



En Belgique, le secteur de la construction produit annuellement plus de 15 millions de tonnes de déchets. Bien que la majeure partie soit recyclée, de nombreux défis restent à relever. D'une part, ce recyclage est réalisé principalement dans des applications de moindre valeur (sous-cyclage, ou *downcycling*) et, d'autre part, de plus en plus de déchets non pierreux sont produits sans qu'il existe encore de solution de valorisation.

L'économie circulaire : bien plus que du recyclage !

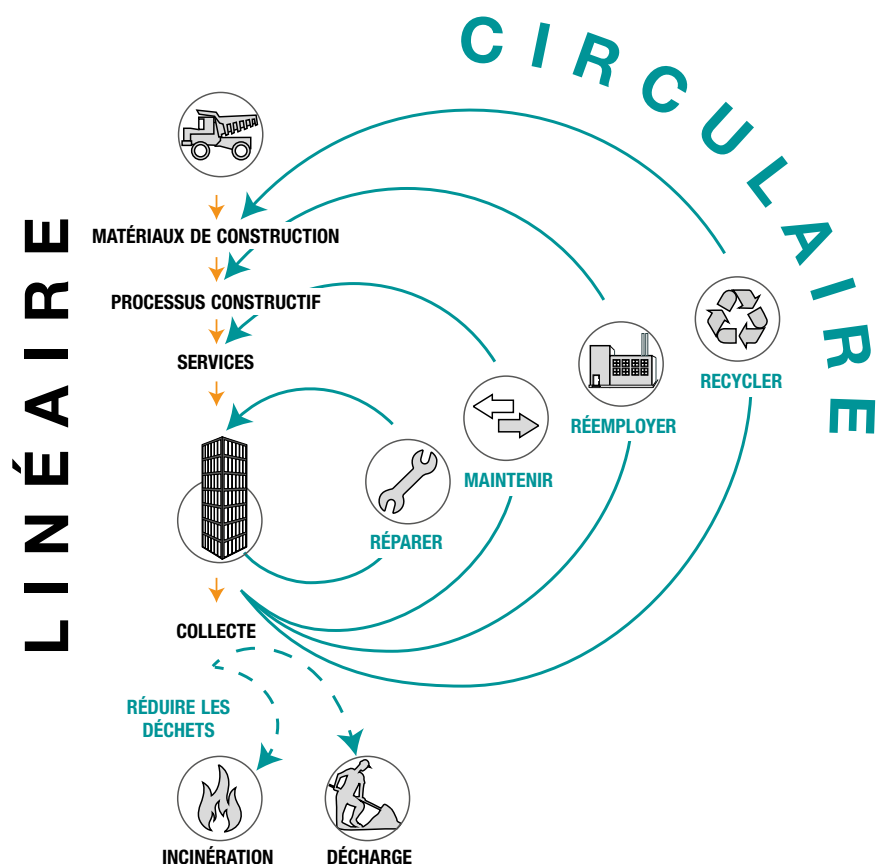
1 Introduction à l'économie circulaire

1.1 Qu'est-ce que l'économie circulaire ?

L'économie traditionnelle (dite linéaire) consiste à extraire du sol les matières premières et à fabriquer des produits pour être utilisés par un consommateur qui s'en débarrassera en fin de vie. Contrairement à ce modèle, l'économie circulaire est un système économique dans lequel les ressources et produits sont conservés en usage aussi longtemps que possible.

En pratique, l'économie circulaire réduit la production de déchets grâce à la réparation, à la maintenance, au réemploi des produits et au recyclage des matériaux (voir figure 1).

Cette démarche ne consiste pas uniquement à trouver des solutions techniques permettant de 'boucler la boucle'; elle nécessite également une réflexion quant à la conception et à la manière dont sont assemblés les éléments construits dont on souhaite prolonger et optimiser la durée de vie. En parallèle,



1 | Principe de l'économie circulaire dans la chaîne de valeur de la construction (adapté d'un graphique publié par le World Economic Forum (1)).

(1) <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/can-the-circular-economy-transform-the-world-s-number-one-consumer-of-raw-materials/>

de nouveaux modèles économiques (*Business Models*) sont développés afin de supporter ces approches.

S'engager dans une économie circulaire peut offrir de nombreux avantages, dont une diminution de la pression sur l'environnement, une amélioration de la sécurité d'approvisionnement des matières au niveau local, le développement de solutions innovantes et la création d'emplois non délocalisables.

1.2 L'économie circulaire peut-elle transformer la construction ?

Le secteur de la construction est un secteur économique essentiel. Toutefois, il est aussi l'un des plus grands consommateurs de ressources matérielles et énergétiques ainsi que l'un des plus grands producteurs de déchets et émetteurs de gaz à effet de serre. En Europe, on estime que la moitié des ressources naturelles extraites se retrouvent dans les bâtiments.

Dès lors, l'économie circulaire s'accompagne de multiples opportunités et défis au niveau de la réalisation des bâtiments et de l'utilisation des ouvrages existants, et ce afin que le secteur s'engage dans une économie plus durable et plus efficace.

Les principes de l'économie circulaire dans la construction peuvent être classés en trois thématiques (voir figure 2) :

- conception et construction de bâtiments dont les matériaux peuvent être récupérés en fin de vie : réaliser des bâtiments qui portent en eux les principes de circularité et de longue

durée de vie en se focalisant sur l'adaptabilité de la construction, sur le choix des matériaux et des assemblages ainsi que sur la réduction de production des déchets

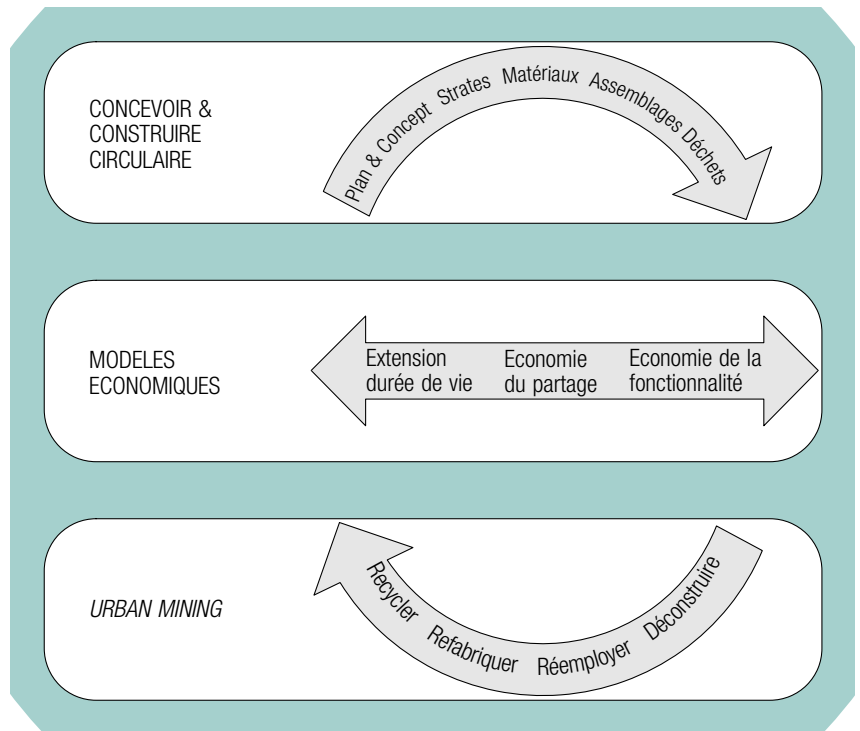
- utilisation des ressources matérielles disponibles dans les bâtiments existants (*urban mining*) : encourager l'inventorisation des éléments présents dans les ouvrages existants et permettre leur déconstruction ⁽²⁾ en vue d'un meilleur recyclage ⁽³⁾ ou d'un réemploi ⁽⁴⁾
- développement de nouveaux modèles économiques visant à créer de la valeur ajoutée pendant tout le cycle de vie des bâtiments et des matériaux (extension de la durée de vie,

économie du partage et économie de la fonctionnalité, p. ex.).

Le présent article décrit chacune des trois thématiques par le biais d'exemples et d'illustrations des évolutions et innovations attendues ou en cours dans le secteur.

2 Concevoir et construire 'circulaire'

La réalisation de nouveaux bâtiments nécessite d'intégrer dès le départ la question de leur évolution et de celle de leurs composants pendant et en fin de vie. Différents principes de conception peuvent être appliqués.



2 | Proposition de définition de l'économie circulaire dans la construction selon trois axes.

⁽²⁾ Contrairement au démantèlement réalisé en raison de contraintes techniques ou sécuritaires, la déconstruction est un démantèlement soigneux et sélectif d'éléments en vue d'une valorisation environnementale optimale.

⁽³⁾ Le recyclage est le retraitement de la matière contenue dans les déchets dans un processus de production de matières premières secondaires, aux mêmes fins qu'à l'origine (si conservation de la qualité originelle) ou à d'autres fins.

⁽⁴⁾ Le réemploi désigne toute opération par laquelle des produits sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.



2.1 L'adaptabilité dans le temps

Les bâtiments devraient être conçus et construits pour être utilisés plus longtemps en s'assurant qu'ils puissent être convertis à d'autres usages ou fonctions ainsi qu'à l'évolution des besoins de leurs occupants. En d'autres termes, il convient de prendre en compte plus de flexibilité dans le plan de base du bâtiment.

L'exemple représenté à la figure 3 présente plusieurs principes de flexibilité des bâtiments prévus dès la phase de conception : changement d'affectation (bureaux en logements), supports de terrasses en attente, sanitaires ou locaux de services en cas d'affectation en logement, surdimensionnement en cœur d'immeuble en vue de supporter un étage supplémentaire, grande hauteur sous plafond (3,3 m), ...

2.2 Construire en couches indépendantes

Les éléments constituant les couches bâties (structure, enveloppe, aménagement spatial, systèmes) ont des durées de vie, techniques ou économiques, différentes (voir figure 4, p. 4) : par

exemple, la durée de vie des éléments de l'aménagement spatial est estimée entre 10 et 20 ans, celle des éléments structurels à 30 ans minimum, ... Concevoir les bâtiments comme un assemblage de ces différentes composantes et construire en couches indépendantes les unes des autres permettront d'intervenir sur certains éléments sans toucher à d'autres. Par exemple, les cloisons intérieures ne devraient pas être ancrées ou intégrées dans la structure portante, de manière à ne pas toucher à cette dernière lors de possibles réaménagements de l'espace.

2.3 Sélectionner les matériaux

Il est évident que les critères techniques, environnementaux ou esthétiques doivent être pris en compte lors du choix des matériaux. Dans l'optique de circularité des matériaux, la question de leur devenir en fin de vie s'ajoute aux autres critères. En pratique, ceci revient :

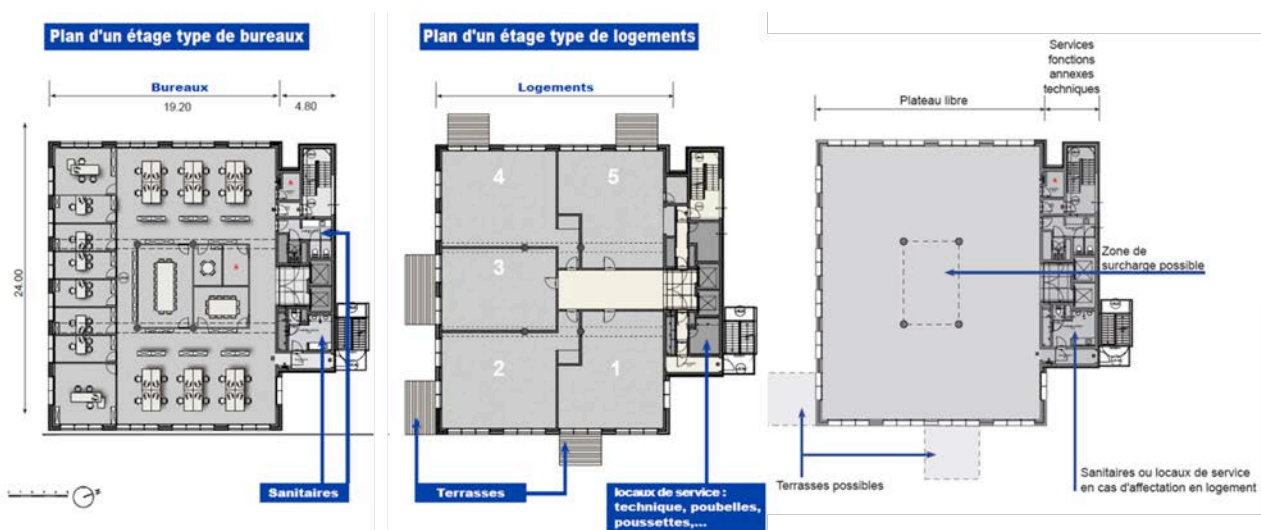
- à mettre en œuvre et à concevoir des éléments de construction plus efficaces et plus performants qui permettent d'économiser les matières utilisées. Un exemple à ce sujet pourrait être l'emploi de béton à ultra hautes performances (BUHP) qui nécessite

une quantité moindre de matière en raison des résistances beaucoup plus élevées atteintes. La question du surcoût de ces procédés se pose toutefois avec une acuité particulière

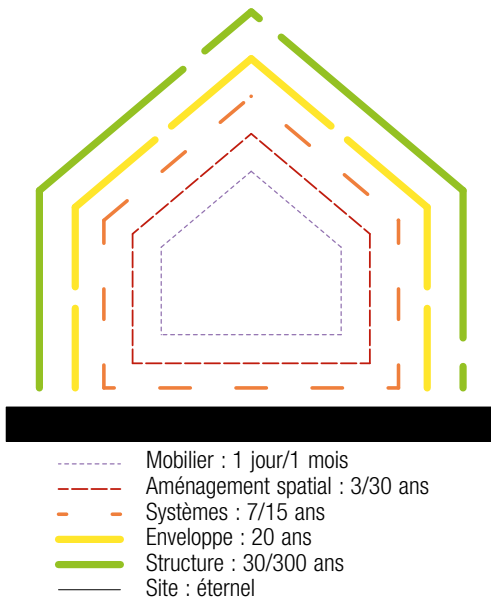
- à utiliser des matériaux dont les composants sont recyclables ou réutilisables. Par exemple, les plaques de plâtre sont entièrement recyclables de nos jours (si la collecte est réalisée soigneusement). Pour certaines applications, des matériaux neufs peuvent être remplacés par d'autres constitués d'un certain pourcentage de matières recyclées et présentant les mêmes caractéristiques qu'un matériau neuf équivalent (béton avec des granulats recyclés, p. ex.)
- à choisir les matériaux de manière à ce qu'ils s'accordent avec la durée de vie estimée de la couche à laquelle ils participent et qu'ils soient assemblés avec des matériaux dont la durée de vie est similaire.

2.4 Prévoir des assemblages réversibles

La récupération des éléments construits sans les endommager n'est possible que si les moyens d'assemblage utilisés sont accessibles et réversibles (vis ou clips,



3 | Concevoir pour l'adaptabilité (pas construit) (source : Art & Build - projet Van Volxem, Bruxelles).



4 | Construire en strates (années relatives).

p. ex.). Ces moyens d'assemblage permettent aux éléments d'être réemployés en fin de vie.

Ces assemblages réversibles peuvent éventuellement prendre la forme d'un kit 'Meccano' rendant le système adaptable, transformable, démontable et réutilisable, et pouvant s'appliquer à toutes les couches du bâtiment. Le défi consiste toutefois à utiliser ces assemblages tout en rencontrant les exigences de performances des bâtiments (étanchéité à l'air, performance acoustique, ...) sans trop augmenter le surcoût.

2.5 Minimiser les déchets

Il est préférable de s'abstenir de générer des déchets, tant lors de la production que lors de la mise en œuvre des produits sur chantier. On évite ainsi la surproduction, les surstocks, les transports inefficaces, le travail redondant, les temps d'attente, les défauts et les rejets de produits, et les mauvaises exécutions.

2.6 Évolutions et innovations

Plusieurs innovations ou évolutions, en rapport avec ces principes de conception et de construction 'circulaires', sont en cours de développement :

- la standardisation et l'universalité des systèmes adaptables et modulaires des produits et des processus de construction visant à réduire la production de déchets devrait se poursuivre
- les outils BIM (*Building Information Model*) permettent notamment d'associer des informations à chaque élément construit et d'en conserver la mise à jour tout au long de la durée de vie du bâtiment. L'utilisation du BIM offre également la possibilité de visualiser la présence de conflits conceptuels permettant d'éviter de mauvaises réalisations et donc de produire des déchets
- le 'passport matériaux' associe à chaque matériau un document (physique ou virtuel) regroupant toutes les informations utiles (composition, localisation, propriétés hygrothermiques, impact environnemental, mise à jour, renouvellement, changement d'affectation, potentiel de réemploi, recyclage, incinération ou mise en décharge, ...). Il doit être mis à jour tout au long du cycle de vie de l'élément en question. Le recueil, la vérification, l'encodage, le traitement et le maintien à jour des informations pertinentes pour considérer les bâtiments comme des banques de matériaux sont autant de défis du 'passport matériaux'
- l'écoconception des produits et des matériaux devrait considérer le devenir de ceux-ci en fin de vie et permettre de fermer la boucle des matériaux : mise en place d'une collecte de récupération, utilisation des déchets comme matière première secondaire, production locale de matériaux, traçage chimique des produits, amélioration de l'efficacité et de la performance des matériaux en diminuant la quantité de matières utilisées, matériaux autonettoyants ou

autoréparants sont autant de pistes d'innovation pour la production de matériaux 'circulaires'

- l'impression 3D peut être envisagée pour la production d'éléments sur mesure qui ne pourraient être produits ailleurs.

3 Urban mining : valoriser les ressources des bâtiments existants

L'économie circulaire considère les bâtiments existants comme des mines urbaines de matériaux et les déchets comme des ressources. Récupérer des matériaux dans les bâtiments existants permet notamment de diminuer l'extraction des ressources naturelles. Différentes actions peuvent être envisagées afin d'exploiter nos bâtiments existants ou futurs dans ce sens et de les considérer comme de véritables banques de matériaux.

3.1 Inventaire des matériaux

La première étape consiste à rassembler des informations sur les éléments construits et les matériaux mis en œuvre :

- pour les bâtiments existants, la réalisation d'un inventaire 'prédémolition' ou 'rénovation' permet de quantifier et d'évaluer le potentiel de valorisation des éléments présents dans le bâtiment. Cet inventaire se compose d'un relevé détaillé des éléments (matériau, quantités, dimensions, filière de traitement possible, ...) et peut servir pour la planification et l'optimisation des étapes de déconstruction ou de démolition. Il permet également d'identifier les éléments dangereux en vue d'une évacuation adéquate (9)
- pour les nouvelles constructions, des informations utiles (techniques, environnementales, d'entretien, de traitement en fin de vie, ...) sur les matériaux et composants doivent être collectées et disponibles dès la

(9) Voir article 'Inventaire des agents contaminants dans les bâtiments à démolir', Les Dossiers du CSTC 2007/1.1.



phase de conception et rester accessibles durant toute la durée de vie du bâtiment.

Un troisième niveau consiste à répertorier les matériaux et ressources disponibles au niveau d'une ville ou d'une région. Cette extrapolation liée à l'inventorisation offre l'avantage d'avoir une vision des flux de matières à venir et donc d'envisager les innovations techniques, environnementales et économiques pour le traitement futur de ces flux.

3.2 Déconstruction et réemploi

Afin de pouvoir disposer de matériaux en fin de vie et d'encourager leur réintroduction dans un nouveau cycle de vie, il est essentiel d'agir à la source par la déconstruction sélective des éléments de construction. La déconstruction en vue du réemploi est un objectif qui doit être mesuré selon des critères techniques, économiques et variables énumérés au tableau A.

La déconstruction en vue du réemploi est déjà appliquée dans la pratique et nécessite plusieurs étapes, comme le montre l'exemple de la figure 5 : inventorisation des éléments potentiellement réemployables, déconstruction sélective des éléments, préparation au réemploi (empaquetage, transport, nettoyage, documentation, emballage) et vente des éléments déconstruits.

3.3 Recyclage

La déconstruction sélective encourage un meilleur tri sur chantier et la création de flux de matières plus homogènes permettant une contamination moindre d'autres fractions. Ces matières seront plus facilement recyclées.

Si la plus grande partie des matériaux, c'est-à-dire les inertes, sont majoritairement recyclés, deux axes particuliers du recyclage méritent encore une attention particulière :

- le recyclage de 'plus petites' fractions ou des flux à enjeux pour lesquels les filières sont soit améliorables, soit

encore inexistantes. Il s'agit principalement de fractions présentant de grands volumes et de faibles valeurs (les isolants synthétiques, p. ex.) ou étant composites ou collés à d'autres. Ces flux présentent un volume élevé à traiter. Par ailleurs, la viabilité d'un modèle de recyclage dépendra, pour certaines matières, notamment des coûts d'approvisionnement en matières premières et des coûts de traitement (transport, tri, ...)

- le recyclage en boucle fermée des matériaux vise à réintroduire les matières premières secondaires issues du processus de recyclage dans la production de matériaux identiques. Pour



5 | Déconstruction sélective et préparation au réemploi (source : Rotor, CFE Brabant & CSTC).

A | Critères de potentiel de réemploi des éléments (source : CSTC, d'après Rotor).

Critères économiques	Critères techniques	Autres critères
Comparer à la valeur d'un matériau neuf équivalent la valeur du matériau et les investissements nécessaires pour son réemploi (démontage, emballage, transport, stockage, ...).	<ul style="list-style-type: none"> • toxicité des éléments • conservation des propriétés mécaniques • conservation des propriétés esthétiques • capacité à être manipulé, transporté et stocké • facilité à être remis en œuvre • facilité à être démonté. 	<ul style="list-style-type: none"> • récurrence des éléments • changements normatifs (obsolescence technique) • valeur inattendue (antiquités architecturales).

la plus grande fraction de déchets de construction et de démolition (C&D), c'est-à-dire, le béton, on tente de plus en plus d'utiliser des granulats issus du concassage du béton dans de nouveaux bétons.

3.4 Évolutions et innovations

Différents outils et stratégies permettant de valoriser le stock bâti sont en cours de développement ou mériteraient d'être développés :

- l'identification des contaminants dans le bâtiment est une étape essentielle et préalable à la déconstruction. Le développement et la manipulation de techniques de numérisation particulières concernant notamment l'amiante, les bois imprégnés ou les types de plastique permettront d'identifier plus rapidement les risques environnementaux et sanitaires
- actuellement, le réemploi représente une faible part dans la valorisation (notamment certains matériaux de valeur sûre du patrimoine bâti typique : pierre bleue, les dalles de carrelage en céramique, les briques, les pavés, ...). De nombreux défis sont à relever : assurer la garantie des performances des éléments voués au réemploi, faire concorder l'offre et la demande, étendre la capacité de stockage des éléments déconstruits, ...

4 Modèles économiques

Parallèlement à l'application de ces principes de conception des bâtiments et de valorisation des flux de déchets, de nouveaux modèles économiques apparaissent. Ils sont liés à de nouvelles demandes des consommateurs, offres des producteurs et nouvelles formes de propriété. Ces nouveaux modèles économiques permettent au secteur de limiter sa demande en matières premières tout en réalisant des économies, en réduisant son exposition à la volatilité des prix des ressources, en créant de nouvelles industries locales, des emplois non délocalisables et de la valeur ajoutée.

On peut classer ces modèles économiques en trois groupes : économie de la fonctionnalité, économie liée au prolongement de la durée de vie et économie du partage.

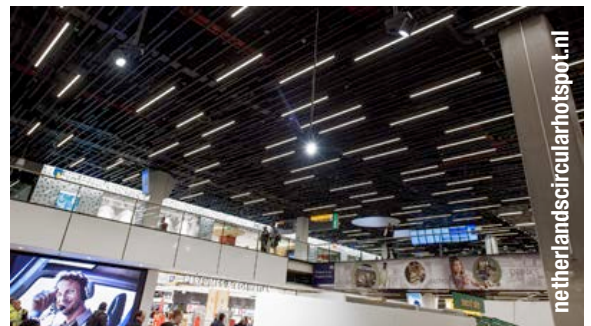
4.1 Économie de la fonctionnalité

L'économie de la fonctionnalité concerne des solutions combinant des produits et des services. Ce modèle repose sur la performance plutôt que sur le produit et permet de créer de nouvelles relations à long terme avec les clients ainsi qu'une plus-value liée à l'usage du produit plutôt qu'à la vente de l'élément.

Le producteur reste responsable de la

maintenance, de la réparation et de la gestion de son produit durant tout son cycle de vie; il a donc intérêt à prévoir une durée de vie adéquate et à rendre ses produits plus robustes et plus facilement démontables pour en faciliter la réparation. L'utilisateur/consommateur ne paie plus pour posséder le produit, mais bien pour son utilisation : il n'est plus propriétaire d'éléments de construction, mais il les loue au fabricant par le biais de contrats de service à long terme.

Le 'paiement au lux' (*pay per lux*) est le fruit d'une collaboration entre un architecte et un producteur de luminaires cherchant à vendre la lumière comme un service. Les consommateurs paient selon la performance (l'éclairage fourni, mesuré en lux) plutôt qu'en fonction des objets déterminés que sont l'ampoule ou la lampe. Ce solution de 'paiement au lux' permet de réaliser d'importantes économies énergétiques et financières pour les clients puisqu'ils ne paient plus que pour la quantité de lumière réellement consommée. Le producteur conserve le contrôle sur les articles qu'il produit, permettant un meilleur entretien, un reconditionnement et une récupération. Il y a donc pour le producteur une incitation financière à fournir le service le plus écoénergétique possible. Quant au client, il a non seulement l'avantage de ne pas avoir à payer d'avance, mais également l'assurance d'un contrat à prix fixe pour toute la période convenue.



6 | Paiement au lux : économie de la fonctionnalité pour l'éclairage.



4.2 Prolongement de la durée de vie

Le prolongement de la durée de vie est un modèle économique selon lequel une entreprise (souvent un producteur de matériaux) met en place une boucle de collecte et de remise en état (généralement par recyclage) des produits qu'elle a vendus ou des déchets résultant de la mise en œuvre de ces produits afin de les réintroduire dans le cycle de production.

L'entreprise réduit ainsi sa dépendance envers la fluctuation des prix des matières premières. Certaines matières peuvent en quelque sorte être vendues plusieurs fois (en tout ou en partie), augmentant ainsi le chiffre d'affaires de l'entreprise. Lorsque des produits sont remis en état, cette dernière acquiert des informations sur leur durabilité et leur fiabilité pouvant être utilisées pour concevoir de nouveaux produits.

Soumise à la fluctuation des prix des matières premières, une entreprise de production de matériaux d'étanchéité bitumineuse a par exemple développé une politique de recyclage en boucle des membranes bitumineuses et a mis en place une boucle de collecte des chutes de matériaux et des déchets de rénovation d'étanchéité de toitures existantes (voir figure 7).

4.3 Économie du partage

L'économie du partage vise à créer des partenariats et des collaborations pour la mutualisation des biens et des services. Elle se distingue par ses trois piliers :

- création de plateformes (physiques ou virtuelles) de partage d'accès à des ressources, des compétences, des moyens ou des informations
- logiques alternatives de propriété et d'accès aux produits
- formes collaboratives de consommation.

La symbiose industrielle et l'économie collaborative sont deux axes de l'économie du partage. Dans le premier cas, une entreprise peut établir des partenariats pour substituer une partie ou l'ensemble de ses matières premières issues de l'exploitation des ressources par des déchets industriels provenant d'une entreprise partenaire. Le modèle de l'économie collaborative, qui encourage le partage des compétences et/ou des moyens techniques et financiers, se base sur le développement d'une dynamique entre différents acteurs afin de concevoir et produire de nouveaux biens et services et de permettre une optimisation du taux d'utilisation des équipements.

Par exemple, une entreprise de production de plâtre (entreprise A) de la région liégeoise a établi une symbiose indus-

trielle avec une entreprise productrice de déchets contenant du gypse (entreprise B) pour la fabrication de son plâtre. L'entreprise B fournit à l'entreprise A le phosphogypse nécessaire à la fabrication du plâtre. Les matières premières primaires sont acheminées par bande transporteuse au-dessus de la Meuse sans moyens de transport lourds.

4.4 Évolutions et innovations

Malgré l'émergence de ces modèles économiques, il convient de poursuivre les développements dans la construction :

- la transposition du principe de la fonctionnalité appliqué à la construction n'est pas toujours chose aisée. Les longues durées de vie des matériaux de construction et leur valeur économique intrinsèque relativement faible rendent difficiles les prévisions des entreprises pour leur récupération. Certains éléments du bâtiment, notamment au niveau des techniques spéciales et des équipements (installations de chauffage, p. ex.), pourraient être plus facilement adaptables et être présentés par les fabricants comme des services et donc loués plutôt que vendus aux clients
- le développement de ces modèles économiques pose la question de la propriété des éléments de construction compte tenu du fait que l'utilisa-



7 | Etanchéité bitumineuse : prolongement de la durée de vie.



Innovation Paper

Un *Innovation Paper* (voir *Guidance technologique 'Eco-construction'* sur notre site www.cstc.be) présente les évolutions, les innovations, les bons exemples et les perspectives de l'économie circulaire dans le secteur de la construction.

teur peut changer et que l'entreprise peut évoluer, voire disparaître, ce qui nécessite la mise en œuvre généralisée d'une structure d'accès à la propriété. Le modèle traditionnel pour l'entrepreneur consistant à 'construire' ou à 'concevoir-construire' pourrait évoluer vers un modèle 'concevoir-construire-opérer'

- la conception d'un bâtiment devrait être optimisée selon les principes du

coût du cycle de vie (LCC pour *Life Cycle Costs*), non seulement sur la base des coûts de construction, mais également en y ajoutant l'estimation des frais de maintenance durant sa durée de vie et, dans une logique d'économie circulaire, l'estimation des coûts de démolition ou de déconstruction

- le recyclage en boucle : des entreprises développent des partenariats, souvent avec des sociétés spécialisées dans la collecte de déchets, pour mutualiser des compétences (en gestion des déchets ou en logistique inverse, p. ex.) ou des moyens (financiers ou matériels).

5 Conclusions

L'économie circulaire considère qu'un bâtiment n'est pas une structure permanente, mais amène à penser qu'il est une compilation temporaire de matériaux pouvant être un jour valorisés dans d'autres ouvrages selon des modèles d'échanges particuliers.

La transition du secteur de la construction vers un modèle circulaire sera gouvernée tant par la volonté des acteurs à

évoluer et à se différencier que par des facteurs externes tels que les aspects politiques, sociétaux, légaux et environnementaux.

Certaines évolutions se développent rapidement et redéfinissent déjà de nombreux marchés : le partage de l'espace résidentiel, de nouvelles techniques de recyclage, ... D'autres évoluent plus lentement comme la modularité ou le recyclage en boucle. D'autres encore sont en réflexion comme l'assurance de la qualité des éléments pour le réemploi, la définition des responsabilités de propriété, ...

Certains concepteurs, entrepreneurs et producteurs ont pourtant déjà mis sur les opportunités réelles de l'économie circulaire et se sont différenciés sur le marché pour prospérer dans cette nouvelle économie de la construction. |

*A. Romnée, ir, chef de projet
et J. Vrijders, ir, chef adjoint de laboratoire,
laboratoire développement durable, CSTC*

Projets en cours

Le CSTC mène plusieurs recherches liées à l'économie circulaire :

- **Déchets de construction Bruxelles** : Chantiers pilotes pour la gestion des déchets de construction à Bruxelles
- **RecyBéton 1 & 2** : Utilisation de granulats recyclés dans le béton prêt à l'emploi
- **BBSM** : Le bâti bruxellois : source de nouveaux matériaux
- **CIMEDE 2** : Constructions industrielles de maisons évolutives durables et économiques
- **Sand2Sand** : Applications de qualité supérieure pour les sables recyclés dans le béton
- **OVERS©HOT** : Optimisation du bois de démolition pollué (chimiquement).

Pour de plus amples informations : www.cstc.be/go/projects.