, il s'agit toutefois de rester vigilant et de s'assurer que leurs performances techniques conviennent pour l'application visée. En effet, la nature biosourcée (d'une partie) d'un produit ne peut garantir, à elle seule, le faible impact environnemental de ce dernier. Les pages qui suivent font le point sur certains éléments à prendre en considération.

Considérer le bilan environnemental global

Les matériaux biosourcés ont en principe un **bilan carbone** relativement favorable (voir encadré à la page suivante). Il ne faut néanmoins pas généraliser cette conclusion, car ils sont rarement composés à 100 % de matières naturelles. En effet, la bonne tenue de leurs performances techniques nécessite bien souvent l'**ajout de certains composants** (liants, retardateurs de feu, fongicides, ...). De plus, cultiver, transporter et transformer la matière biosourcée peut aussi avoir une empreinte environnementale considérable.

La prestation environnementale globale d'un matériau ne dépend pas uniquement de ses émissions de CO₂, mais également de son impact sur d'autres aspects. Par exemple, sur la base d'un bilan carbone, on pourrait conclure que

Matières et matériaux biosourcés

Les matières premières biosourcées comprennent les matières végétales et animales principalement issues de la sylviculture et de l'agriculture. Elles ont des **cycles de régénération relativement courts** (quelques dizaines d'années tout au plus) et sont, par conséquent, renouvelables (contrairement aux ressources fossiles ou minérales).

Dans le domaine du bâtiment, les matières les plus utilisées sont le bois, les dérivés des fibres de bois, la paille, le chanvre et l'ouate de cellulose. Hormis leur utilisation dans les structures en bois, ces matières connaissent de nombreuses autres applications sous forme de matériaux divers : isolants, panneaux, peintures, colles, granulats légers, ...

Empreinte carbone et matières biosourcées

L’empreinte carbone, ou bilan carbone, d’un matériau exprime, en kilogramme de CO₂ équivalent, la **quantité de gaz à effet de serre émise au cours des différentes étapes de son cycle de vie** (extraction des matières premières, transport, transformation et fin de vie). Elle quantifie la contribution potentielle du matériau au réchauffement climatique. Plus l’empreinte carbone est faible, moins l’impact sur l’environnement sera important.

Grâce au processus de photosynthèse, les végétaux ont la particularité d’absorber le CO₂ présent dans l’air (voir figure 1 à la page suivante, ❶). Lorsque la matière végétale est utilisée pour fabriquer un matériau de construction, le carbone (provenant du CO₂) ainsi séquestré se retrouve ‘stocké’ dans le matériau sous forme de ‘carbone biogénique’. Celui-ci est à nouveau libéré – principalement sous forme de CO₂ – lors de la fin de vie du produit (incinération, mise en décharge, compostage) (voir figure 1, ❺).

Par simplification, certains outils d’évaluation tels que TOTEM (voir [Les Dossiers du CSTC 2018/2.2](#)) omettent volontairement les flux de CO₂ de source biogénique (absorption de CO₂ par la matière végétale et émission d’une quantité équivalente en fin de vie).

le séchage à l’aide d’une chaudière à biomasse (alimentée par des chutes de sciage) n’a pas d’incidence significative, puisque les émissions liées à la combustion du bois sont compensées par l’absorption initiale de CO₂ lors de la croissance de l’arbre. Or, si l’on considère l’émission de particules fines, il s’avère que le séchage à l’air libre est nettement préférable. Il importe donc de considérer non seulement le cycle de vie complet des matériaux, mais aussi **différentes problématiques environnementales**.

Privilégier les matières biosourcées issues d’exploitations durables

En général, la manière dont la ressource naturelle est exploitée influence son impact environnemental et son empreinte

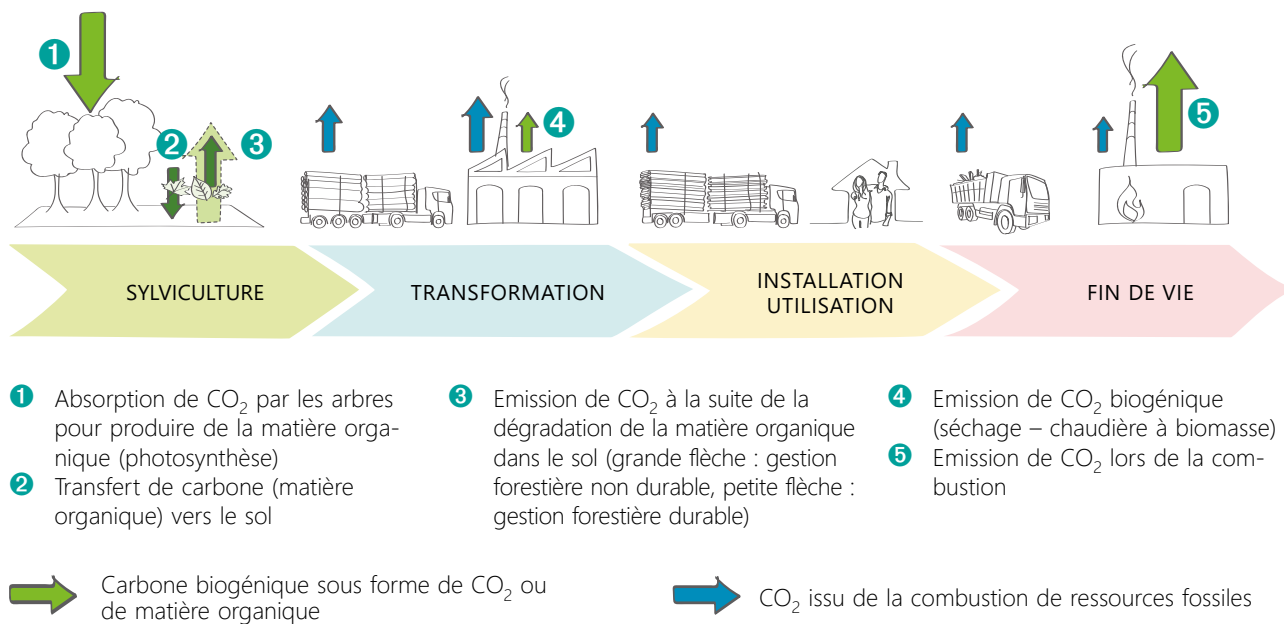
carbone. Il y a donc lieu de privilégier des matières biosourcées issues d’**exploitations durables**. Comme les sols contiennent du carbone sous forme de matière organique (résidus de plantes, d’animaux et autres organismes à différents degrés de décomposition), l’exploitation intensive des ressources est effectivement susceptible de libérer de grandes quantités de carbone dans l’atmosphère (voir figure 1 à la page suivante).

Concernant le bois provenant d’exploitations durables (FSC, PEFC), on peut considérer que le stock de carbone dans le sol est constant (apport et dégradation de matière organique en équilibre). Néanmoins, pour le bois originaire d’exploitations non durables, le taux de dégradation de la matière organique dans le sol est plus important que l’apport (voir figure 1, ❷ et ❸). Par conséquent, il existe une émission nette de CO₂ en provenance du sol. On estime que ces émissions sont du même ordre de grandeur que ce qui est absorbé et stocké par le bois sous forme de carbone. Dans ce cas de figure, les émissions du sol annulent donc le bénéfice lié au stockage et le bilan du carbone biogénique est donc supérieur à zéro plutôt que nul.

Utiliser des matières recyclées ou des sous-produits de l’agriculture

Les **matières résiduelles** ou sous-produits issus de l’agriculture (paille, écoses de céréales, ...) ou, mieux encore, les **déchets de matériaux biosourcés** en provenance d’autres secteurs (déchets textiles, papiers utilisés pour la production d’isolant, ...) sont d’autant plus intéressants qu’une (grande) partie de l’impact lié à leur culture peut être attribuée au produit principal (céréales, ...) ou initial (papier journal, vêtements, ...). De plus, leur utilisation s’intègre bien dans le concept d’économie circulaire, tout en limitant le risque de concurrence avec les autres usages du sol (alimentaire, ...). Pour autant qu’elle soit raisonnée, l’exploitation d’espèces





1 | Captage et émission de CO₂ tout au long du cycle de vie de matériaux à base de bois.

provenant d'écosystèmes naturels (roseaux, ...) constitue également une alternative intéressante.

été transportée par avion depuis la Nouvelle-Zélande, d'où son impact considérable.

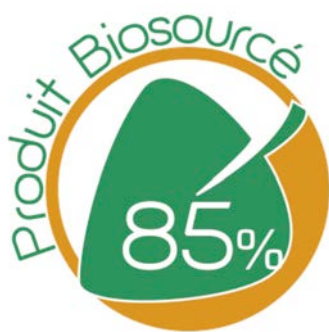
Favoriser les circuits courts

Pour éviter une empreinte trop importante liée au transport et stimuler les filières économiques locales, il est intéressant de favoriser les cultures locales. L'impact du transport n'est toutefois pas seulement lié à la **distance**, mais aussi au **mode de transport**. Ainsi, à distance égale, il convient de privilégier le transport par bateau ou par voie ferrée à celui par camion et, bien évidemment, par avion. Le graphique à la page suivante, qui représente la contribution relative des différents éléments constitutifs d'une façade verte, illustre bien l'influence du transport. En effet, bien que la sphaigne soit une composante 100 % végétale, celle-ci a

Choisir des produits disposant d'un label environnemental

Les produits de construction biosourcés sont souvent perçus comme plus sains. Cependant, 'biosourcé' ne signifie pas forcément 'non toxique'. Les matières biosourcées peuvent effectivement émettre des composés organiques volatils (COV) et sont en outre souvent associées dans le produit de construction à des composants tels que des colles ou des fongicides. Pour les matériaux directement en contact avec l'intérieur, il est donc préférable de choisir ceux disposant d'un **label attestant de faibles émissions de CO₂** (Greenguard, M1, Indoor Air Comfort, ...) ou d'un

Labels pour les produits biosourcés



En France et, depuis peu, en Wallonie, il existe un label pour les produits biosourcés. Ce label indique la teneur en matière biosourcée. Le pourcentage minimal requis pour l'obtention du label varie en fonction du produit (70 % pour un isolant thermique, 10 % pour une membrane d'étanchéité, ...).

Par ailleurs, le demandeur du label wallon peut bénéficier d'un marquage additionnel 'filière locale' ou 'filière wallonne'. La filière locale exige que 80 % des matières biosourcées soient produites ou recyclées et transformées dans un rayon de 350 km autour du site de production. L'une des exigences pour l'obtention du label consiste à mettre à disposition une déclaration environnementale de produit (EPD, *Environmental Product Declaration*) dans un délai de 12 mois. Pour de plus amples informations : www.produitbiosource.fr.

label environnemental (Ecolabel, Blue Angel, NaturePlus, ...) (voir [Rapport CSTC n° 17](#)). Outre des critères environnementaux, ces labels imposent généralement le respect d'exigences relatives aux émissions de polluants (COV, ...) dans l'air intérieur. Toutefois, comme la labélisation est une démarche volontaire payante, l'absence de label n'implique pas nécessairement que le matériau est moins sain.

Opter pour des matériaux durables, recyclables ou compostables

Privilégier des produits bénéficiant d'une durée de vie assez longue et favoriser les possibilités de démontage et de réemploi des matériaux en fin de vie permet d'épargner les ressources nécessaires à la production de nouveaux produits. Cette affirmation vaut pour les matériaux biosourcés également. Pour ceux-ci, l'allongement de la durée de vie permet aussi de retarder le moment où le carbone stocké dans la matière est à nouveau libéré (voir figure 1, ⑤).

Outre la possibilité de **récupération** et de **recyclage** en fin de vie (cycle technologique de l'économie circulaire), les matériaux biosourcés ont, en principe, l'avantage d'être potentiellement **biodégradables** (compostables) et de pouvoir ainsi participer au cycle biologique de l'économie circulaire. Néanmoins, leur destination en fin de vie est influencée par divers facteurs tels que la nature de leur

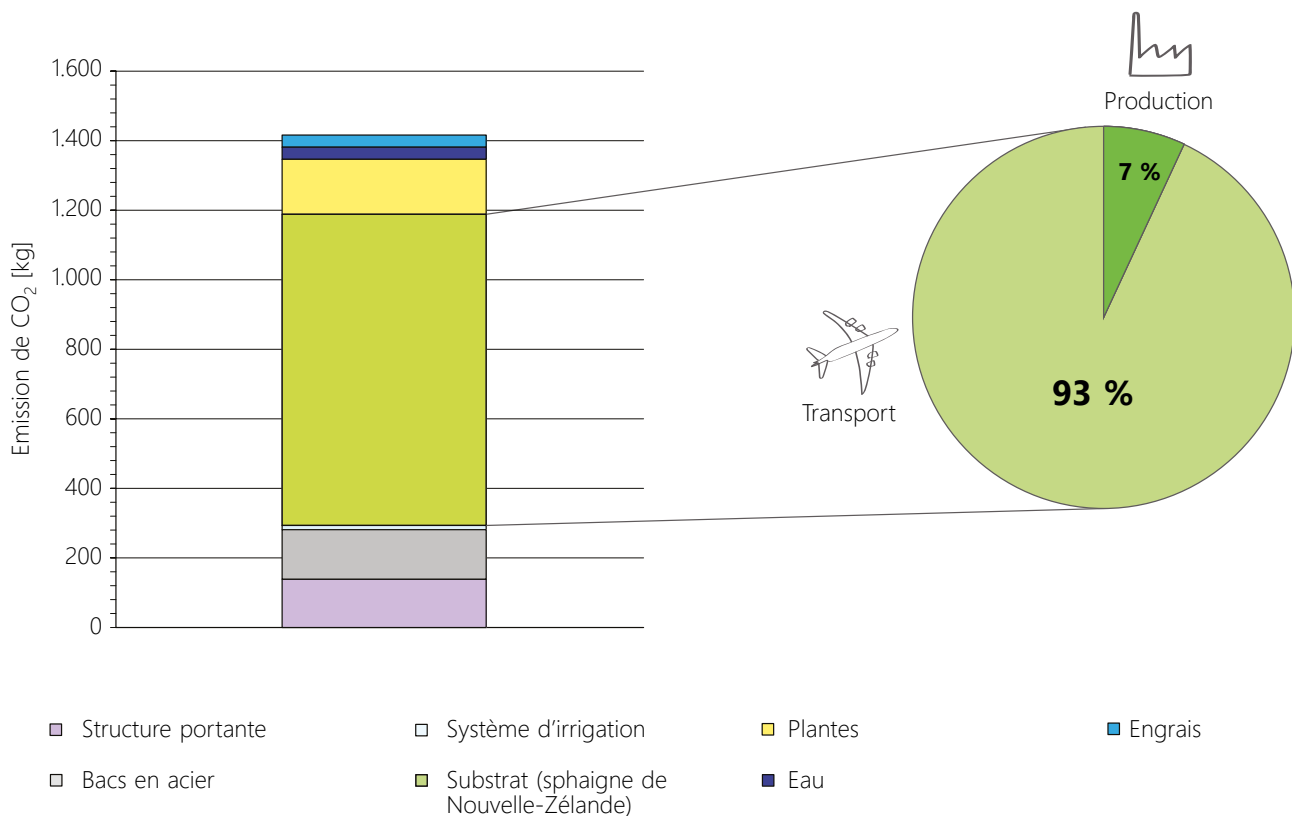
partie non biosourcée, la mise en œuvre ou la disponibilité des filières.

Hormis le bois et ses dérivés, les matériaux de construction biosourcés représentent actuellement une faible part du marché. Par conséquent, la logistique visant à optimiser leur potentiel de recyclage et de compostage doit encore être largement développée (identification des flux clés, tri optimal, installations de compostage et de recyclage, ...).

Un rôle certain, mais par exclusif

A eux seuls, les matériaux biosourcés ne suffisent pas pour atteindre les objectifs de développement durable, mais ils font partie intégrante du programme. Ils sont susceptibles d'apporter des réponses à certains enjeux environnementaux du secteur de la construction, tout en s'appuyant sur des filières économiques locales à fort potentiel de croissance. Toutefois, il existe une grande diversité de produits et la nature biosourcée de la matière première (ou d'une partie de celle-ci) ne permet pas de conclure à un impact environnemental faible. ◆

Cet article a été rédigé avec le soutien du programme européen Interreg 2Seas 2014-2020 dans le cadre du projet CBCI. Plus d'informations sur : <https://www.interreg2seas.eu/en/CBCI>.



2 | Contribution relative des différents composants d'une façade verte dont le substrat est constitué de sphaigne en provenance de Nouvelle-Zélande.



Maintenir les performances des cloisons déplaçables

Les cloisons intérieures ont un rôle important à jouer en matière d'économie circulaire. En plus de permettre une adaptabilité des espaces, elles peuvent en effet être récupérées et reconditionnées dans d'autres bâtiments. Encore faut-il qu'elles répondent aux exigences de sécurité et de confort, et que ces performances soient maintenues à la suite des démonterages et remontages successifs.

L. Lassoie, ing., coordinateur éditorial et coordinateur adjoint des Comités techniques, CSTC

Y. Martin, ir., coordinateur 'Stratégie et innovation' et coordinateur des Comités techniques, CSTC

L. De Geetere, dr. ir., chef de la division 'Acoustique, façades et menuiserie', CSTC

Quelle cloison pour quelle application ?

Il existe un large éventail de cloisons dites démontables et/ou adaptables. C'est principalement leur **degré d'adaptabilité** qui permet de les distinguer les unes des autres.

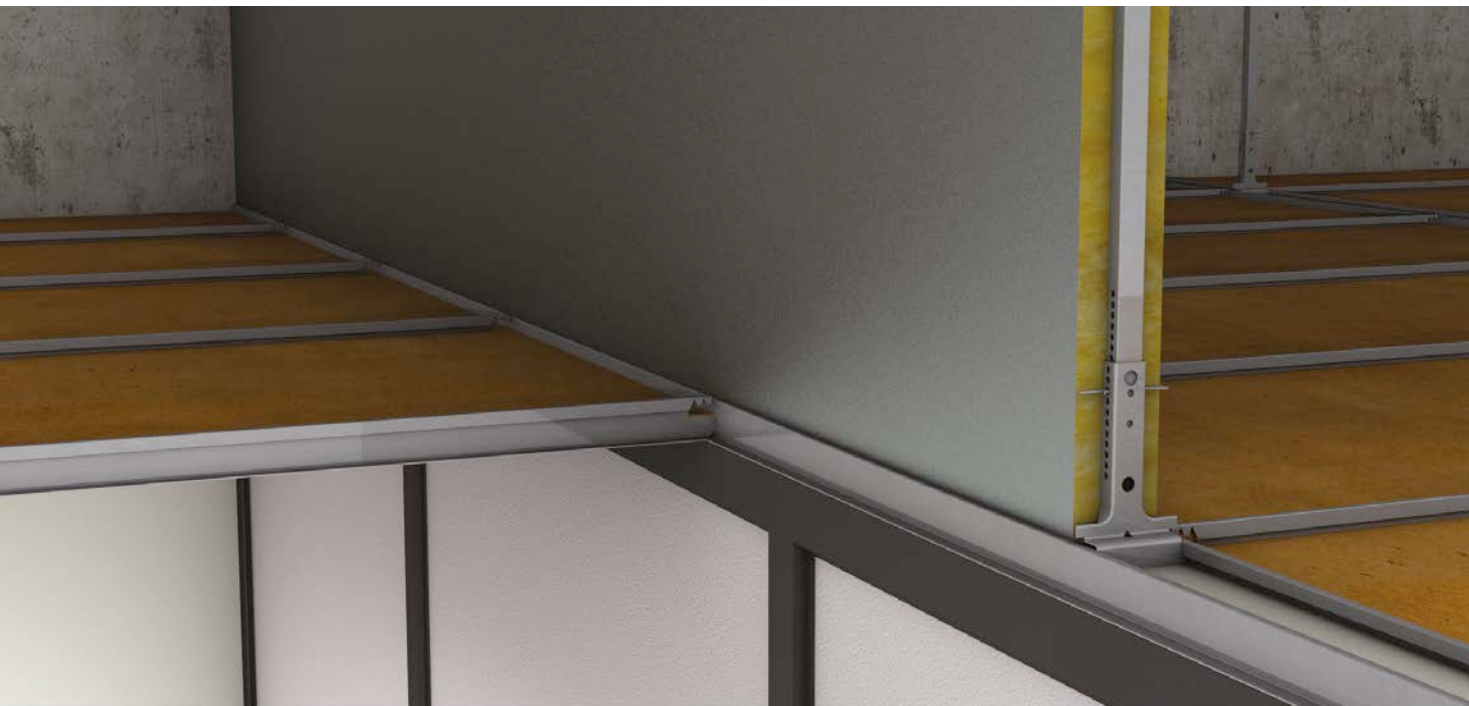
Bien que l'investissement initial soit généralement supérieur à celui des cloisons traditionnelles, ce surcoût devient très vite avantageux si les cloisons font l'objet d'un nouvel agencement au moins dans les quinze premières années. Ceci explique leur succès dans les immeubles de bureaux, les écoles, ...

Depuis peu, elles font également leur apparition dans les logements, où elles permettent d'adapter la configuration des lieux en fonction des besoins ou des desiderata des familles.

Ces cloisons peuvent renfermer différentes installations techniques, mais il s'agit bien souvent uniquement de câbles électriques.

Dans tous les cas, les cloisons démontables doivent répondre aux **mêmes exigences que les parois traditionnelles**. Ainsi, il convient de respecter les exigences fondamentales relatives à la **stabilité** et à la **sécurité d'utilisation** (charges

1 | Barrière 'incendie' et/ou barrière acoustique déplaçable dans le plénum d'un plafond suspendu.



accidentelles), dont il est question dans la [NIT 233](#). Toutefois, dans certaines situations, d'autres exigences sont à considérer, notamment en matière de sécurité incendie et de confort acoustique. Il faut évidemment veiller à ce que les performances des cloisons soient maintenues à la suite des déplacements successifs, qu'il s'agisse de systèmes innovants ou de concepts plus ordinaires.

Sécurité incendie

Les bâtiments autres que les maisons unifamiliales doivent satisfaire à l'arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base pour la prévention de l'incendie et de l'explosion. Celui-ci stipule que les cloisons délimitant des chemins d'évacuation ou des compartiments doivent présenter des performances EI variant de 30 à 120 minutes selon la hauteur du bâtiment.

Les **liaisons des cloisons** aux autres parois sont à réaliser conformément aux instructions du fabricant. Les démonter et remonter successifs ne peuvent dès lors pas modifier ces liaisons. En règle générale, il convient d'accorder une attention particulière :

- aux types de profilés
- à leur fixation (type, nombre et écartement)
- à la présence d'un remplissage en matériau incombustible (le plus souvent de la laine de roche).

Lorsque les cloisons ne sont pas prolongées jusqu'au(x) plancher(s) porteur(s) et que le plancher surélevé et/ou le plafond suspendu ne présentent pas la résistance au feu exigée, des **barrières résistantes au feu** doivent être placées dans le plénum (voir figure 1 à la page précédente). Celles-ci peuvent être déplaçables ou fixes. Dans ce dernier cas, il s'avère intéressant de les positionner à intervalles réguliers, afin d'anticiper les déplacements éventuels (voir figure 2).

En cas de remontage, la pose des barrières déplaçables doit être effectuée soigneusement. Elle nécessite généralement une **adaptation des profilés** qui les supportent (limitation de l'espacement des suspentes, ajout de bandes de plaques de plâtre dans le profilé, ...). Un resserrage au moyen de laine de roche est en outre à prévoir avec les parois adjacentes (plafond, murs et/ou sol).

Les **traversées de barrières par des conduits, des conduites ou des câbles** ne peuvent altérer le degré de résistance au feu exigé des barrières (voir [NIT 254](#)). Les clapets ou les vannes résistants au feu présents sur des conduits de ventilation, par exemple, doivent donc être déplacés ou remplacés pour que la lame mobile se situe dans l'axe de la barrière. Sauf mention contraire du rapport d'essai au feu, ces dispositifs ne peuvent être utilisés qu'au droit de barrières non déplaçables et doivent toujours être installés à plus de 75 mm des parois. La distance minimale entre deux clapets est de 200 mm.

Enfin, il y a lieu de s'assurer de la **bonne intégration des prises de courant et des interrupteurs**. Ces éléments ne peuvent pas être installés en vis-à-vis de part et d'autre de la cloison. De la laine de roche doit être placée autour



2 | Barrières fixes positionnées toutes les deux travées dans le plénum d'un plafond suspendu.

des blochets. Pour les boîtiers simples, on respectera un espacement d'axe en axe d'au moins 100 mm. Pour les boîtiers doubles, un espacement de 200 mm est nécessaire. Ces dispositions ne sont pas d'application lorsqu'il est fait usage de blochets résistants au feu.

Confort acoustique

Comme pour la sécurité incendie, tous les éléments, notamment les barrières acoustiques, doivent être remis en place dans le plénum du plancher surélevé et/ou du plafond suspendu.

Une part non négligeable du bruit peut néanmoins être transmise **via les éléments du plancher surélevé et/ou du plafond suspendu**, surtout lorsque la masse de ces éléments est réduite. La solution idéale consiste à les interrompre au droit de la paroi verticale. En plus d'être difficilement réalisable dans la pratique, une telle discontinuité va toutefois à l'encontre de la notion de flexibilité dans l'aménagement des locaux. Une solution consisterait à prévoir dès le départ une flexibilité modulaire des cloisons et donc à interrompre à intervalles réguliers le plancher surélevé et/ou le plafond suspendu.

En l'absence de dispositifs spécifiques, les **boîtiers électriques** sont disposés en décalage de part et d'autre de la paroi sur une distance équivalant au moins à l'espacement des montants de la structure de la cloison. Il faut également veiller tout particulièrement à obturer au moyen de matériaux poreux souples les interstices entre la cloison et toutes les parois adjacentes. L'utilisation de mastic élastique convient moins pour des cloisons déplaçables, surtout si on prévoit une modification fréquente des espaces. ◆

Offrir une certaine adaptabilité aux techniques spéciales

Dès le début du projet, il faut penser à l'adaptabilité des locaux et de leurs techniques, en subdivisant les espaces en modules. Il est également nécessaire de réserver suffisamment d'espace dans les gaines techniques, les planchers surélevés ainsi que les plafonds suspendus. Il faut enfin prévoir dès le départ des possibilités de modification au niveau des locaux techniques.

B. Poncelet, ir.-arch., chef de projet, laboratoire 'Techniques de l'eau', CSTC

P. Van den Bossche, ing., chef de projet principal, division 'Installations intelligentes et solutions durables', CSTC

Nous évoquons ici les **techniques relatives aux installations sanitaires et HVAC** des petits bâtiments tertiaires (crèches, écoles, petits bureaux, ...). Néanmoins, rien n'empêche d'appliquer les concepts énoncés aux logements, aux grands bâtiments et aux autres techniques.

Cet article ne s'adresse pas uniquement aux **concepteurs**, mais également aux **installateurs**, qui, dans le cas des petits bâtiments tertiaires, doivent souvent prendre part à leur conception.

Adaptabilité au niveau des locaux

Les adaptations à effectuer aux techniques spéciales dans un bâtiment tertiaire résultent généralement :

- soit d'une reconfiguration des espaces (déplacement des cloisons, ...)
- soit d'un changement d'affectation des locaux (transformation de bureaux individuels en bureaux paysagers, ...)

L'enjeu consiste donc à concevoir des systèmes HVAC qui répondent aux besoins des utilisateurs dans tous les locaux tout en permettant ces modifications.

Pour obtenir une adaptabilité maximale, il faudrait :

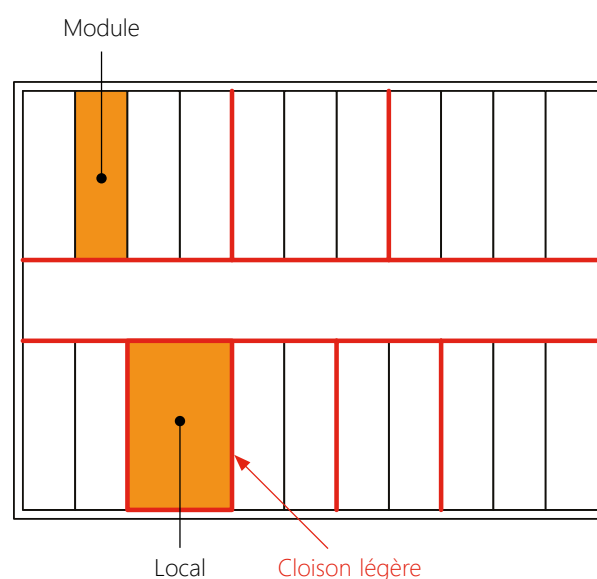
- subdiviser le volume complet initial en divers **modules** (voir figure 1), chaque local pouvant occuper un à plusieurs modules
- concevoir des techniques qui assurent le confort et la qualité de l'air dans chacun des modules.

Cette approche reste théorique, car elle implique de prévoir autant d'équipements terminaux (émetteurs et bouches de ventilation) qu'il y a de modules. Dans la réalité, une telle solution se révélerait très coûteuse. Pour chaque projet,

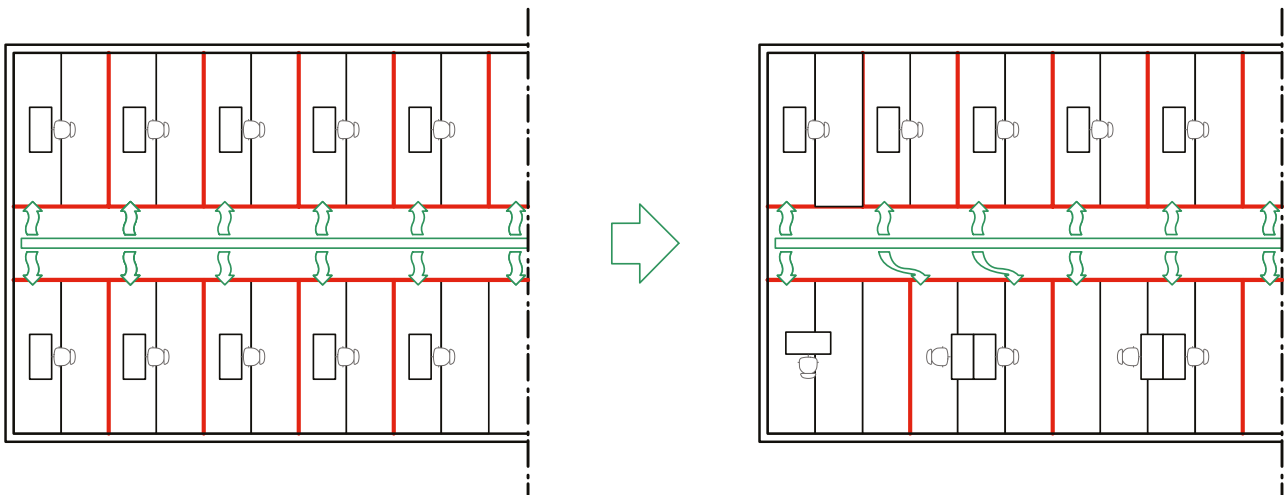
il convient dès lors de trouver un compromis entre une flexibilité totale et le respect du budget.

Concrètement, cela implique, par exemple :

- d'installer un diffuseur d'air tous les deux modules avec la possibilité d'en ajouter et de les déplacer grâce à de courtes connexions flexibles (voir figure 2)
- de recourir à des émetteurs surfaciques (plafond rayonnant, ...), qui permettent une subdivision hydraulique plus facile par module, dès lors que chaque module est constitué d'un circuit hydraulique indépendant.



1 | Subdivision usuelle d'un étage en plusieurs modules.



2 | La mise en place d'un diffuseur d'air à intervalles réguliers permet de déplacer les cloisons avec un impact minimum sur le réseau de ventilation.

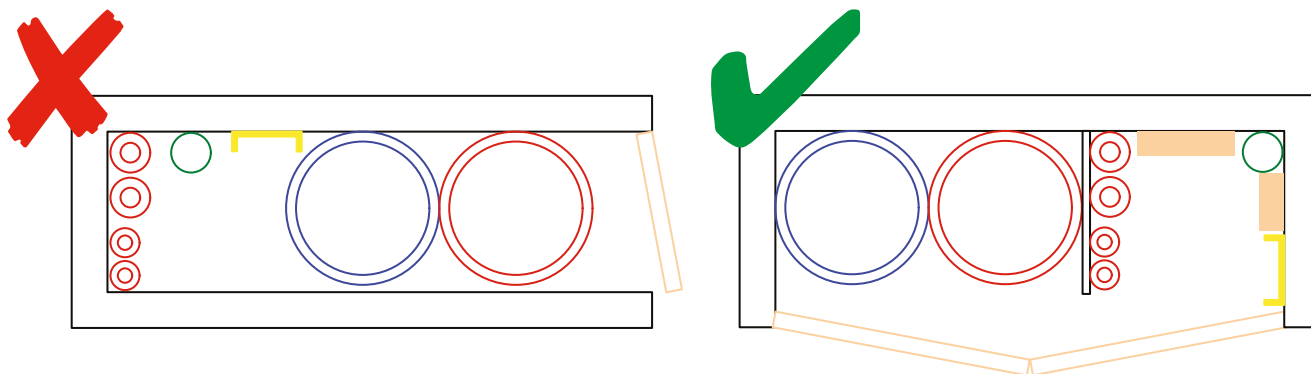
Adaptabilité au niveau des volumes techniques de distribution

Il serait coûteux, par exemple, de surdimensionner les conduits d'air pour répondre à toutes les modifications d'usage envisageables. Par contre, il est possible de prévoir un minimum d'adaptabilité au niveau des volumes techniques de distribution (gaines, planchers surélevés et plafonds suspendus). Il peut s'agir, par exemple :

- d'**aménager de l'espace supplémentaire dans les gaines verticales**, d'agencer de manière optimale les techniques et de prévoir des trappes, des échelons, des caillebotis, ... Chaque technique reste ainsi accessible et un minimum d'espace libre est disponible pour les installations à venir (voir figure 3 à la page suivante). On peut adopter le même type de réflexion pour les volumes techniques horizontaux tels que les planchers surélevés et les plafonds suspendus
- de **prévoir suffisamment de gaines verticales** en anticipant au maximum les possibilités de configuration pour le cloisonnement. Cette approche est déjà bien connue dans les ventes casco (*) ou pour la mise en location de plateaux de bureaux
- de **limiter l'encastrement des techniques dans des cloisons susceptibles d'être modifiées** (comme celles qui séparent des bureaux). Il est en effet préférable de privilégier le passage des techniques dans des planchers surélevés et/ou dans des plafonds suspendus. Bien entendu, ceux-ci doivent être évalués au regard des coûts, de l'esthétique, de l'acoustique, de la perte d'inertie du bâtiment, ... Cela peut se faire, par exemple, en réalisant des plafonds suspendus de type partiel.

(*) Vente d'un bien immobilier en état brut, en gros œuvre fermé et sans installations sanitaires ni HVAC.





- 3 | Une gaine est bien conçue lorsqu'elle permet l'accès à l'ensemble des techniques et lorsque de l'espace est réservé en vue de l'installation de techniques supplémentaires.

Adaptabilité au niveau des locaux techniques

On peut souhaiter adapter les équipements d'un local technique lorsque le système de production ne répond plus à la demande. C'est notamment le cas lorsqu'on réaffecte un étage de bureaux en salles de formation : un tel changement peut en effet nécessiter d'augmenter la puissance de froid pour la climatisation.

Si de telles possibilités existent, il est opportun :

- de **faciliter l'accès à l'intérieur des locaux techniques**, afin de pouvoir y effectuer aisément des adaptations. L'installation doit être conçue de manière à ce que les équipements puissent être retirés sans difficulté (c'est-à-dire sans devoir démonter d'autres installations) et qu'il soit facile d'en introduire de nouveaux
- de **prévoir un circuit de réserve au niveau des collecteurs** pour d'éventuels besoins futurs (ou d'utiliser des collecteurs modulaires). Concernant les collecteurs d'eau chaude sanitaire, il convient de s'assurer que le circuit de réserve est installé du côté de l'arrivée d'eau et non en fin de collecteur (voir figure 4), et ce pour éviter le développement de légionelles dans une eau stagnante.

Il est également important d'**évaluer la possibilité de modifier le combustible des générateurs de chaud et de froid**. Celle-ci pourrait, par exemple, faire suite à une volonté d'améliorer une installation, voire de répondre à de nouvelles ambitions environnementales. Concrètement, envisager une autre forme d'énergie est possible notamment :

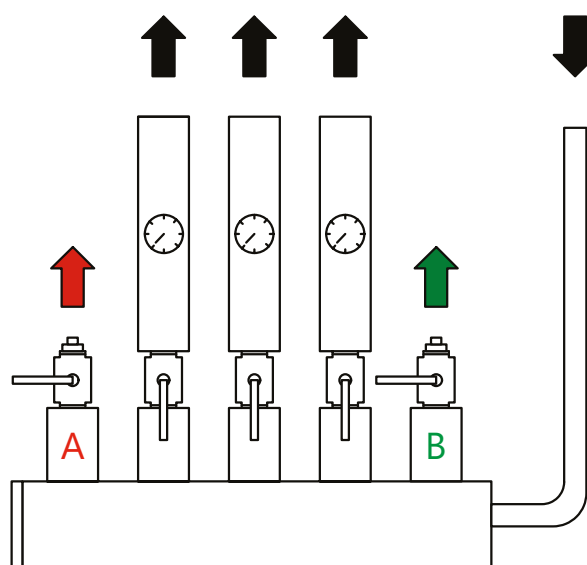
- en installant un fourreau complémentaire en attente dans le local technique en direction de la voirie
- en convertissant une petite cave située à proximité d'une chaufferie en volume de stockage (pour pellets, ...).

Implication de l'adaptabilité sur les coûts

Il est impossible de donner une idée du surcoût que représente chaque solution d'adaptabilité, tant les projets diver-

gent de par leur géométrie, leurs techniques et leurs attentes. Toutefois, il faut garder en tête les principes suivants :

- plus les solutions sont étudiées tôt, plus leurs coûts seront réduits. Il se peut même que le surcoût soit nul (comme pour l'exemple du volume technique vertical)
- investir aujourd'hui dans des concepts techniques adaptables permettra de remplacer demain les installations à moindre coût. D'un point de vue purement économique, il est donc nécessaire de mettre en corrélation les surcoûts liés aux solutions envisagées et la réduction des coûts liés à de probables modifications futures.



- 4 | Collecteur doté de trois circuits, mais dont le circuit de réserve A est mal placé, contrairement au circuit B.

L'entretien : un maillon indispensable dans le cycle de vie des bâtiments

Pour qu'un bâtiment préserve sa valeur le plus longtemps possible, il faut veiller à ce qu'il reste en bon état durant son utilisation. L'entretien est primordial à cet égard. Une maintenance ou une gestion du cycle de vie bien pensées permettent en effet de prolonger la durée de vie du bâtiment et de récupérer ensuite des matériaux pouvant être réemployés.

E. Mahieu, ing., chef de la division 'Avis techniques et consultancy', CSTC
J. Vrijders, ir., chef du laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

Un bon entretien est non seulement crucial pour qu'un bâtiment conserve une fonctionnalité optimale, il offre aussi de la valeur ajoutée à l'entrepreneur sur le plan économique en lui permettant de bâtir une relation à long terme avec ses clients et de leur proposer de nouveaux services (inspection, gestion, remplacement, ...). De plus, l'entretien génère des revenus (par le biais de contrats de maintenance, par exemple) et joue un rôle important dans les nouveaux modèles d'entreprise, tels que les offres combinées de produits et de services (voir article p. 30).

Une conception qui facilite l'entretien

L'entretien du bâtiment est à prévoir dès sa phase de conception. Certains travaux de maintenance et de remplacement peuvent ainsi être grandement simplifiés par l'application de quelques principes logiques :

- choisir des matériaux robustes
- réaliser les détails de manière à éviter les dégâts ou salissures (mise en œuvre de dépassants de toiture, par exemple)
- rechercher la standardisation et la modularité
- assurer l'accessibilité aux éléments devant être régulièrement entretenus ou contrôlés.

Dans ce contexte, un certain nombre de listes de contrôle, ou *checklists*, ont été élaborées afin de venir en aide aux concepteurs (voir l'encadré à la page suivante).

Pour pouvoir réutiliser les matériaux, il est préférable d'opter pour une **construction démontable**. Si ce type d'ouvrage n'influence pas la qualité ou la durabilité de l'élément constructif dans son ensemble, il est bien sûr à privilégier. Dans le cas contraire, il convient de prendre une décision mûrement réfléchie :

- soit en construisant pour une période limitée (15 à 20 ans, par exemple, comme c'est le cas pour certains bâtiments



1 | L'entretien est primordial pour la durabilité des menuiseries extérieures en bois.

Checklists

Instrument de durabilité mis au point par le gouvernement flamand, le manuel GRO propose un ensemble de listes de contrôle, ou *checklists*, reprenant les points auxquels il convient de prêter attention si l'on souhaite tenir compte de l'entretien et du nettoyage des bâtiments dès la phase de conception. Ces listes, LCC1 (relative à l'entretien) et LCC2 (relative au nettoyage), peuvent être consultées sur le site <https://do.vlaanderen.be/documenten-gro>.

Leur utilisation en Wallonie et en Région de Bruxelles-Capitale est actuellement à l'étude.

industriels) et en optant pour des solutions plus facilement démontables

- soit en envisageant une durée de vie de 50 ou 100 ans, par exemple, et en orientant le choix des matériaux et de la conception dans ce sens.

Enfin, pour effectuer des choix judicieux, il est essentiel que les parties responsables de la gestion et de l'entretien du bâtiment soient impliquées au maximum dans sa conception.

Exécution et réception : planification de l'entretien

Lors de la réalisation du bâtiment, il est important de bien documenter l'ensemble des travaux, et ce tant durant la phase de construction qu'à un stade ultérieur. Il est ainsi possible de constituer un **dossier de postintervention** comprenant les fiches techniques des produits utilisés et des détails exécutés. Les **passesports (numériques) relatifs à l'ouvrage et aux matériaux**, également de plus en plus fréquents, contiennent des informations techniques pouvant s'avérer utiles en phase d'exploitation. Si l'on introduit ces informations dans un **modèle BIM**, le gestionnaire du bâtiment, l'utilisateur et les techniciens de maintenance pourront en tirer parti eux-aussi. Il est évidemment recom-

mandé de tenir ces informations à jour dans une sorte de copie virtuelle également appelée *digital twin*.

Qu'il s'agisse d'un bâtiment neuf ou existant, une **bonne planification de sa maintenance** est essentielle. Elle permet en effet de contrôler régulièrement l'état des éléments de la construction et de prévoir les moyens nécessaires à leur entretien, leur réparation ou leur remplacement. Le **Guide de l'entretien pour des bâtiments durables** publié par le CSTC peut aider à réaliser ce planning. Ce guide passe en revue l'ensemble des tâches à réaliser pour chaque élément de construction : contrôles périodiques, nettoyages, vérifications et remplacements. Ce document a été entièrement mis à jour et devrait être publié sur le site Internet du CSTC dans le courant de l'année.

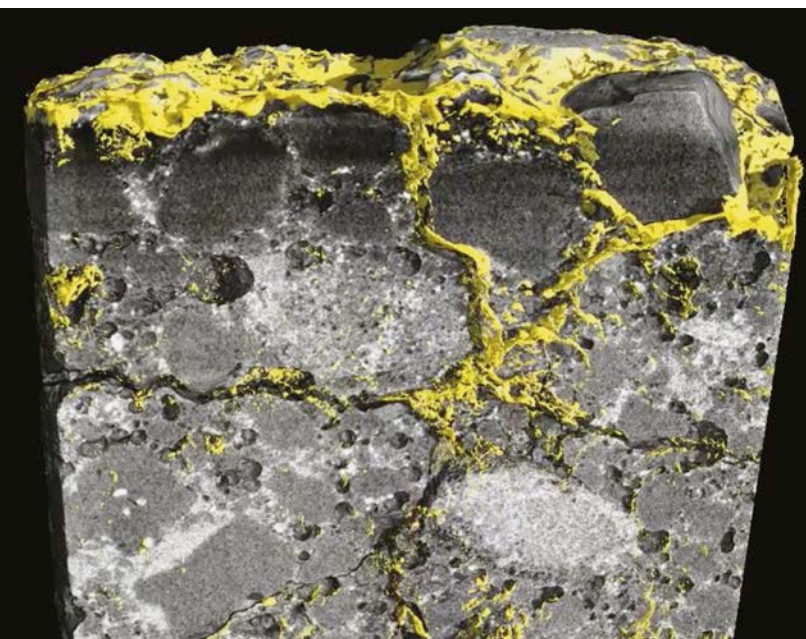
Innovations dans le domaine de l'entretien

Les technologies numériques commencent à jouer un rôle de plus en plus important sur le plan de la maintenance et de la gestion (voir **Les Dossiers du CSTC 2019/3.5**). Ainsi, l'utilisation de capteurs et le recours à des contrôles automatisés, par exemple, sont de plus en plus fréquents. La maintenance dite curative, qui consiste à n'aborder les problèmes que lorsqu'ils surviennent, fait ainsi place à une **maintenance plus préventive et surtout prédictive**.

Les données générées par les capteurs peuvent apporter bon nombre d'informations sur la façon et le moment précis où les matériaux et les éléments de construction sont susceptibles de présenter une défaillance. Ceci permet de développer de nouveaux produits de meilleure qualité et de concevoir les futurs bâtiments de manière plus efficace. A titre d'exemple, si l'on mesure le taux d'occupation des bâtiments existants ou si l'on effectue un monitoring des fonctionnalités utilisées, il est possible de concevoir des locaux futurs de manière optimale et plus adaptée à l'occupation des lieux.

Enfin, il est à noter que de nouvelles solutions sont en cours de développement **sur le plan de la technologie des matériaux**, et ce en vue de prolonger la durée de vie des bâtiments et de leurs composants. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, le béton autocicatrisant est capable de colmater ses fissures éventuelles – sans aucune autre intervention – grâce à l'intégration, durant sa fabrication, de capsules contenant des polymères ou des bactéries du béton (voir figure ci-contre). ◆

2 | Vue d'un béton autocicatrisant microbien (UGent, VUB – SIM-SECEMIN).



Réemploi des matériaux : comment justifier leurs performances techniques ?

On observe aujourd'hui une tendance au réemploi des matériaux dans le secteur de la construction. La réutilisation d'éléments tels que des briques, des dalles en pierre naturelle, des isolants, des finitions intérieures ou des armatures permet de créer des circuits courts menant à une diminution de l'impact environnemental et à la création d'activités économiques locales.

F. Poncelet, ir.-arch., chercheuse, laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

M. Deweerdt, ir.-arch., chercheuse, laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

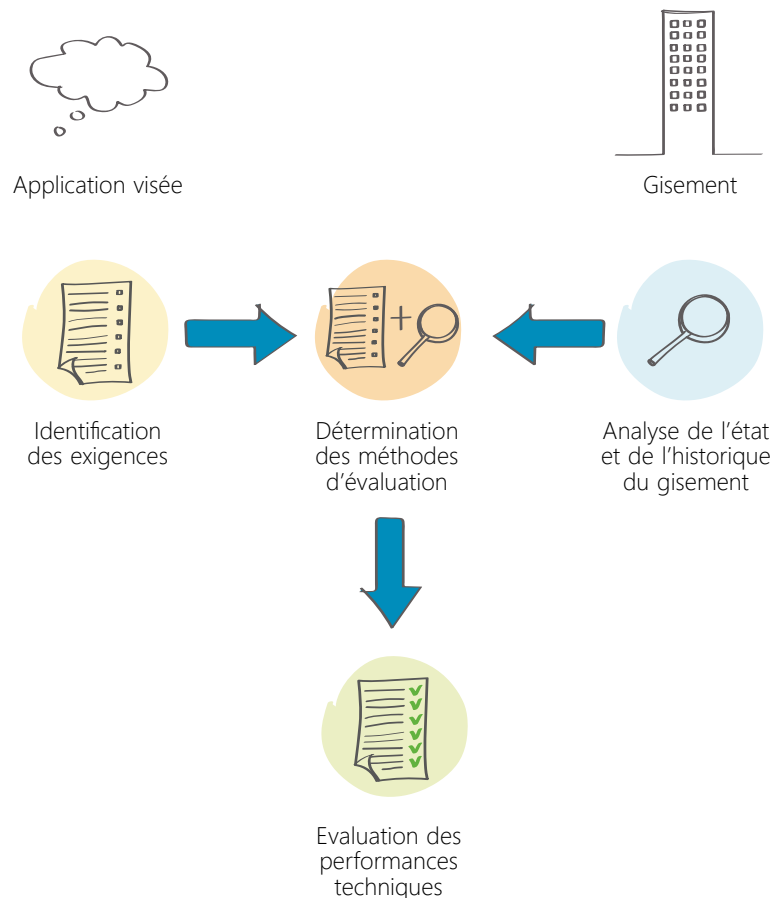
J. Vrijders, ir., chef du laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

Un des freins au réemploi des matériaux et composants de construction réside dans la difficulté de **garantir leurs performances techniques**. Contrairement aux produits neufs, les matériaux de réemploi ne sont pas fabriqués en série dans un environnement contrôlé et les informations concernant leurs propriétés font souvent défaut. Pour que les entrepreneurs accordent autant de confiance à ces produits qu'à des produits neufs, il est donc nécessaire de développer de nouvelles méthodes permettant de démontrer leurs performances.

Si une opportunité de réemploi se présente, les quatre étapes proposées ci-après peuvent aider à déterminer si les performances du produit correspondent à l'application visée.

1 Identification des exigences relatives à l'application visée

En construction, il est nécessaire d'identifier les performances des produits appliqués. Celles-ci peuvent être imposées par le client, via le cahier des charges, mais elles peuvent également être établies explicitement ou implici-



1 | Ces quatre étapes permettent de déterminer si les performances du produit de réemploi correspondent à l'application visée.



2 | Stockage de matériaux destinés au réemploi.

tement par un cadre normatif ou réglementaire (sécurité incendie, performances acoustiques et énergétiques, émissivité des composés organiques volatils, ...).

Deux types de performances relatives à l'application future peuvent être exigées :

- les **performances fondamentales**, qui sont requises légalement et/ou qui sont nécessaires pour que le matériau soit apte à l'usage auquel il est destiné, compte tenu de la santé et de la sécurité des personnes concernées tout au long du cycle de vie de l'ouvrage. Il s'agit notamment des caractéristiques de résistance mécanique et de stabilité, de réaction au feu, d'hygiène, de santé, d'environnement et, le cas échéant, d'accessibilité ou encore d'acoustique
- les **performances complémentaires**, qui sont non fondamentales et qui sont spécifiques à un projet. Elles sont déterminées selon l'application visée et/ou selon les souhaits du maître d'ouvrage. Il s'agit, par exemple, des dimensions ou de la couleur d'un produit ou encore de la résistance à l'usure d'un revêtement de sol. Cette dernière est en effet importante en cas d'application dans le hall d'entrée d'un immeuble de bureaux, mais l'est moins pour une chambre. Selon l'usage visé, le maître d'ouvrage pourra se montrer plus tolérant concernant le niveau d'exigence de certaines performances complémentaires. En effet, certains critères tels que le prix ou la valeur patrimoniale du matériau peuvent influencer sa décision. Il pourrait ainsi accepter de petits défauts qui auraient été proscrits dans le cas d'un matériau neuf.

En principe, une liste des exigences fondamentales et complémentaires est établie une fois que l'application visée du matériau ou du composant de réemploi a été déterminée.

2 Analyse de l'état et de l'historique du gisement

Un gisement se définit comme un ensemble de matériaux ou d'éléments se trouvant dans une zone définie et présentant **des caractéristiques et une histoire communes**. La notion d'histoire est importante dans le contexte de réemploi d'un matériau ou d'un composant, dans la mesure où elle peut avoir influencé ses caractéristiques originelles. Ainsi, un parquet placé dans un lieu de passage compose un gisement différent de celui placé dans un lieu moins fréquenté, car il a été utilisé différemment.

Cette étape vise à réunir un maximum d'informations concernant le produit original *in situ*. Un **'inventaire des performances techniques'** donne la possibilité de réunir les caractéristiques originelles et/ou actuelles du gisement. Il est préférable de réaliser cet inventaire avant l'extraction.

La mission d'inventorisation est scindée en deux phases :

- la première consiste à dresser un **inventaire documentaire** visant à compiler les documents techniques existants reprenant les caractéristiques du gisement lors de sa mise en œuvre initiale. De nombreux documents peuvent apporter des informations : fiches techniques, cahier des charges originel, normes en vigueur au moment de la mise en œuvre, ...
- la seconde phase consiste à rédiger un **inventaire in situ**, dont l'objectif est de vérifier l'état actuel des matériaux. L'inventoriste veille notamment à consigner les éventuels dégâts, usures et déformations. Il vérifie en outre si la mise en œuvre initiale et l'entretien des éléments constituant le produit ont été réalisés selon les règles de l'art, ce qui pourrait également avoir un impact sur ses propriétés.

Lors de l'inventorisation, toute information liée à l'ancienne application et à l'historique du produit peut être utile, notamment pour établir plus facilement si le produit peut convenir à un usage dont les exigences seraient semblables à celles de la précédente application.

3 Détermination des méthodes d'évaluation nécessaires

La liste des exigences relatives à l'application visée (voir § 1) est comparée aux informations réunies lors de l'inventaire (voir § 2). Le caractère fondamental ou complémentaire des exigences permet de déterminer les méthodes d'évaluation nécessaires pour vérifier si les performances actuelles du produit correspondent bien à celles exigées. En effet, l'évaluation d'une exigence fondamentale nécessite un niveau de précision et de sûreté plus élevé que l'évaluation d'une exigence complémentaire. Ces méthodes sont également à choisir en fonction de la situation, de la nature du produit, de son état, ... relevés lors de l'inventaire.

4 Evaluation des performances techniques

Trois méthodes d'évaluation principales permettent de vérifier les performances techniques des matériaux de réemploi :

- l'évaluation directe
- l'évaluation indirecte
- l'évaluation par essais.

D'autres voies innovantes sont également proposées pour renforcer la confiance des utilisateurs dans les matériaux de réemploi :

- le contrôle de la chaîne
- l'évaluation lors de la nouvelle application.

4.1 Evaluation directe

Si les performances recherchées sont contrôlables visuellement ou via des moyens techniques non destructifs, elles peuvent être directement validées après l'inventaire *in situ*. Il s'agit donc des performances actuelles du matériau, qui sont justifiées par l'expert qui a dressé l'inventaire.

Ainsi, l'épaisseur d'un isolant peut être évaluée directement lors de l'inventaire *in situ*.

4.2 Evaluation indirecte

Certaines performances peuvent être évaluées à partir des informations relatives aux performances initiales ou historiques du produit qui ont été récoltées lors de l'inventaire documentaire. Elles peuvent être soit justifiées soit déduites à partir de fiches ou d'autres documents techniques, toujours en tenant compte des données historiques récoltées.

Par exemple, si la documentation d'un isolant que l'on souhaite réemployer indique qu'il s'agit de laine minérale, sa valeur minimale de conductivité thermique λ est déductible.

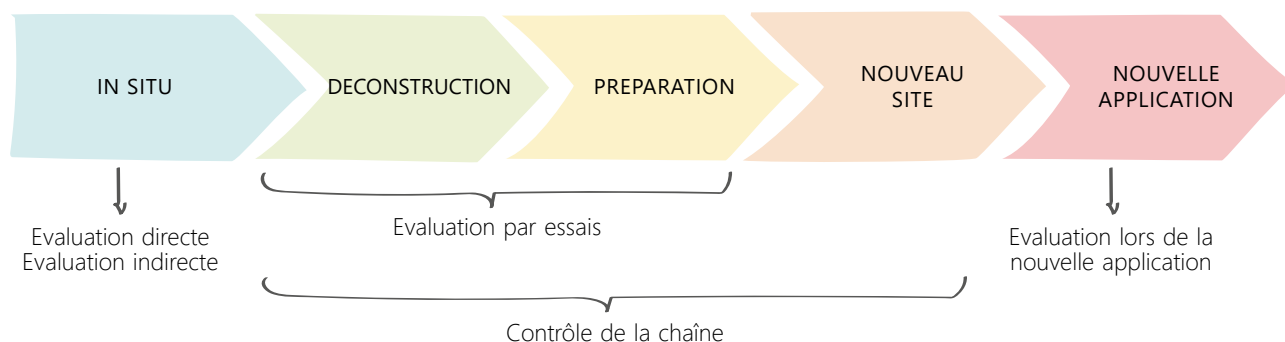
4.3 Evaluation par essais

Tout comme pour les produits neufs, des essais devront souvent être réalisés sur les matériaux de réemploi. Cependant, les deux points suivants devront faire l'objet d'une attention particulière.

D'abord, les normes pour les produits neufs décrivent souvent des méthodes d'essai visant à évaluer leurs performances techniques. **Les méthodes proposées ne sont**

3 | Stockage de carreaux en vue de leur réutilisation.





4 | Différents contrôles supplémentaires peuvent être effectués tout au long des processus de déconstruction, de préparation, de remise en œuvre et lors de la nouvelle application.

toutefois pas toujours adaptées aux produits de réemploi. A titre d'exemple, l'essai actuel permettant d'évaluer la glissance d'un pavé est réalisé sur un pavé dont la surface est plate. Or, certains pavés anciens présentent une surface bombée. Leur glissance ne peut donc pas être déterminée de cette manière. Par conséquent, certaines méthodes sont à adapter.

Ensuite, **l'application d'une approche statistique s'avère parfois nécessaire**, puisque les protocoles d'essai sont basés sur une production standardisée et non sur un gisement. Il s'agit alors de déterminer le nombre de pièces à tester pour pouvoir déclarer la performance du lot. La glissance d'un lot de carrelage de 10.000 pièces peut être évaluée de cette manière.

4.4 Contrôle de la chaîne

En plus de l'évaluation des produits, un contrôle de la chaîne de remise en œuvre peut également être envisagé. L'accent n'est alors plus placé sur une évaluation précise des performances des produits, mais sur **des procédures et des compétences qui permettent d'accroître leur fiabilité** tout au long des opérations de préparation au réemploi.

Ainsi, les éléments dont les performances sont susceptibles de ne pas atteindre le niveau d'exigence requis peuvent être éliminés lors du processus de déconstruction par un praticien qui possède les connaissances et le savoir-faire nécessaires pour éliminer les éléments défectueux.

D'autres contrôles peuvent également être mis en place durant les phases de nettoyage, de stockage, de remise en œuvre, ... afin de filtrer les produits et de ne conserver en bout de course que les éléments fiables.

Par exemple, pour contrôler la résistance au gel et la solidité de briques démontées, certaines entreprises vérifient lors

du nettoyage des briques que celles-ci ne s'effritent pas et qu'elles sont suffisamment solides.

4.5 Evaluation lors de la nouvelle application

En accord avec le maître d'ouvrage, certaines exigences peuvent être évaluées une fois le produit mis en œuvre. A titre d'exemple, l'homogénéité de la couleur des dalles de moquette réemployées peut être évaluée après que celles-ci aient été placées sur leur nouveau site. La pratique montre qu'il est également possible d'évaluer de cette manière des installations techniques telles que des groupes de ventilation. Leurs performances, tout d'abord évaluées de manières directe et indirecte, peuvent ensuite être vérifiées lors de leur remise en route sur le nouveau site. **Cette méthode est cependant plus risquée**, car le produit peut ne pas convenir au maître d'ouvrage, si bien que le processus est à recommencer.

Dans certains cas, pour contrer l'incertitude qui subsiste concernant les performances d'un produit, un contrôle peut être réalisé sur le long terme. Un monitoring poussé ou une évaluation récurrente peut révéler qu'un produit ne satisfait plus aux exigences. Il peut alors être remplacé par le fournisseur. Cette pratique alternative peut alors être couplée au modèle *pay for use*, combinant la maintenance à la fourniture. Elle implique une responsabilité qui relève du fournisseur et un monitoring des performances associé à un entretien. ■

L'approche présentée dans cet article est une procédure développée par le CSTC dans le cadre du projet EU-FEDER BBSM ('Le bâti bruxellois : source de nouveaux matériaux'). Elle est basée sur de nombreux cas observés et sera développée dans les années à venir.

Recycler (encore) mieux les déchets de construction et de démolition

Pionnière depuis de nombreuses années dans le domaine du recyclage des matériaux pierreux, la Belgique atteint aujourd'hui un taux de recyclage de plus de 90 % pour ce type de déchets. Toutefois, la transition vers une économie circulaire met le secteur au défi de recycler davantage les autres matériaux, et ce de manière qualitative.

A. Vergauwen, dr. ir.-arch., chef de projet, laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

J. Vrijders, ir., chef du laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

Du simple recyclage au recyclage de qualité

Ces dernières années, les producteurs cherchent plus volontiers à intégrer des matières secondaires (issues du recyclage) dans les matériaux de construction neufs. Si cette pratique représente un bon moyen pour réduire leur empreinte environnementale et améliorer l'image de l'entreprise, elle peut aussi se révéler économiquement intéressante, notamment parce que le recyclat est moins coûteux que les matières premières primaires ou que la production

nécessite moins d'énergie. Toutefois, pour pouvoir utiliser efficacement des matières secondaires, il convient de mettre en place un processus de recyclage qui préserve autant que possible la qualité et la valeur des matériaux. Pour ce faire, il est important que les flux de déchets soient aussi purs que possible et que la **collecte sélective** ait déjà lieu à la source – c'est-à-dire sur le chantier (voir figure 1). Les différents flux de déchets ainsi collectés pourront ensuite être évacués et traités par des canaux de diffusion spécifiques (voir encadré p. 29).

1 | Exemple de chantier pratiquant la collecte sélective. Sont concernés, en plus des flux traditionnels, les déchets plastiques, les matières dangereuses, les isolants ainsi que le papier et le carton (chantier : Tivoli GreenCity – Kairos & THV BAM Contractors – Jacques Delens – CFE Brabant).





- 2 | A gauche : collecte sélective des déchets d'emballages plastiques sur un chantier pilote.
A droite : conteneur 'tout-venant' dans lequel les déchets plastiques sont dominants.

Des solutions innovantes pour les chantiers

Bien que les flux de déchets produits sur chantier soient souvent purs (principalement des chutes et des surplus), ils ne sont disponibles qu'en quantités relativement limitées. Par conséquent, il n'est pas facile de leur trouver des circuits de recyclage appropriés. Tant et si bien que le tri ne s'avère pas toujours plus intéressant qu'un conteneur à déchets mixtes. Des efforts sont néanmoins réalisés sur de nombreux chantiers pour améliorer la gestion des déchets.

Ainsi, dans le cadre du projet **Chantiers pilotes de gestion innovante des déchets de construction** (www.cpdb.brussels), un certain nombre de pratiques innovantes ont été testées sur 17 sites bruxellois en collaboration avec plusieurs grandes et petites entreprises. Cette expérience a clairement montré qu'une bonne préparation était indispensable pour faire des choix en matière de gestion des déchets. En estimant les flux sur la base d'un mètre, on peut, par exemple, décider de collecter ou non certaines fractions (plaques de plâtre ou membranes bitumineuses, par exemple) séparément. Ainsi, la collecte distincte des déchets d'emballages plastiques s'est révélée être rentable pour la plupart des chantiers de construction, le coût de la collecte de 6 m³ de déchets d'emballages dans des sacs de 400 litres s'élevant à 37,5 € (15 sacs à 2,5 €) contre 120 € pour la place que prendrait 6 m³ de plastique dans un conteneur 'tout-venant' (voir figure 2).

Il est utile par ailleurs de **contrôler les flux de déchets effectivement évacués**. Cela permet de vérifier si les conteneurs sont suffisamment remplis (s'ils contiennent trop de vides en raison d'un mauvais empilement, par exemple) et si des erreurs se produisent sur le chantier. Sur les grands chantiers de construction, il n'est pas rare de constater que

les conteneurs 'monoflux' les moins chers (150 € pour un conteneur à gravats, par exemple) doivent être 'déclassés' et finalement facturés comme des conteneurs 'tout-venant', plus chers (300 € le conteneur, par exemple). Il est donc possible de réaliser d'importantes économies en veillant au remplissage correct et compact des conteneurs.

Le **recours aux nouveaux modèles circulaires** peut également offrir des opportunités intéressantes. Un flux de déchets produit par une entreprise donnée peut en effet servir de matière première à un partenaire (local). On crée ainsi une situation gagnant-gagnant avec un impact positif sur l'environnement. Citons notamment la plateforme Werflink sur laquelle des entrepreneurs mettent leurs surplus de matériaux ou d'équipements à la disposition de leurs collègues. On pourrait également s'inspirer de ces entreprises qui cèdent leurs déchets de bois à des consœurs, lesquelles les réutilisent pour fabriquer qui une serre, qui un meuble, une clôture ou un sentier pédestre.

Travaux de démolition : quand les déchets deviennent des ressources

Dans le cas des travaux de démolition aussi, il est préférable de procéder de manière sélective et de traiter les différents flux séparément. Ce type d'activités ne doit donc plus être considéré comme générateur de déchets, mais comme producteur de matériaux réutilisables. Pour ce faire, il importe de dresser un **inventaire de démolition qualitatif**. En effet, en évaluant correctement les quantités de matériaux produits et leur qualité, on est à même de mieux préparer les travaux de démolition et d'organiser la collecte sélective de manière optimale. Ce document devrait par conséquent reprendre l'ensemble des contaminants et des substances

dangereuses. Par ailleurs, dans le cadre du projet européen FCRBE, le CSTC met au point une méthodologie permettant d'inclure les matériaux et composants potentiellement réutilisables dans l'inventaire de démolition.

La collecte sélective en rénovation : un défi logistique

Comme les travaux de rénovation sont souvent réalisés en différentes phases au cours desquelles on remplace, on adapte ou on répare des éléments de construction bien déterminés, ils constituent une source intéressante de flux de déchets spécifiques (châssis ou tuiles, par exemple). Le défi consiste ici à **organiser la collecte logistique de ces flux et à la rendre économiquement viable**. Dans la pratique, cela nécessitera de mettre davantage l'accent sur les systèmes de collecte innovants, la logistique inverse et la collaboration avec les fournisseurs de matériaux et les fabricants. Le Brussels Construction Consolidation Centre (BCCC) expérimente cette problématique en combinant l'organisation logistique de l'approvisionnement en matériaux neufs avec la logistique inverse de l'enlèvement des déchets valorisables (voir figure 3).

Conclusion

On l'aura compris, les initiatives ne manquent pas dans le secteur pour améliorer le recyclage des déchets de construction et de démolition, même s'il demeure nécessaire d'intensifier les efforts pour en assurer la **viabilité économique**. Des actions spécifiques sont notamment attendues de la part de divers partenaires :

- le client final : est-il disposé à payer un supplément de prix ?
- les pouvoirs publics : peuvent-ils mettre en place des stimulants ou des règlements supplémentaires ?
- le secteur lui-même, qui devra faire émerger des innovations sur l'ensemble de la filière et de la chaîne de valeur. ◆

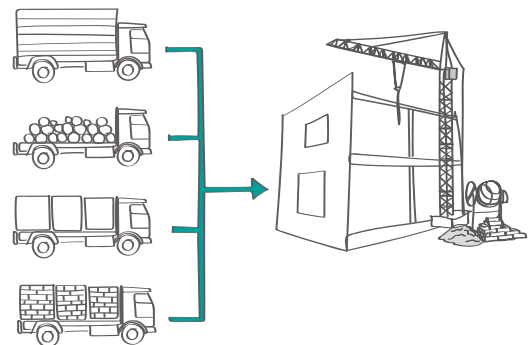
Vous êtes entrepreneur et vous souhaitez améliorer la gestion de vos déchets et en savoir plus sur les possibilités de collecte de certains flux ? Prenez contact avec le CSTC à l'adresse research@bbri.be ou via le formulaire ATA. Nous sommes à votre disposition pour vous accompagner dans cette démarche.

Solutions de recyclage

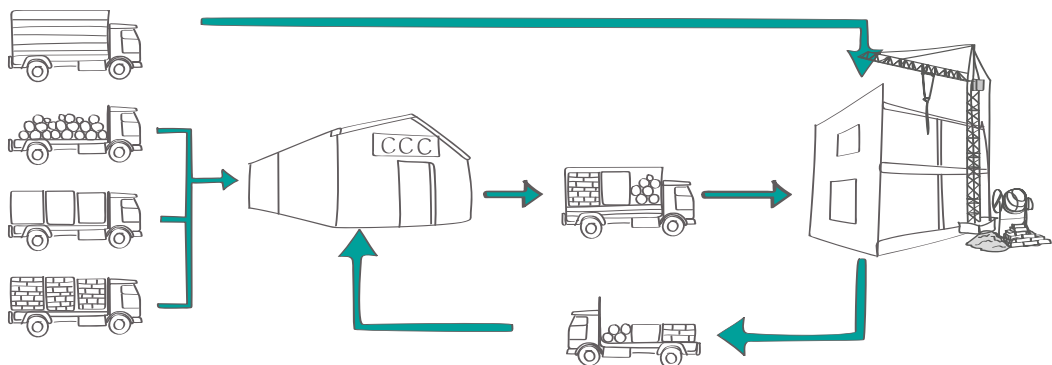
En scannant ce code QR, vous découvrirez un tableau livrant un aperçu des divers canaux de collecte ou méthodes d'enlèvement pour des flux de déchets spécifiques.



Approche traditionnelle



Approche du BCCC



- 3 | En haut : pratique traditionnelle de l'approvisionnement direct des divers matériaux de construction sur chantier.
En bas : approvisionnement et stockage préalables des matériaux au BCCC, puis transport groupé de tous les matériaux nécessaires vers le chantier et utilisation du même véhicule pour acheminer les flux de déchets vers le BCCC.

As a Service : un nouveau modèle d'entreprise circulaire

Alors que notre modèle de consommation et de vente actuel est principalement basé sur l'achat unique d'un produit par un utilisateur qui en devient propriétaire, de nouveaux modèles économiques développés récemment consistent à vendre la fonction ou l'utilisation d'un produit plutôt que le produit lui-même. Ces modèles appelés *as a Service* offrent de nombreuses opportunités pour le secteur de la construction.

P. D'Herdt, ir., chef du laboratoire 'Lumière' et coordinateur PEB, CSTC

A. Deneyer, ir., chef de la division 'Installations intelligentes et solutions durables', CSTC

As a Service au quotidien

Bien que les modèles *as a Service*, littéralement 'en tant que service', connaissent une forte croissance depuis quelques années seulement, leur principe est déjà largement appliqué au quotidien. Pour en donner un exemple, le consommateur ne possède pas de centrale électrique ou de réseau de distribution, mais il paie pour la production d'électricité ou pour l'utilisation du réseau. C'est ce qu'on appelle l'**Infrastructure as a Service ou IaaS**. Le *leasing* d'une voiture, certains types d'assurances ou l'utilisation d'un logiciel directement à partir du navigateur Internet sont également des exemples d'application de ce principe, mais à une échelle individuelle plus réduite.

Les modèles *as a Service* ont aussi fait leur apparition dans le monde de la construction. Cela concerne notamment les contrats de location, d'entretien et/ou de service pour les systèmes de chauffage ou de ventilation ou bien la location d'ascenseurs ou de dalles de tapis.

Light as a Service

Grâce au développement de capteurs intelligents, à la miniaturisation accrue de l'informatique et à la généralisation de l'accès à Internet, les possibilités offertes par le principe *as a Service* s'étendent rapidement, et de plus en plus de produits peuvent être proposés sous cette forme (**Products as a Service ou PaaS**). L'éclairage en est un exemple bien connu.

De nos jours, on choisit souvent des luminaires à LED comme solutions d'éclairage, car ils sont de plus en plus efficaces et qu'ils possèdent une longue durée de vie.

-  Visualisation des données
-  Données relatives au statut et à la consommation
-  Données provenant de capteurs
-  Données introduites manuellement
-  Réglage



Exemple du principe de fonctionnement d'un système de gestion du bâtiment.

Ils offrent par ailleurs de nombreuses possibilités en termes de réglage, et ce grâce aux récentes avancées dans le domaine de l'informatique (collecte de données, stockage dans le *cloud*, Internet des objets, ...). Il est possible, par exemple, de suivre les heures de fonctionnement ainsi que les performances pour intervenir si nécessaire et procéder à des ajustements en temps utile. Le fabricant peut ainsi garantir le bon fonctionnement de ses produits et proposer des services plutôt que des produits. Ce principe est également appelé *Light as a Service* ou *LaaS* : **le consommateur ne paie plus pour le luminaire lui-même, mais bien pour la lumière qu'il diffuse.**

Plusieurs modèles *LaaS* ont déjà été développés. Il existe des modèles selon lesquels l'utilisateur devient propriétaire des dispositifs d'éclairage après s'être acquitté durant un certain temps de ses factures d'électricité auprès du fournisseur d'énergie qui, à son tour, prend en charge les coûts d'installation et de suivi (tiers investisseur). Bien que ces modèles permettent de réaliser des économies d'énergie, leur contribution potentielle à l'économie circulaire est assez

limitée, car le traitement des déchets revient finalement au consommateur.

D'autres modèles permettent au fournisseur de rester propriétaire des luminaires et à l'utilisateur de ne payer que pour le service. Dans ce cas, le fournisseur doit garantir le fonctionnement optimal des équipements pendant une durée de vie aussi longue que possible et doit ensuite les réutiliser ou les éliminer comme il se doit. Ces modèles-ci permettent de contribuer de manière importante à l'économie circulaire.

Les accords clairs sont essentiels

Si les modèles *as a Service* offrent incontestablement de nombreuses opportunités au secteur de la construction, ils apportent – comme tout nouveau développement – leur lot de défis. Ainsi, le client devra être convaincu de leur valeur ajoutée et le professionnel voudra des garanties concernant ses revenus. Il est dès lors primordial de conclure des **accords clairs** et de fixer des **objectifs réalistes** concernant (voir figure) :

- les données qui feront l'objet d'un suivi
- la manière dont ces données seront traitées
- les alertes à prévoir
- les actions auxquelles renvoient ces alertes
- le délai dans lequel ces actions doivent être réalisées.

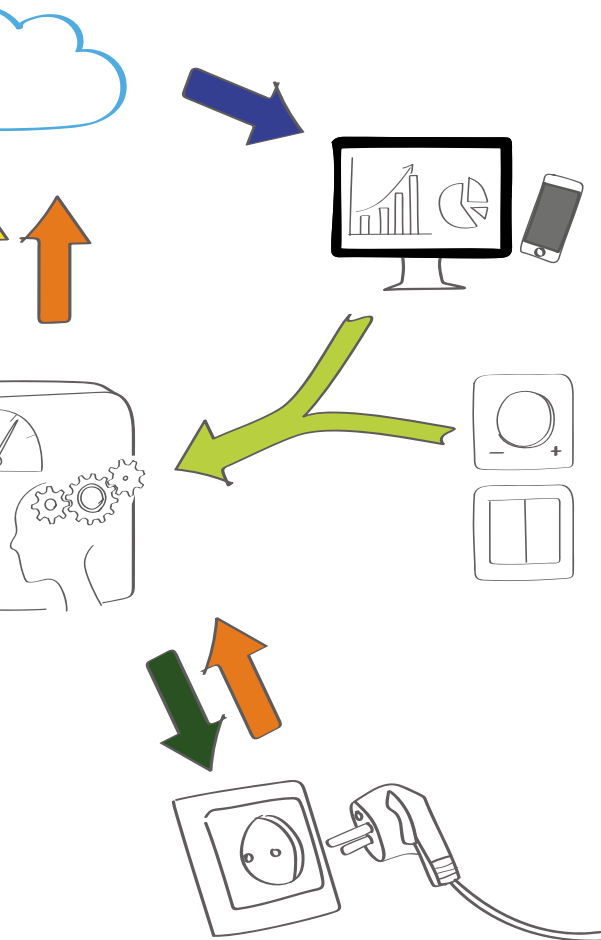
De plus, si le professionnel de la construction reste propriétaire du dispositif, il est recommandé de **définir clairement au préalable ce qu'il adviendra de ce dispositif lorsqu'il aura atteint la fin de sa durée de vie** : comment et par qui les matériaux doivent-ils être repris, éliminés ou – idéalement – réutilisés ?

Enfin, la mise en œuvre de ces modèles nécessite un certain investissement. Les **moyens financiers** requis peuvent toutefois constituer un obstacle pour les plus petites entreprises. Une solution éventuelle consiste à se joindre à des acteurs plus importants (en tant que placeur ou technicien sous-traitant, par exemple) et ainsi sécuriser et développer ses activités. Il est évidemment essentiel, ici aussi, de conclure des accords clairs dans les collaborations de ce type.

Conclusion

Le concept *as a Service* peut profiter à chacun pour autant qu'il soit amélioré par le retour d'expérience et que des accords clairs soient définis : le client profitera des avantages du produit et n'aura pas à se soucier du suivi ou de la gestion des déchets et le professionnel de la construction disposera d'une nouvelle source de revenus régulière.

En outre, comme le fonctionnement optimal des appareils est assuré en continu et que leur élimination en fin de vie est gérée de façon efficace, les modèles *as a Service* sont porteurs d'une multitude de potentialités dans le cadre de l'économie circulaire. 



Le numérique : un outil pour favoriser l'économie circulaire

Les nouvelles technologies liées à l'acquisition d'informations, à leur gestion, à leur stockage puis, éventuellement, à leur optimisation représentent une opportunité majeure, pour le secteur de la construction, d'améliorer la circularité des bâtiments tant par la précision et la fiabilité des informations récoltées que par l'amélioration des processus d'échange et de conception.

F. Denis, ir.-arch., conseiller, division 'Construction digitale', CSTC

J. Vrijders, ir., chef du laboratoire 'Solutions durables et circulaires', CSTC

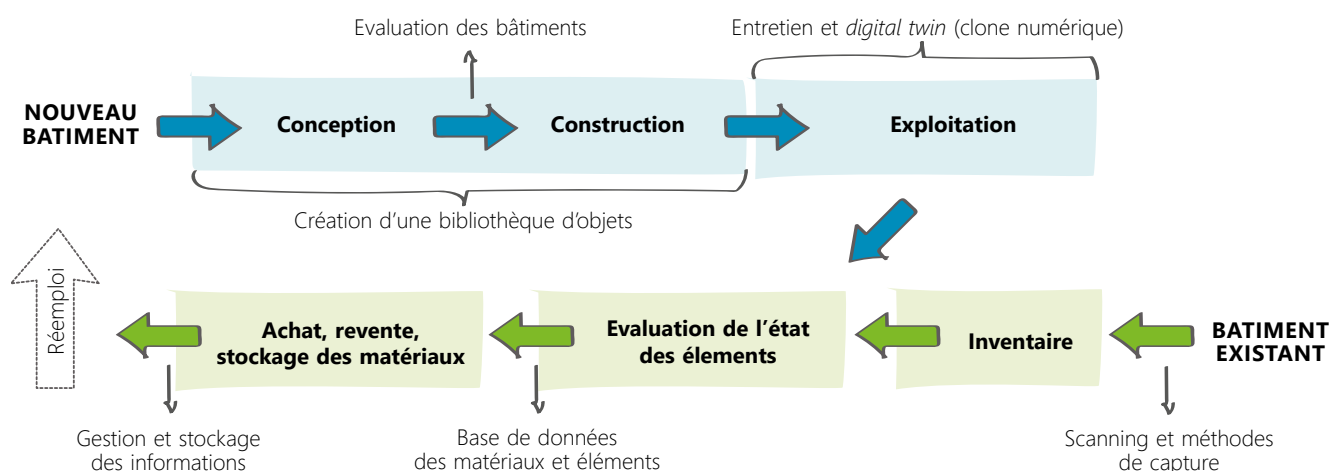
Lorsqu'on achète un élément neuf, ses caractéristiques techniques sont fournies par le fabricant. Dans le cas d'un produit de seconde main, il est plus rare de disposer de ce genre d'informations. Or, le développement d'outils numériques permet aujourd'hui de **faciliter l'acquisition, le stockage et la transmission des données concernant les matériaux**. Ces outils contribuent de cette manière à la transition vers une économie circulaire.

Cet article présente deux scénarios où les outils numériques contribuent déjà à cette transition :

- la conception d'un bâtiment neuf
- l'inventorisation d'un bâtiment existant.

1 Conception d'un bâtiment neuf

Lors de la conception d'un bâtiment neuf, il est possible de recourir au BIM. En effet, l'approche orientée objet du BIM, selon laquelle chaque élément présent dans le modèle est caractérisé par une liste de propriétés et de paramètres, permet d'intégrer, de conserver et de gérer les informations de chaque élément constructif. Bien que cette manière de procéder soit déjà bénéfique en soi pour le processus constructif, nous évaluerons dans les trois points suivants le potentiel généré par le stockage et la gestion de ces informations dans un objectif d'économie circulaire.



1 | Intégration du BIM dans les diverses étapes du processus de construction et de démolition.

1.1 Création des informations et bibliothèque d'objets

En début de projet, une sorte de **carte d'identité des éléments constructifs** peut être générée, afin de résumer leurs propriétés techniques et environnementales ainsi que leur historique. Ces données peuvent être utilisées pour accroître la confiance dans un produit et donc favoriser son réemploi. Elles peuvent également être suivies et analysées dans le but d'en apprendre davantage sur l'évolution des propriétés techniques d'éléments à long terme. Si ces derniers respectent certaines normes de qualité ou certains labels particuliers, il est également possible de l'indiquer.

Ainsi, le modèle BIM d'un nouveau bâtiment peut être vu comme un assemblage d'objets ayant chacun leurs propriétés et caractéristiques techniques.

1.2 Evaluation des bâtiments

Durant la conception, les informations liées aux objets sont exploitables pour effectuer des études et pour vérifier si les règles de bonnes pratiques ou les normes sont respectées. Le caractère démontable des objets susceptibles d'être remplacés peut être évalué facilement.

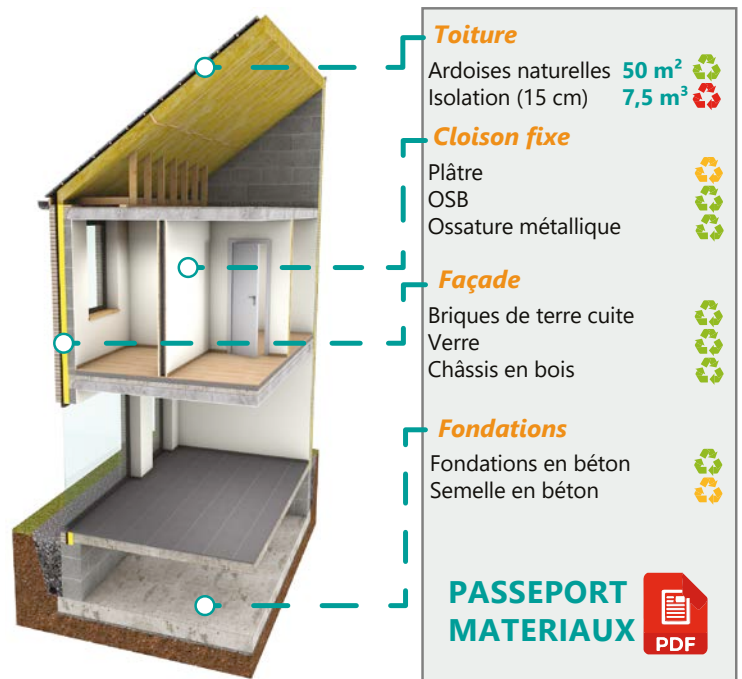
De manière similaire à une analyse de la performance énergétique d'un bâtiment (PEB), qui tient compte des propriétés physiques des matériaux et de la géométrie du bâtiment, il est tout à fait envisageable d'**évaluer l'impact environnemental de ce dernier à l'aide d'analyses du cycle de vie (ACV)** basées sur les propriétés des matériaux et la géométrie.

Enfin, à ce jour, l'évaluation de l'adaptabilité d'un bâtiment et de son potentiel de réemploi fait l'objet d'études complexes nécessitant l'intervention d'un expert. Cette évaluation pourrait être grandement facilitée par le développement et l'accessibilité d'outils recourant aux données des modèles BIM pour quantifier et qualifier, même de manière simplifiée, les impacts de l'adaptabilité du bâtiment. Tout comme pour les études énergétiques du bâtiment réalisées de nos jours, le concepteur aurait alors la possibilité de pondérer ses choix de manière à trouver un compromis entre le coût de construction, le potentiel de réutilisation et l'impact environnemental de sa conception et de ses choix de matériaux.

1.3 Entretien des bâtiments et digital twin

Toutes ces données générées en phase de conception sont stockées et mises à jour au fil des choix constructifs, mais aussi une fois le bâtiment construit. De cette façon, les informations attachées aux éléments évoluent elles aussi tout au long de l'évolution de l'ouvrage. C'est ce qu'on appelle le **digital twin** ou clone numérique.

Cette approche simplifie non seulement la construction, mais aussi l'entretien, la rénovation et le réemploi futur.



2 | Exemples d'informations que l'on retrouve habituellement dans le passeport des matériaux d'un bâtiment.

Ainsi, en phase de conception et de construction, le *digital twin* sert de prototype numérique au futur bâtiment. Il permet d'effectuer des simulations pour réaliser des choix constructifs et établir différents scénarios. Puis, une fois le bâtiment construit, ce clone continue d'évoluer :

- d'abord pour établir les dossiers *as-built*
- ensuite pour stocker les données relatives à l'utilisation du bâtiment et aux changements susceptibles d'intervenir lors de cette phase.

S'il est nécessaire de réparer ou de remplacer un élément à la suite d'un dégât particulier ou, simplement, d'une usure normale, il est possible de consulter les données stockées sur cet objet pour en connaître le fabricant et les propriétés techniques. Ceci peut faciliter son remplacement ou sa réutilisation si son état le permet.

De nos jours, les chercheurs et professionnels du secteur œuvrent pour définir plus concrètement le contenu de ces passeports 'objets' ou 'matériaux'. Il est en outre primordial de déterminer les données à conserver et la manière de les conserver (format de fichier, support physique ou non, ...), afin de s'assurer de leur pérennité en termes d'accès et de capacité à les consulter dans plusieurs dizaines d'années.

2 Inventorisation des bâtiments existants

Il convient également de s'intéresser à l'apport de ces technologies pour les bâtiments existants, qui constituent une part considérable du patrimoine construit.

2.1 Inventorisation

En général, les bâtiments existants ne disposent pas ou quasiment pas d'informations au format numérique. La première étape consiste donc à les inventorier et à les enregistrer.

Les techniques de numérisation de l'existant sont en pleine expansion. A l'heure actuelle, il est facile de retranscrire un bâtiment en trois dimensions de manière (semi-)automatique, en intérieur comme en extérieur. Les **nuages de points générés au moyen de scanners laser ou par photogrammétrie** constituent ainsi les données *as-built* brutes du modèle BIM. Malheureusement, si de telles données sont extrêmement précises et détaillées, elles ne sont pas organisées. En extraire l'information utile peut demander des efforts très importants.

Trois informations sont essentielles quand il s'agit d'organiser l'inventaire des matériaux d'un bâtiment existant :

- la nature des matériaux présents
- leur état
- leur quantité.

Des outils innovants, tels que le scanner 3D, existent pour extraire ces informations. D'autres sont, par exemple, dédiés à l'identification de formes géométriques simples au sein du nuage de points (voir figure ci-dessous). Ils facilitent dès lors le travail du dessinateur 3D et permettent d'estimer rapidement les quantités (longueur, surface et volumes).

A l'ère de l'intelligence artificielle, il est cependant permis d'aller plus loin. Les systèmes de scan 3D commencent à être complétés par des algorithmes avancés visant à rendre plus aisée l'**identification automatique des composants du bâtiment, de matériaux et même de pathologies**. Passer du scan 3D au modèle BIM, lors du processus dit

du *scan-to-BIM*, est alors bien moins fastidieuse, et donc plus aisée à intégrer en pratique.

2.2 Réutilisation des matériaux

Une fois ces données récoltées ou stockées, elles sont utilisables pour créer des **bibliothèques (numériques) de matériaux et d'éléments constructifs**. De manière similaire à la création d'une bibliothèque de matériaux pour un bâtiment neuf, elles peuvent faciliter l'éventuel remplacement ou l'entretien d'un élément.

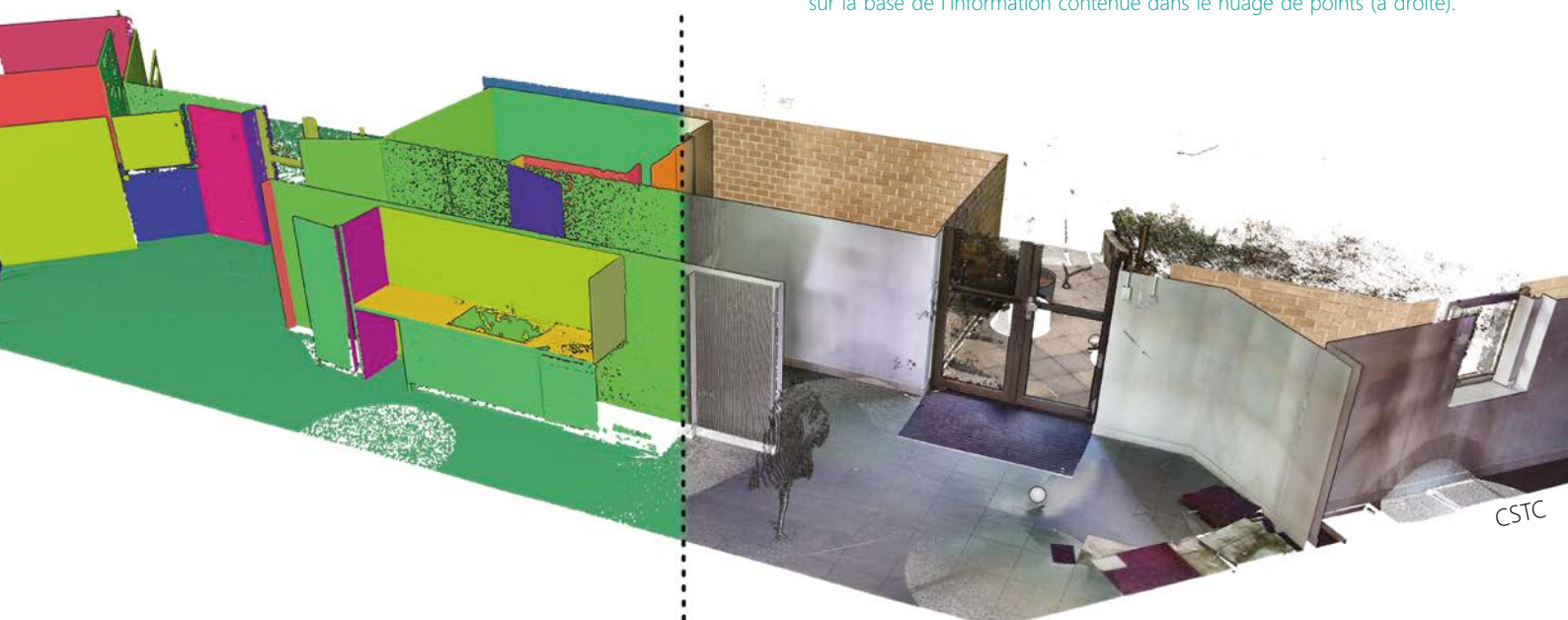
Cependant, à l'inverse d'un nouveau bâtiment, ce ne sont pas les informations génériques du fabricant qui sont utilisées. Dans certains cas, il est possible, voire nécessaire, d'utiliser la géométrie et les informations récoltées *in situ* durant l'inventaire pour qualifier les objets (voir article p. 23).

2.3 Gestion des informations

Ces données peuvent servir à documenter les objets pour suivre leur évolution au fil du temps, mais également être mises à disposition sur des plateformes Internet, afin de simplifier l'achat et la vente de matériaux et d'éléments de réemploi. Chaque élément constructif dispose donc d'un historique pouvant être consulté sur une plateforme d'achat similaire aux sites de commerce grand public.

Les bâtiments existants permettent dès lors d'**alimenter progressivement** les bases de données et les bibliothèques de matériaux au fil des rénovations (au même titre que les bâtiments neufs). Les principaux points auxquels il convient de prêter attention, pour le neuf comme pour l'ancien, restent l'intégrité et la qualité des informations. 

3 | Détection automatique de la taille, de la position et de la composition des différents éléments de construction (à gauche) sur la base de l'information contenue dans le nuage de points (à droite).



Projets

Le CSTC mène actuellement plusieurs projets en lien avec l'économie circulaire dans la construction. Citons notamment :

- les **Antennes Normes** Béton-mortier-granulats, Eclairage, Energie et le climat intérieur, ... (SPF Economie)
- **BBSM** – Le bâti bruxellois : source de nouveaux matériaux (FEDER)
- **BCCC** – *Brussels Construction Consolidation Centre* (Innoviris)
- **B-LCA** – Cadre méthodologique pour la réalisation de LCA dans la construction (SPF Economie)
- **CBCI** – *Circular Biobased Construction Industry* (Interreg 2Seas)
- **Chantiers pilotes de gestion innovante des déchets de construction** (Bruxelles Environnement)
- **Circulaire School voor de Toekomst** (Vlaanderen Circulair)
- **Circular.Concrete** (SIM & VLAIO)
- **C-Tech** – Guidance Technologique Construction Durable à Bruxelles (Innoviris)
- **Digital Deconstruction** – *Advanced Digital Solutions Supporting Reuse and High-Quality Recycling of Building Materials* (InterregNWE)
- **Dossiers CQuality**, comme Retrofit-Fenêtres et S-CLT (SPW)
- **FCRBE** – *Facilitating the Circulation of Reused Building Elements in North-West Europe* (InterregNWE)
- **Label Circulair Gebouw** (Vlaanderen Circulair)
- **Material World** (TETRA-VLAIO)
- **Proeftuin Circulair Bouwen** (Vlaanderen Circulair & OVAM)

AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen



Interreg
North-West Europe



innoviris.brussels
empowering research

Fonds Européen
de Développement
Régional

FEDER
ERDF

European Regional
Development
Fund



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 e-mail (publ@bbri.be).

Formations

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



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

Editeur responsable : Olivier Vandooren, CSTC, rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles

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

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

www.cstc.be

Révision linguistique et mise en pages :
J. Beauclercq et J. D'Heygere
Traduction : J. D'Heygere, M. Lejeune et A. Volant
Illustrations : R. Hermans, D. Rousseau et Q. van Grieken



Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 95.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 55 ans le centre de référence en matière scientifique et technique, contribuant directement à l'amélioration de la qualité et de la productivité.

Recherche et innovation

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

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

Développement, normalisation, certification et agréation

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

Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

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

La formation et l'assistance technique personnalisée contribuent au devoir d'information. Aux côtés de quelque 750 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 18.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

Siège social

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

Bureaux

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

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

Station expérimentale

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

- recherche et innovation
- formation
- bibliothèque

Brussels Greenbizz

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