

URA DIALOGUES

#4

11 04 2024 — 8h30 à 13h

TABLES RONDES DE L'APRÈS-MIDI SUR INVITATION

PASSEPORT MATÉRIAU

Quelles données à intégrer pour en faire un réel support au réemploi? fr

WWW.URA.ULIEGE.BE

41, BOULEVARD DE LA CONSTITUTION / 4020 - LIÈGE — AUDITOIRE CH. VANDENHOVE (A2)
ENTRÉE GRATUITE ET OUVERTE À TOUS · TES SUR INSCRIPTION EN LIGNE



FACULTÉ D'ARCHITECTURE

RECHERCHE
URA

LIÈGE université
Architecture

Titre du rapport

« Passeport Matériau. Quelles données à intégrer pour en faire un réel support au réemploi ? »

Date de publication

Juin 2024

Autrices du rapport

A. Halbach (URA, FA, ULiège) et S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)

Page web du séminaire

https://www.ura.uliege.be/cms/c_11480561/fr/passeport-materiau-queelles-donnees-a-integrer-pour-en-faire-un-reel-support-au-reemploi-fr?id=c_11480561



© Nathalie Delmelle

OBJET DU SÉMINAIRE

Ce quatrième séminaire (en français) du cycle Dialogues URA 2023–24 aborde des questions thématiques et épistémologiques. Il questionne le rôle du « Passeport Matériau » et la manière dont il pourrait représenter un levier d'action concret pour promouvoir la réutilisation des matériaux de construction.

Ce séminaire a pour objectif d'établir les premières étapes d'une réflexion plus vaste sur la structure que devrait prendre un Passeport Matériau pour intégrer de manière claire et logique, les données relatives au cycle de vie des matériaux et composants architecturaux, et ce, avec le support d'expert·e·s dans le domaine et d'acteur·rice·s de terrain. Ce séminaire a également été l'occasion de partager les avancements des recherches liées à l'usage des matériaux de réemploi et du Passeport Matériau en offrant aux participant·e·s l'opportunité de créer un réseau et d'échanger sur les ouvrages, les organisations et les laboratoires pertinents dans ce domaine.

Le séminaire s'articule en plusieurs activités. La matinée est dédiée aux interventions de trois expert·e·s et à la présentation des recherches doctorales liées à la thématique. L'après-midi est consacré à trois ateliers d'intelligence collective, réunissant les conférencier·ère·s, les doctorant·e·s, ainsi que des professionnel·le·s et des représentants du monde de l'entreprise.

Organisation : A. Halbach (URA, FA, ULiège) et S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)

INTRODUCTION

p. 05

Les enjeux du Passeport Matériau

A. Halbach (URA, FA, ULiège), S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)

INTERVENTION DES TROIS EXPERTS

p. 08

L'INFORMATION NÉCESSAIRE ET SUFFISANTE. Retours d'expérience de nos pratiques d'inventorisation des matériaux réutilisables

M. Ghyoot (Rotor asbl)

CONCEPTION RÉVERSIBLE ET CIRCULAIRE. Données à conserver et acteurs impliqués pour faciliter et assurer le réemploi effectif futur

L. Maes (Buildwise)

TRANSITION NUMÉRIQUE. Pérennité des outils et modèles numériques pour assurer l'accès aux données qu'ils contiennent

Catherine De Wolf (ETH Zürich)

PRÉSENTATION DES RECHERCHES DOCTORALES

p. 15

GEOSLAGS. ACV d'un liant géopolymère hybride à densité variable intégrant des scories d'acier *Arno Rechul (ULiège)*

RESERVICE. Facilitating the re-use of building services in refurbishment projects of office buildings in Brussels

Sébastien Loreau (LAB, UCLouvain)

LA CIRCULARITE ARCHITECTURALE A L'ERE DU NUMERIQUE. Gestion numérique du cycle de vie des composants architecturaux au moyen de passeports matériaux BIM

Amélie Halbach (LNA, URA, ULiège)

CONCEVOIR POUR LE "REUSAGE" DE BOIS D'ŒUVRE

Paul-Martin Barbet (ArtBuild / GSA de l'ENSAPM / PSL les mines Paris)

ATELIER D'INTELLIGENCE COLLECTIVE

p. 20

Quelles données sont à intégrer dans un PM pour en faire un réel support au réemploi ?

Animé par S. Trachte et A. Romboux

Quel support / format de MP serait le plus adapté pour garantir sa durabilité dans le temps ?

Animé par A. Halbach et M. Renard

Si le succès du PM était totalement assuré, quel usage pourriez-vous en faire et quel rôle pourriez-vous jouer dans application ?

Animé par C. Dautremont et C. Dubois

CONCLUSION

p. 26

A. Halbach (URA, FA, ULiège), S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)



© Nathalie Delmelle

INTRODUCTION

Les enjeux du Passeport Matériau

A. Halbach (URA, FA, ULiège), S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)

Le passage vers une économie circulaire dans le secteur de la construction est crucial pour répondre aux défis environnementaux actuels. La Fondation Ellen MacArthur définit ce concept comme un modèle qui intègre harmonieusement le cycle biologique des ressources avec le cycle industriel. Trois grands principes émergent de cette approche. Le premier concerne la préservation et le développement du capital naturel en contrôlant les stocks limités et en équilibrant les flux de ressources renouvelables. Le second vise à optimiser le rendement des ressources en faisant circuler les produits, les composants et les matériaux utilisés, en conservant leur haute valeur ajoutée, à tout moment, dans les cycles techniques et biologiques. Le troisième s'attache au développement d'un système vertueux, en éliminant les externalités négatives ou impactantes.

Dans le domaine de la construction, cela signifie une modification de nos pratiques qui se fonde sur les principes suivants :

1. La conception et la production circulaires, qui cherchent à optimiser l'utilisation des ressources durant les phases de conception, de production et d'organisation, tout en tenant compte des externalités produites à chaque étape du cycle de vie. Cette évolution s'appuie notamment sur l'écodesign, les assemblages et connexions réversibles ou la disponibilité des informations tout au long de la vie des éléments.
2. La création de nouveaux modèles économiques, qui vise à proposer de nouveaux modes de production, de distribution, de consommation et de création de valeur ajoutée, en optimisant tant les ressources matérielles qu'immatérielles et en s'orientant davantage sur des solutions de services.

3. L'approche d' « Urban Mining » qui vise à considérer les bâtiments en usage comme des sources de matériaux à réutiliser à moyen et long terme et à développer ainsi toute une série de nouveaux métiers en relation avec le réemploi, la réutilisation, la réparation ou la refabrication.

Le passeport matériau (PM) vise à remettre en question l'idée qu'un déchet est un « matériau sans identité ». En effet, en lui attribuant une identité par le biais du PM, nous pouvons reconsidérer le « déchet » comme une ressource exploitable. Le guide bâtiment durable de Bruxelles-Environnement¹ définit le PM comme « *un ensemble de données digitales et interopérables qui recueillent les caractéristiques des matériaux et des assemblages, permettant aux fournisseurs, aux concepteurs et aux utilisateurs de leur donner la plus grande valeur possible et de les orienter tous vers des boucles de matériaux. La disponibilité et la pertinence de ces données, en particulier l'historique de l'utilisation et le potentiel de réutilisation d'un composant, facilitent le réemploi, le recyclage et la biodégradation de ce composant. En outre, elles sont cruciales pour le choix des composants qui pourront être réutilisés à l'avenir. En conséquence, l'élaboration de passeports de matériaux est considérée comme un mécanisme visant à encourager la conception de produits innovants et la mise en œuvre de modèles commerciaux circulaires.* »

Le PM vise différents objectifs et usages. Premièrement, il ambitionne de documenter les composants d'un bâtiment, facilitant ainsi les procédures d'inventaire et garantissant la réintroduction de matériaux pour leur réemploi futur. Il a également pour but de documenter les procédures de maintenance, de réparations et de démontage. Ceci contribue à prolonger la durée de vie des bâtiments en permettant un entretien régulier, des réparations précises et éventuellement la remanufacture des composants. En outre, le PM permet aux utilisateurs futurs d'évaluer le potentiel de réutilisation et de valorisation des matériaux, favorisant ainsi une gestion efficace des déchets et des ressources. Enfin, il assure la valorisation et la réutilisation effective des matériaux après un cycle d'utilisation, garantissant ainsi leur réemploi futur.

Les potentialités du PM sont nombreuses. Le PM permet notamment une analyse complète du bâtiment en fournissant des informations précises sur la composition des matériaux, la quantité, la qualité et la séparabilité des matériaux. Le PM joue différents rôles à chaque étape du cycle de vie d'un bâtiment. Pendant la conception, il optimise le processus de conception. Lors de la construction, il documente la mise en œuvre. Pendant l'utilisation, il accompagne les procédures d'entretien et de maintenance. Enfin, en fin de vie, il documente la déconstruction et permet d'établir plus facilement un inventaire de déconstruction.

Néanmoins, la création et la gestion des PM rencontre divers défis, particulièrement concernant la nature et la pérennité des données, ainsi que les profils d'utilisateurs. Ainsi, la question centrale du séminaire est la suivante : **quelles données à intégrer sur l'ensemble du cycle de vie et comment les structurer en vue d'en faire un véritable levier d'action pour le réemploi des matériaux de construction ?** Les présentations des trois experts ont apporté des réponses à cette problématique, à la fois pour le réemploi des matériaux existants dans les bâtiments actuels, que pour le réemploi futur des matériaux et composants (neufs ou de réemploi) dans les nouvelles constructions ou projets à venir.

Intervention de M. Ghyoot, Rotor asbl

Les pratiques actuelles de réemploi visent à faciliter la réintroduction dans un nouveau circuit économique, des matériaux ou éléments de construction dits « sortants » des bâtiments existants lors d'opérations de rénovation et de démolition. Ces pratiques se heurtent à plusieurs obstacles tant techniques, juridiques que logistiques, qui sont principalement engendrés à la fois par leur faible disponibilité sur le marché actuel et par le manque de données ou de documentations disponibles sur ces matériaux (caractéristiques performancielles et aptitude à l'usage) et leur mise en œuvre. Différents projets de recherche dont le projet Interreg FCRBE ont proposé divers documents et approches pour pallier ce manque de données mais en rénovation, chaque situation reste spécifique.

Vu l'expérience de Rotor asbl dans le domaine du démontage et du réemploi de matériaux en présence dans les bâtiments à rénover, la question posée à M. Ghyoot est la suivante : **quelles seraient les données**

¹ Guide Bâtiment durable de Bruxelles-Environnement : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/>

essentielles à collecter et à intégrer dans un passeport matériau pour faciliter le réemploi effectif actuel de ces matériaux ayant eu un premier cycle d'utilisation ?

Intervention de L. Maes, Buildwise

La conception réversible et circulaire des bâtiments et principalement les principes de réversibilité technique, portés par les concepts de Design for Disassembly ou de Design for Deconstruction, visent à faciliter le démontage des composants et éléments d'un bâtiment en vue de leur réemploi futur et/ou de leur réintroduction dans un second cycle de production. Ces principes portent à la fois sur les choix de techniques constructives, de matériaux, de connexions et d'assemblages. La mise en œuvre de ces principes sur le terrain implique de revoir fondamentalement la conception des bâtiments mais également et surtout de conserver sur le long terme, un nombre conséquent de données, pour pouvoir garantir, dans le futur, le réemploi effectif des matériaux, produits et éléments de construction.

Or il est encore rare que les dossiers as-built soient réalisés avec soin et correspondent réellement à la réalité construite. En outre, sur sa durée de vie, un bâtiment peut changer plusieurs fois de propriétaire et faire l'objet de modifications ou transformations. L'ensemble des données garantissant le réemploi futur, sont ainsi susceptibles de se perdre ou de disparaître tout ou en partie.

Vu l'expérience et les différents travaux de recherche de Buildwise dans le domaine des PM et des approches permettant de garantir les performances d'un matériau, la question posée à L. Maes est la suivante : **quelles seraient, dans toutes les données à conserver, les données les plus importantes pour faciliter et assurer le réemploi effectif futur. Et quel acteur (au sens large) devrait conserver ces données ?**

Intervention de C. Dewolf, ETH Zürich

Bien que de nombreux projets pilotes de construction circulaire soient prometteurs, la mise en œuvre à grande échelle des principes de l'économie circulaire dans le secteur de la construction demeure un défi majeur. Actuellement, la littérature scientifique met en lumière que la formalisation et la transmission des informations entre les acteur-ice-s représente la principale contrainte à la faisabilité du Design for Disassembly. La transition numérique semble être une voie prometteuse pour favoriser la transparence, la traçabilité et l'utilisation efficace des ressources.

Nous assistons actuellement à l'émergence de divers outils numériques et plateformes qui encouragent la circularité, tels que le BIM, l'intelligence artificielle et les jumeaux numériques. Ces technologies offrent la possibilité d'optimiser l'utilisation des ressources, de réduire les déchets et de faciliter la mise en place de systèmes en boucle fermée. Il est prévisible qu'à l'avenir, ces outils numériques et plateformes favorisant la circularité dans le secteur de la construction connaîtront une adoption généralisée.

Cependant, la question cruciale qui se pose est la suivante : **comment assurer la pérennité de ces outils et modèles numériques, ainsi que des données qu'ils contiennent, afin de soutenir efficacement cette mise en œuvre à grande échelle des principes de l'économie circulaire ?**



© Nathalie Delmelle

INTERVENTION DES TROIS EXPERTS

L'INFORMATION NÉCESSAIRE ET SUFFISANTE. Retours d'expérience de nos pratiques d'inventorisation des matériaux réutilisables

M.Ghyoot (Rotor asbl)

Michael Ghyoot est architecte et chercheur. Il a rejoint l'équipe de Rotor en 2008 et y travaille depuis comme chercheur, conférencier et commissaire d'expositions. En 2014, il a obtenu un doctorat en architecture à l'Université Libre de Bruxelles portant sur le rôle des architectes dans l'économie des matériaux. Il a également été chargé de cours pendant trois ans à la faculté d'architecture de l'ULB. Chez Rotor, il est principalement impliqué dans les projets de recherche sur les questions de réemploi et de circularité et a notamment supervisé l'édition du livre « Déconstruction et réemploi, Comment faire circuler les éléments de construction », publié par l'EPFL Press (Lausanne) dans le cadre du projet de recherche FEDER BBSM². De 2018 à 2023, il a orchestré le projet Interreg FCRBE³, qui rassemble 11 partenaires européens pour stimuler le développement des pratiques de réemploi dans le secteur de la construction. Michaël Ghyoot s'est familiarisé avec la question du réemploi dans les marchés publics à travers la contribution à plusieurs documents portant sur cette question dont le Vade-mecum pour le réemploi hors-site⁴, le Manuel sur la prescription des matériaux de réemploi ainsi qu'à plusieurs projets pilotes en la matière dont les opérations pilotes menées dans le projet FCRBE et le projet de rénovation du site Masui pour Zinneke.

Bien que la collecte d'informations sur les matériaux de construction soit cruciale dans le travail de l'asbl Rotor, l'organisation préfère éviter l'utilisation du terme « Passeport Matériaux ». La réticence à utiliser ce terme découle principalement de deux arguments. Premièrement, il suggère une forme de nouveauté et d'innovation alors que la documentation des matériaux existe depuis des décennies sous forme de

² BBSM (Le Bâti Bruxellois, Source de nouveaux Matériaux) : www.bbsm.brussels

³ FCRBE (Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements) : <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/>

⁴ https://rotordb.org/sites/default/files/2019-06/Vade-mecum_recommandations-Rotor.pdf

documentation et fiches techniques. Deuxièmement, il évoque des connotations politiques en référence à un dispositif de contrôle historiquement chargé, soulevant des questions sur la responsabilité, les critères et les conséquences pour les matériaux non documentés.

Rotor se concentre plus spécifiquement sur l'inventaire et la réutilisation des matériaux présents dans les bâtiments existants. Ils choisissent de travailler exclusivement avec des projets qui optent pour la rénovation plutôt que la démolition complète, ce qui signifie que leur intervention se situe plutôt au niveau des finitions intérieures, de l'enveloppe et des équipements. Leur processus d'inventorisation vise à identifier les matériaux pouvant être réemployés parmi tous les matériaux dont l'évacuation est prévue, en adoptant une approche où les matériaux sont présumés réutilisables jusqu'à preuve du contraire. Cette approche tente d'éviter le gaspillage associé à une démolition rapide et à l'élimination des matériaux, d'autant plus que Rotor intervient principalement dans le cadre de démolitions motivées par des facteurs externes tels que des changements de locataires ou des besoins de renouvellement, plutôt que par des caractéristiques internes des matériaux.

Le potentiel de réemploi des matériaux de construction est influencé par divers facteurs. Certains, comme la présence de substances toxiques, des processus de démontage complexes, ou le manque de demande pour certains matériaux, ont tendance à réduire ce potentiel. En revanche, des caractéristiques telles qu'un démontage facile, une demande établie, une quantité adéquate du matériau, une logistique abordable et une valeur marchande significative, favorisent le réemploi. Ces facteurs sont ensuite pondérés pour exprimer un facteur de potentiel de réemploi, permettant ainsi une gestion différenciée des matériaux identifiés comme réutilisables lors des opérations de démolition. Affirmer le potentiel de réemploi crée une prophétie auto-réalisatrice, mais ce potentiel n'est pas une caractéristique fixe et reste fragile. Il peut être compromis par des erreurs de manipulation, des retards ou des événements imprévus. En effet, le potentiel de réemploi est contextuel et évolue avec les circonstances. Ignorer ce potentiel conduit à la perte des matériaux réemployables, contribuant ainsi aux millions de tonnes de déchets de construction.

Dans le processus d'inventaire, il est essentiel de cibler les caractéristiques pertinentes pour chaque élément. **L'exhaustivité est rarement réalisable, donc il est crucial de se concentrer sur les informations nécessaires et suffisantes.** Ces critères varient en fonction de chaque élément. Par exemple, pour une poutrelle en acier, la marque est souvent peu pertinente, tandis que ses dimensions sont cruciales. Pour des équipements techniques comme des portes sectionnelles, la connaissance du fabricant est importante car elle permet d'accéder notamment à la fiche technique. Pour un carrelage, la question principale est souvent sa démontabilité. Si on ne peut pas le récupérer sans dommages, les autres caractéristiques deviennent secondaires. Bien entendu, les caractéristiques pertinentes dépendent de l'usage prévu des matériaux. **En fin de compte, c'est l'usage final qui détermine les exigences à satisfaire.**

Cependant, lors de la réalisation d'un inventaire, il est souvent difficile de savoir exactement comment, où et par qui les matériaux seront réutilisés. Ainsi, les efforts de caractérisation peuvent être considérés comme un processus évolutif, où l'inventaire constitue le premier maillon, mais qui se développe au fil des étapes. Par exemple, des tests de démontage peuvent être réalisés pour confirmer ou infirmer les possibilités de réutilisation, ou des fiches détaillées peuvent être créées pour les lots les plus prometteurs. Cette caractérisation peut également se poursuivre au-delà de l'inventaire initial, avec des mesures simples ou des tests en laboratoire pour étudier les caractéristiques pertinentes pour l'usage envisagé. Dans certains cas, comme en restauration, cette campagne de caractérisation peut même se prolonger après la remise en œuvre des matériaux, avec une surveillance pour s'assurer qu'ils se comportent comme prévu dans leur nouvel usage.

Il est donc essentiel de garantir la continuité de cette chaîne de processus. Pour cela, un support unique pourrait s'avérer nécessaire pour centraliser l'information qui est rassemblée progressivement au cours de toutes ces étapes. Ce support doit être à la fois léger pour ne pas entraver cette continuité, suffisamment agile pour s'ajuster aux différentes parties prenantes et abordable pour faire face à la concurrence des matériaux neufs bon marché.

Or, c'est précisément là que la métaphore du passeport matériau montre ses limites. Selon la définition du sens courant, le mot « passeport » tire sa légitimité et sa validité d'une autorité centralisée unique. Pourtant, dans ce contexte, il semble plutôt que plusieurs acteurs doivent intervenir pour contribuer à cette continuité.

M. Ghyoot évoque quatre pistes permettraient aux pratiques de récupération et de réemploi de se développer :

1. **Archiver les modes d'emploi, les manuels de construction et autres documents techniques** sur une plateforme en libre accès similaire à archive.org ou ifixit.org, afin de faciliter leur accès et leur utilisation. Ce projet implique également la collecte et l'archivage de la littérature grise existante, tels que les catalogues des fabricants, les publicités et les brochures techniques.
2. **Développer des méthodes adaptées pour évaluer les performances des matériaux de réemploi** Les systèmes de contrôle qualité actuels ne sont pas adaptés pour caractériser les matériaux de réemploi en raison de leur petite échelle, de leur hétérogénéité et de leur individualité. Des approches flexibles, économiques et soutenues par des investissements publics sont nécessaires pour répondre à ce défi croissant.
3. **Opter pour des systèmes de construction plus simples et plus robustes** permet de réduire la complexité et facilite la gestion de l'information à long terme. La tenue de cahiers de maintenance et de dossiers papier contenant des informations techniques favorise le réemploi des équipements et des matériaux, de la même façon qu'un dossier d'intervention ultérieur (DIU). Reconnaître et valoriser les savoir-faire artisanaux et empiriques dans la prise de décision renforce la pertinence et l'opportunité du réemploi des matériaux.
4. **Promouvoir la sobriété digitale**, afin de réduire l'empreinte écologique liée à la consommation d'énergie des serveurs et à l'extraction intensive de ressources matérielles difficilement recyclables. L'histoire démontre que des économies basées sur la récupération et le réemploi prospéreraient sans technologies modernes, offrant des leçons précieuses sur l'usage des technologies digitales aujourd'hui. Une approche de « dé-innovation » pourrait aligner les innovations avec les ressources locales, pour minimiser les impacts environnementaux et sociaux.

CONCEPTION RÉVERSIBLE ET CIRCULAIRE. Données à conserver et acteurs impliqués pour faciliter et assurer le réemploi effectif futur

L. Maes (Buildwise)

Linde Maes est diplômée ingénieure-architecte de la Vrije Universiteit Brussel (2017). Elle travaille actuellement en tant que scientifique en R&D chez Buildwise (anciennement CSTC), le centre d'innovation du secteur de la construction. Sa spécialisation réside dans le domaine de la construction circulaire. Elle travaille actuellement sur les projets « Materiaalstromen in de bouw », réalisé sur demande d'OVAM (Société publique des Déchets de la Région flamande) qui vise à cartographier les flux de matériaux dans le secteur de la construction flamande, et « Digital 4 Circular Construction », où elle se concentre sur les passeports de matériaux [NL : bouwwerkpaspoort] et la mesure de la circularité des projets de construction. Avant de rejoindre Buildwise, Linde a enrichi son expérience en économie circulaire en travaillant comme collaboratrice de projet en économie circulaire chez Tracimat, où elle a piloté le projet « Data-driven sloop en recyclage », qui visait à inventorier les flux de déchets dans le but de promouvoir leur recyclage de haute qualité.

Pour Buildwise, le PM peut être une solution pour répondre efficacement aux défis posés par la construction circulaire grâce à une meilleure compréhension des matériaux utilisés. Ils notent une hausse d'intérêt pour ce sujet parmi leurs clients et souhaitent donc soutenir le secteur pour répondre à cette nouvelle question en jouant un rôle central dans l'harmonisation des PM. Buildwise s'est donc impliqué dans le projet « Digital 4 Circular Construction »⁵ dont l'objectif du Use Case « Bouwwerkpaspoort » [FR : passeport matériaux] est d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- A quoi devrait servir un PM et quels paramètres sont nécessaires à cet effet ?

⁵ Digital 4 Circular Construction : <https://vlaanderen-circulair.be/en/cases/detail/digital4circularconstruction>

- Comment et où doivent être stockés les (paramètres des) PM ?
- Qui est le partenaire le plus approprié pour fournir/mettre à jour les données du PM?
- Quels sont les points d'attention (pratiques) à prendre en compte lors de la mise en œuvre du passeport du bâtiment ?

Le projet « Digital 4 Circular Construction », soutenu par la région flamande, vise à exploiter pleinement les données numériques dans le domaine de la construction circulaire. En partant du constat que les données nécessaires sont disponibles (chez les fabricants, dans le modèle BIM, dans les applications, ...) **mais peu utilisées en raison de leur manque d'interopérabilité, le projet vise à rendre ces données et applications plus fiables et interopérables.** Il cherche à élaborer un cadre de référence pour les applications circulaires et à l'appliquer à travers trois cas d'utilisation : l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), le PM et la mesure de la circularité. Alors que l'ACV dispose déjà d'un cadre normatif établi, le PM ne bénéficie pas de cette structure, offrant ainsi une opportunité pour Buildwise de contribuer à l'harmonisation de cette initiative. Concernant le cas d'utilisation « passeport matériaux », le projet adopte une approche double, analysant à la fois les initiatives existantes et les besoins des acteurs impliqués, dans le but de développer un « Minimum Viable Product » (MVP).

Analyse des initiatives existantes (offre)

Lors de son analyse des initiatives existantes, Buildwise a constaté qu'une clarification du terme « passeport matériau » était nécessaire en raison de la diversité des termes utilisés pour le désigner, chacun leur attribuant des significations différentes. Buildwise, tout comme OVAM, se concentre principalement sur le niveau « ouvrage » du PM, en l'appelant « bouwwerkpaspoort », afin d'englober à la fois les bâtiments et d'autres types d'infrastructures.

Buildwise s'est également intéressé à la taxonomie européenne, qui est un système de classification définissant des critères pour les activités économiques alignées sur une trajectoire de neutralité carbone d'ici 2050 et sur les objectifs environnementaux plus larges autres que le climat. La taxonomie européenne souligne le rôle des fabricants et des gouvernements dans la conservation et la gestion des données : « *L'exploitant assure la conservation à long terme de ces informations au-delà de la durée de vie utile du bâtiment en utilisant les systèmes de gestion des informations fournis par les outils nationaux* ». ⁶

Ensuite, ils ont passé en revue le travail réalisé par OVAM. Leur premier travail a consisté en l'établissement d'une liste de paramètres qui est divisée en paramètres au niveau du produit et paramètres au niveau de l'ouvrage. OVAM a également commandité une étude de mise en œuvre par le Bureau Bouwtechniek, au cours de laquelle cette liste a été appliquée à un bâtiment réel. Actuellement, une étude de faisabilité est en cours pour une plateforme de données par D-studio, qui sera gérée par OVAM.

D'autres initiatives ont été identifiées et analysées: le PCDS (Product Circularity Data Sheet), le GRO (Het Facilitair Bedrijf), les Paspoorten in de bouw (CB'23) et BIM-Integrum.

Analyse des besoins de différents acteurs / objectifs (demande)

L'étude menée par le Bureau Bouwtechniek en 2023 a examiné l'importance du PM à différentes étapes du cycle de vie des constructions, telles que la maintenance, la rénovation, le réemploi et la conformité à la Taxonomie européenne. Les résultats ont souligné que l'entrepreneur (fournissant des données sur la construction et les matériaux) était le partenaire le plus pertinent pour fournir les données nécessaires au PM. En ce qui concerne la mise à jour des informations, le propriétaire est désigné comme étant crucial, étant donné son lien permanent avec la construction. De plus, le rôle du gouvernement est mentionné pour promouvoir la standardisation et mettre en place une plateforme centralisée.

⁶ RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2023/2486 DE LA COMMISSION, p53, art. 5, disponible sur : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302486

En parallèle, Buildwise a pris part à deux groupes de travail distincts, l'un avec des architectes (7/03/2024) et l'autre avec des entrepreneurs (2/03/2024), où des questions similaires ont été discutées. Ces réunions ont révélé que les architectes considèrent que l'objectif principal du PM est le réemploi, tandis que les entrepreneurs le voient plutôt comme un moyen d'assurer une gestion plus efficace des données et de réduire les marges d'erreur. En ce qui concerne les informations nécessaires, les architectes mettent l'accent sur les paramètres qui apportent un avantage à court terme, les informations préalables à la visite sur site (telles que les quantités, les méthodes de fixation, les tests, la durabilité, etc.) et les éléments « invisibles » tels que les schémas d'armature et les fondations. Ils indiquent que le fabricant pourrait avoir besoin de données plus détaillées en vue du retour des produits.. De leur côté, les entrepreneurs accordent plus d'importance aux données partagées entre différents outils, sur les éléments à fort potentiel de réutilisation et sur les « matériaux à cycles courts ». Quant à la responsabilité de fournir ou de mettre à jour le PM, les architectes estiment que l'entrepreneur est le partenaire le plus approprié, tandis que les entrepreneurs voient cela comme une responsabilité partagée, nécessitant une meilleure collaboration et une répartition plus équitable des responsabilités entre tous les partenaires de la construction. Ils proposent un modèle où le gouvernement fournirait le cadre, le fabricant serait responsable de fournir des informations correctes sur les matériaux, l'architecte fournirait le modèle du PM et ajouterait les fiches techniques, et enfin, l'entrepreneur compléterait les données concernant les matériaux utilisés. L'entrepreneur se voit ainsi davantage comme un « remplisseur » du passeport plutôt que comme un « créateur ».

Données pour faciliter et assurer le réemploi effectif futur

Une comparaison des initiatives existantes, des besoins des différents acteurs et de l'inventaire réemploi a permis de mettre en évidence les données nécessaires pour faciliter et assurer le réemploi effectif futur, en les classant par phase de construction et par acteur (fabricant, architecte, entrepreneur, expert en réemploi ou en démolition). À l'occasion de cette présentation et pour rendre les choses plus concrètes, cette liste a été appliquée et affinée sur le cas des portes intérieures, établissant ainsi le lien avec un autre projet de recherche : « Digital Door Twin ».

TRANSITION NUMÉRIQUE. Pérennité des outils et modèles numériques pour assurer l'accès aux données qu'ils contiennent

Catherine De Wolf (ETH Zürich)

Catherine De Wolf est ingénieure civile architecte de formation. Elle est actuellement professeure d'ingénierie circulaire pour l'architecture à l'ETH Zürich où elle mène des recherches sur l'innovation numérique pour favoriser un environnement bâti circulaire. Elle est directrice du laboratoire "Circular Engineering for Architecture" (CEA) et gère une équipe interdisciplinaire d'ingénieurs civils, d'architectes, d'urbanistes et d'informaticiens qui collaborent à l'automatisation de la réutilisation des matériaux de construction. L'un des éléments clés du travail de Catherine est d'établir un lien entre la recherche universitaire (ETH Zürich, TU Delft, EPFL, MIT, Université de Cambridge, VUB, ULB) et le secteur professionnel (Arup, Thornton Tomasetti, Ney & Partners, Helionix Designs, Modulo Architects). La combinaison de l'innovation numérique et de la construction circulaire et régénérative est à la base de tous les aspects de son travail d'universitaire, de conceptrice, d'entrepreneuse et de réalisatrice.

Le laboratoire Circular Engineering for Architecture (CEA)

Le questionnement autour du rôle du numérique dans le domaine de la construction suscite un vif intérêt, car l'observation de pratiques historiques, et des pratiques dans d'autres régions du monde révèle une plus grande propension au réemploi que celle que nous observons actuellement en Europe. Le laboratoire Circular Engineering for Architecture de l'ETH de Zürich, cherche à étendre le réemploi et la construction circulaire à une échelle plus large, dépassant le cadre des projets isolés pour intégrer ces pratiques de manière systémique. Cette réflexion les a conduits à explorer comment l'innovation dans le secteur de la construction peut être conjuguée avec le numérique. Le laboratoire CEA se consacre donc à l'étude de diverses technologies numériques pouvant contribuer à cet objectif. Il est important de souligner que, en tant que laboratoire de recherche, leur travail est exploratoire et prospectif, visant à identifier le potentiel

des solutions envisagées. Toutes les pistes explorées ne sont donc pas immédiatement applicables dans l'industrie, mais ouvrent la voie à des développements futurs prometteurs.

Digital fabrication

Une des approches étudiée par le laboratoire CEA consiste à réutiliser les déchets de béton en recréant des liaisons entre ces éléments à l'aide de l'impression 3D. De même, des déchets d'acier sont scannés pour évaluer leur état et recréer des connexions permettant de les réintégrer dans de nouvelles structures. Le processus inclut également l'utilisation de la CNC (subtracting manufacturing), où les matériaux destinés à la décharge sont réexaminés pour être reconfigurés en nouvelles structures. Ces méthodes numériques permettent de réaliser des connexions précises et personnalisées, une tâche qui serait trop coûteuse à accomplir manuellement de nos jours.

Reality capture

Le processus de « reality capture » vise à scanner automatiquement les bâtiments pour en créer des modèles numériques. Par exemple, en utilisant une caméra pour capturer les structures tout en enregistrant le parcours de l'opérateur à l'intérieur du bâtiment, facilitant ainsi l'application de la photogrammétrie pour identifier les éléments présents. En outre, des scanners lidar sont employés pour obtenir des nuages de points plus précis que ce que l'on peut obtenir grâce à la photogrammétrie. CEA explore également des méthodes de scanner lidar moins coûteuses, notamment via des applications sur smartphone, bien que cela entraîne une moindre précision des résultats. Les données obtenues sont ensuite traitées à l'aide de techniques de statistiques et de machine learning pour générer des modèles BIM, permettant de digitaliser les éléments existants. Ces modèles sont ensuite croisés avec la vision numérique (computer vision), qui identifie les matériaux tels que l'acier et le béton. Bien que les algorithmes développés soient relativement précis, leur utilisation nécessite actuellement la supervision d'un expert. Certains matériaux, comme le verre, restent difficiles à détecter en raison de leur faible réflectance. L'objectif ultime est d'améliorer la précision de ces techniques pour qu'ils puissent assister efficacement les experts dans le diagnostic des matériaux.

L'intelligence artificielle (IA)

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans l'exploration de conceptions architecturales avec des matériaux de réemploi est en plein essor. Actuellement, les outils d'IA générative (generative AI) ne prennent pas encore en compte la constructibilité des projets. Par conséquent, les chercheurs collaborent avec les architectes pour intégrer ces outils dans leur processus de conception. Cette démarche soulève deux questions principales concernant la créativité : Est-ce que l'IA remplace le rôle créatif de l'architecte ? Et est-ce que l'utilisation de matériaux recyclés limite la créativité en raison d'une offre restreinte ? Cependant, les chercheurs ont constaté que ces préoccupations ne sont pas fondées. En effet, l'incorporation de l'IA dans le processus de conception a conduit à une diversité de projets sans précédent. De plus, la contrainte liée à l'utilisation de matériaux de réemploi n'a pas restreint la créativité des étudiants en architecture, mais au contraire, les a inspirés à explorer de nouvelles voies créatives.

Computational design modeling et réalité virtuelle

CEA se penche également sur le potentiel des outils de conception numérique digitale (computational design modeling), en développant des algorithmes capables d'associer le stock disponible aux conceptions désirées. La réalité virtuelle est également employée pour visualiser les conceptions sur le site de construction, facilitant ainsi le processus de conception en intégrant des matériaux de réemploi..

Mécanisme de connexion

Il est ensuite crucial de considérer la manière dont nous suivons la traçabilité de ces matériaux dans le temps. Cette pratique n'est pas nouvelle, elle a toujours existé. Un exemple historique est l'utilisation de tampons sur les briques depuis l'époque de Babylone. De nos jours, nous disposons de divers outils tels que les puces RFID, les codes QR, les tags NFC, la blockchain, etc., qui peuvent être utilisés pour créer un PM digital et connecter les informations à un matériau physique. Dans le cadre des activités pédagogiques, le laboratoire de recherche a opté pour l'exploration du QR code, même s'il n'est pas la solution la plus

robuste pour lier les informations du PM au matériau physique. L'objectif principal était de rendre la traçabilité des matériaux visible afin que chacun puisse consulter les informations à l'aide de son smartphone.

Big data et machine learning

Le défi ne réside pas tant dans les aspects techniques de l'assemblage et du désassemblage, mais plutôt dans la question de l'approvisionnement. CEA explore donc les données issues des audits de démolition pour déterminer si le big data et le machine learning peuvent aider à déterminer les flux futurs de matériaux. Ces données sont combinées avec des images provenant de diverses sources telles que Google Street View, des archives historiques ou des réseaux sociaux. Grâce à l'intelligence artificielle, ces images sont exploitées pour obtenir des informations sur les matériaux présents dans notre environnement bâti actuel, et pour anticiper les futurs processus de rénovation, de démolition ou de reconstruction. L'objectif est de créer une sorte de « matchmaking » entre les bâtiments destinés à être démolis et ceux en cours de construction, facilitant ainsi la réutilisation des matériaux. Dans cette optique, CEA a développé un « Tinder for reuse », où les différents acteurs de la construction sont mis en relation pour faciliter le processus de réemploi des matériaux.

Conclusion

Au-delà des PM, ce qui est vraiment extrêmement nécessaire c'est de connecter les personnes les unes avec les autres : des personnes qui ont des matériaux à donner, qui veulent faire de la conception avec des matériaux de réemploi, qui ont la capacité de les désassembler, et de construire avec ces matériaux, qui peuvent les stocker, ou les certifier, etc. Donc de nombreuses disciplines différentes doivent être activées et combinées pour que le réemploi puisse être appliqué à grande échelle et c'est pour cela que la créativité est très importante, en comprenant la créativité par l'art de connecter. C'est précisément cela que le laboratoire essaye de faire au travers des outils numériques que le laboratoire explore. Pour l'instant, ils travaillent beaucoup de manière analogue pour comprendre comment et dans quelle mesure les outils numériques peuvent faciliter et/ou optimiser le travail des différents acteurs de la construction.



© Nathalie Delmelle

PRÉSENTATION DES RECHERCHES DOCTORALES GEOSLAGS. ACV d'un liant géopolymère hybride à densité variable intégrant des scories d'acier Arno Rechul (ULiège)

Abstract :

« Le projet GEOSLAGS propose la création d'une nouvelle chaîne de valeur complète en Wallonie afin de permettre, dans un premier temps, la fabrication de bâtiments commerciaux et industriels sur base d'un géopolymère hybride innovant avec des performances mécaniques ou thermiques adaptables en fonction du besoin. Il incorporera un maximum de laitier d'acier inoxydable non valorisable actuellement, renforçant la circularité de la filière industrielle.

GEOSLAGS validera la fabrication de bâtiments complets et conformes aux exigences PEB à partir d'une alternative innovante wallonne au béton conventionnel.

L'issue du projet permettra donc d'atteindre un double objectif :

- Le premier est de proposer une alternative bas-carbone aux bétons standards dans le cadre de la construction de bâtiments préfabriqués commerciaux ou industriels, activité principale de la société ICM
- Le deuxième est de valoriser une fraction de scories issues d'une aciérie inox et traitée par la société Orbix, matière qui s'accumule à défaut de voie de valorisation.

Cette solution alternative aux bétons conventionnels est proposée par la société Geogrand qui a développé un liant géopolymère hybride capable de remplir le rôle d'un ciment dans la formulation de bétons. L'hybridation vient des deux types de liaisons entrant en jeu dans la constitution du liant : l'une, est une liaison géopolymère à base de métakaolin active par du silicate de sodium pour former des silico-aluminates de sodium, l'autre à base d'une phase riche en calcium, rendue disponible par un procédé thermique ou thermomécanique, se servant de l'eau résiduelle du premier liant pour former des liaisons silicate de calcium.

L'association de ces deux types de liaisons entraîne la formation d'un liant plus performant que les deux liants séparés et dont la résistance est similaire, voire supérieure à celle apportée par le béton standard.

Les avantages apportés par ce nouveau liant sont :

- Une réduction attendue de 75 % du CO₂ total émis lors de la mise en œuvre et de la production du béton
- L'utilisation d'une scorie d'acier inoxydable riche en calcium, ressource secondaire locale et actuellement non complètement exploitée pour former un béton nécessitant que peu ou pas de sable roulé dont la pénurie est avérée et dont l'exploitation nuit gravement aux écosystèmes marins ou de sable naturel concassé.
- L'apport d'un matériau dont la densité peut être modulée et dont les propriétés d'isolation thermique peuvent être mises à profit pour permettre le remplacement d'isolants courants tels que le PIR et le PUR et en apportant un caractère supplémentaire de résistance totale au feu.

La possibilité de recycler intégralement les matériaux générés dans une application stricte et directe d'économie circulaire. » (Arno Rechul, 2024)

Période du projet ou de la thèse :

Mars 2023 – mars 2027 (4 ans)

Potentiel du projet au regard du PM :

Le projet GEOSLAGS représente une avancée significative dans le développement d'une alternative innovante et durable au béton conventionnel. En intégrant l'ACV dans le développement du PM, les acteurs peuvent prendre des décisions plus informées et promouvoir l'utilisation de matériaux de construction plus durables et respectueux de l'environnement.

RESERVICE. Facilitating the re-use of building services in refurbishment projects of office buildings in Brussels

Sébastien Loreau (LAB, UCLouvain)

Abstract :

« Un nombre croissant de villes promeuvent le réemploi comme une stratégie clé dans la transition vers une économie plus circulaire dans le secteur de la construction. À Bruxelles, les experts en construction prévoient l'introduction de réglementations relatives à l'économie circulaire pour les bâtiments publics d'ici 2030. Les promoteurs immobiliers commencent à interroger leurs équipes de conception sur la viabilité du réemploi des installations techniques (plomberie, chauffage, ventilation et électricité) dans leurs projets. Malheureusement, ni les ingénieurs ni les consultants ne disposent actuellement des outils nécessaires pour répondre à ces demandes et prévoir les coûts, les avantages et les risques liés au réemploi des équipements techniques. À un niveau plus global, il existe peu de connaissances sur le réemploi des équipements techniques, bien qu'ils soient un élément clé dans le développement de l'économie circulaire. Le projet vise à développer un outil d'aide à la décision (prototype) pour les ingénieurs et les consultants afin d'évaluer rapidement et de manière robuste la viabilité du réemploi des équipements techniques lors de la rénovation des bâtiments. L'outil repose sur quatre modèles, dont le premier permet aux utilisateurs d'identifier tous les travaux de remise en état nécessaires pour permettre le réemploi d'un produit. Les modèles suivants permettent aux utilisateurs de quantifier les performances environnementales, sociales et financières de la stratégie de réemploi sélectionnée par rapport au remplacement du produit. Cet outil se concentre sur différents types d'équipements techniques (cinq en particulier dans cette thèse, à savoir les machines de froid, les luminaires, les câbles électriques, les gaines de ventilation et les tuyaux de chauffage). Ces produits ont été choisis en raison de leur importance pour les flux de matériaux, les coûts et les impacts environnementaux dans les rénovations de bâtiments dans la région de Bruxelles. Le développement de l'outil et de ses modèles associés apportera de nouvelles connaissances dans les domaines des installations techniques du bâtiment et de l'économie circulaire, et fournira des indications pour les études futures. » (Sébastien Loreau, 2024)

Période du projet ou de la thèse :

Février 2021 à février 2025 (4 ans, avec épreuve de confirmation réussie en décembre 2022)

Potentiel du projet au regard du PM :

Cette thèse en entreprise (en collaboration avec le bureau conseil Cenergie) s'attache au réemploi des équipements techniques dans les projets de rénovation de bâtiments de bureaux à Bruxelles. Il vise à fournir un outil pratique pour estimer la qualité des systèmes qui sont en place et qui pourraient être réutilisés. Cette étude examine également la question du réemploi sous l'angle des impacts environnementaux et sociaux liés à la fabrication et à la refabrication des éléments techniques, dont notamment des « chillers » (machines de froid).

Publications

- Loreau, S., Stephan, A., Cooper, D. R., & Maerckx, A. (2022). Assessing material and embodied flows related to building services in office buildings — the case of Brussels, Belgium. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1122(1), 012030. doi:10.1088/1755-1315/1122/1/012030
- Loreau, S., Stephan, A., Cooper, D., & Maerckx, A.-L. (2022, 5-7 Oct 2022). Identifying Reuse Pathways for Building Systems using Physical Reliability and Technological Performance Metrics — the Case of Chillers and their Components. Paper presented at the International Building Decarbonization Conference 2022, Athens, Greece.

LA CIRCULARITE ARCHITECTURALE A L'ERE DU NUMERIQUE. Gestion numérique du cycle de vie des composants architecturaux au moyen de passeports matériaux BIM

Amélie Halbach (LNA, URA, ULiège)

Abstract :

« Dans un contexte environnemental en crise, le secteur de la construction est un important consommateur de matières premières et producteur de déchets. Il fait donc l'objet de diverses études et actions visant à le faire entrer dans une démarche d'économie circulaire. Dans ce contexte, les informations en lien avec les matériaux de construction sont cruciales tout au long du cycle de vie du bâtiment. La définition et le maintien de ces informations au travers de « passeports matériaux » (PM) présentent des opportunités riches et foisonnantes, en particulier en lien avec les pratiques du Building Information Modeling (BIM).

Mais force est de constater que la définition de ces passeports matériaux BIM (PM BIM) et leur implémentation restent à leur début et rencontrent de nombreuses difficultés. Le projet de recherche a pour objectif d'analyser les freins et les leviers liés à la création, au traitement, à l'analyse, au stockage, au partage et à la gestion de la qualité des données numériques, de manière à encourager la circularité par un meilleur suivi des composants du bâtiment. L'hypothèse étant que le PM BIM réponde au besoin de gestion et de structuration de la donnée, évoqué dans la littérature.

En identifiant, décrivant et tentant de comprendre les freins et les leviers incombant à la gestion des données numériques, la méthodologie de recherche s'articule autour de trois étapes distinctes et complémentaires : (1) analyse des pratiques actuelles, identification des besoins, des freins et des leviers ; (2) propositions de spécifications pour le PM BIM ; (3) développement et expérimentation d'un prototype. Des itérations sont prévues pour permettre de confronter le prototype aux besoins et demandes du secteur et de l'adapter. » (Amélie Halbach, 2024)

Période du projet ou de la thèse :

Septembre 2022- Septembre 2028 (6 ans)

Potentiel du projet au regard du PM :

Compte tenu de l'effervescence du domaine de la construction concernant le PM, ce projet de recherche tisse des liens solides entre la théorie et la réalité pratique. Son but est d'enrichir la réflexion sur la mise en œuvre du PM en offrant des solutions concrètes basées sur l'expertise des acteurs du secteur. Il vise ainsi à soutenir l'industrie dans sa transformation vers l'économie circulaire.

Publications

- Halbach, A. (08 November 2023). Digital life cycle management of architectural components through BIM-based Material Passports to improve circularity [Poster presentation]. Séminaire doctoral inaugural de l'EDT 62, Brussels, Belgium. <https://hdl.handle.net/2268/308582>
- Halbach, A., & de Boissieu, A. (2022). Quel écosystème de données pour un passeport matériau BIM ? Revue de la littérature et perspectives pour de futures recherches. In *Ecosystème Numérique*. Paris, France: SHS Web of Conferences. <https://hdl.handle.net/2268/294705>
- Dautremont, C., Halbach, A., & Jancart, S. (2022). Pratiques BIM et usages du réemploi : inventorier, anticiper tracer et valoriser les éléments de construction. In *Design global et continuum informationnel*. Paris, France: ISTE Science Publishing. <https://hdl.handle.net/2268/267913>

CONCEVOIR POUR LE “REUSAGE” DE BOIS D’ŒUVRE

Paul-Martin Barbet, doctorant CIFRE (2023-2026) sous la direction de Robert Le Roy et Loïc Couton du laboratoire GSA de l’ENSA Paris-Malaquais en partenariat avec PSL Les Mines Paris et de l’agence ArtBuild Architectes sous la coordination de Kévin Guidoux et de Steven Ware.

Abstract :

« Le focus de notre recherche porte sur le « réusage »⁷ du bois d’œuvre (produit à plus haute intégrité par rapport à la grume) car il détient le potentiel d’utilisation (multiplicité des utilisations encore possibles) en cascade le plus important des produits bois⁸. En outre, dans le contexte de la France, territoire autour duquel nous circonscrivons notre travail, ceux-ci représentent déjà plus de 32 % des 2 304 003 Mt des déchets bois⁹. De plus, l’accroissement des constructions avec des composants structurels bois porte à croire qu’à l’avenir ce quota de bois structurels en fin de vie augmentera considérablement¹⁰. Si la part des déchets bois est conséquente, il y a toutefois peu d’éléments réemployés ou détournés de leur usage premier selon un principe de sauvegarde maximale de l’intégrité des produits. Seulement 2.5% des déchets bois sont aujourd’hui réemployés en France⁹. Une analyse rétrospective des pratiques de « réusage » auprès de différents professionnels du secteur, aura permis de souligner les difficultés rencontrées au moment de la fin de vie des bâtiments pour élémentariser et caractériser le bois d’œuvre¹¹. La défaillance de la filière réemploi à mettre en place les principes d’économie circulaire¹² se manifeste dans l’instauration de procédures singulières, couteuses, longues, non-coordonnées aboutissant au mieux à une dévalorisation des produits, voire à l’abandon des procédures de « réusage »¹¹. Bien que le « réusage » de bois d’œuvre soit l’aboutissement d’un ensemble de décisions et activités^{13, 14}, les constats de nos premières explorations désignent le manque d’information, la non-élémentarisation, et l’altération des produits bois comme les freins majeurs à toute pratique de « réusage ». Or plusieurs travaux suggèrent que ces valeurs circulaires sont conditionnées au moment de la conception^{15, 16}. C’est pourquoi, nous formulons l’hypothèse que la conception est cruciale pour anticiper le maintien de l’intégrité, la démontabilité, et assurer le continuum informationnel sur les éléments et bâtiments en structure bois en vue de leur « réusage ».

(Paul-Martin Barbet, 2024)

Période du projet ou de la thèse :

2023 – 2026 (3 ans)

Potentiel du projet au regard du PM :

Le projet de recherche met en lumière l’importance du « réusage » du bois d’œuvre dans le contexte de la construction en France. Il explore les moyens d’améliorer et de promouvoir cette pratique en identifiant trois facteurs déterminants de la réemployabilité du bois d’œuvre : l’intégrité, la démontabilité/remontabilité et l’information. Ces facteurs et les informations qui en découlent font partie intégrante des réflexions autour du PM.

⁷ Ben Kheder S. 2022. « Du réemploi au « réusage » : l’évolution des pratiques architecturales ». *matériauxreemploi.com*.

⁸ Höglmeier K., Weber-Blaschke G. et Richter K. 2013. « Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction—A case study for south-east Germany ».

⁹ FCBA. 2022. « Gestion des déchets bois du bâtiment – GDBAT, Phase 1 : Gisement et devenir des déchets bois issus de la construction neuve, de la démolition et de la rénovation du bâtiment ». CODIFAB, France Bois Forêt.

¹⁰ Mejia A.O.Z. 2021. « Developing a grading tool for sustainable design of structural systems in buildings », Linköping University.

¹¹ Barbet P.M. 2022. « Entretiens sur le réemploi - Cycle-Up, Re-Mise, Bouygues Construction, ESB, CNRS, Qualiconsult et al. ».

¹² Geldron A. et Rocheteau V. 2015. « Les actions de l’ADEME pour soutenir la transition vers l’économie circulaire – Illustration 2015 ».

¹³ MEF. 2021. « Diagnostic activités et compétences dans la filière réemploi des matériaux de construction ».

¹⁴ Salza. 2020. « Construire le réemploi, État des lieux et perspectives : une feuille de route ». OFEV.

¹⁵ Osmani M., Glass J. et Price A.D.F. 2008. « Architects’ perspectives on construction waste reduction by design ».

¹⁶ Olanrewaju S.D. et Ogunmakinde O.E. 2020. « Waste minimisation strategies at the design phase: Architects’ response ».



© Nathalie Delmelle

ATELIER D'INTELLIGENCE COLLECTIVE

Quelles données sont à intégrer dans un PM pour en faire un réel support au réemploi ?

Animé par S. Trachte et A. Romboux

Types et objectifs de PM

Deux types de PM sont identifiés. D'une part, le PM pour le **réemploi actuel** des matériaux sortants des bâtiments existants. D'autre part, le PM pour le **réemploi futur** des matériaux entrants dans les nouveaux bâtiments ou lors de rénovations. Ces deux types de PM partagent un objectif commun : éviter la production de déchets. Cependant, ils peuvent aussi poursuivre des objectifs divers, comme mentionné dans l'introduction :

- Documenter les composants d'un bâtiment ;
- Documenter les procédures de maintenance, de réparation et de démontage ;
- Permettre aux utilisateurs futurs d'évaluer le potentiel de réutilisation et de valorisation ;
- Assurer la valorisation et le réemploi effectif après un cycle d'utilisation.

Selon les objectifs visés, les données à inclure peuvent varier.

Documenter les composants d'un bâtiment

Disposer de la documentation adéquate concernant les bâtiments et les matériaux dont ils sont composés facilite les procédures d'inventaire et garantit la réintroduction de matériaux de réemploi. Par conséquent, il est essentiel de **statuer sur l'état de fait** du bâtiment et d'identifier les données physiques dès la phase de conception. En particulier, ces données concernent :

- Les données de fabrication (matières premières intégrées)
- Les données environnementales
- Les données d'assemblages et de mise en œuvre
- La localisation dans le bâtiment
- Les quantités présentes dans le bâtiment

En plus des données « techniques », les acteurs envisagent d'intégrer de données plus qualitatives sur la **plus-value socio-économique** et le **savoir-faire/travail** en lien avec le matériau.

De plus, dans tout projet, un élément fait souvent défaut : une explication claire du contexte et des **concepts généraux** qui sous-tendent chaque décision du processus de conception/construction. Cela permet de comprendre pourquoi chaque choix a été fait de manière spécifique, que ce soit le choix des matériaux, des systèmes d'assemblage ou des concepts généraux guidant l'ensemble du processus.

Documenter les procédures de maintenance, de réparation et de démontage

La documentation des procédures de maintenance, de réparation et de démontage joue un rôle central dans le prolongement de la durée de vie des matériaux/composants. Elle facilite également l'entretien, la réparation et la remise à neuf des composants.

Ajouter des données relatives à la **maintenance et l'entretien**, ainsi que des données relatives à **l'historique vécu par le bâtiment** (ex. incendie) semble donc être un plus. Les acteurs évoquent notamment l'importance de suivre **l'état de conservation/dégradation** des matériaux dans le temps, sur base d'une liste de défauts. La piste d'utiliser des capteurs qui mesurent l'évolution temporelle est évoquée. Des liens intéressants semblent également pouvoir être fait avec les carnets de maintenance. Les acteurs suggèrent d'adopter la norme hollandaise pour évaluer les dommages potentiels sur une durée de vie. Cette norme classe les dommages potentiels des matériaux de construction, facilitant ainsi l'identification de leur état et de leur réutilisation éventuelle.

Toutes ces **données dynamiques et mouvantes** concernant l'historique du bâtiment sont à maintenir à jour et à communiquer aux utilisateurs futurs pour leur permettre d'évaluer le potentiel de réutilisation et de valorisation des matériaux/composants. Cependant, la question de la structuration de ces données pour comprendre l'évolution, reste floue et dépend du type de matériau/composant.

Permettre aux utilisateurs futurs d'évaluer le potentiel de réutilisation et de valorisation

Faciliter l'évaluation par les futurs utilisateurs du potentiel de réutilisation et de valorisation contribue à garantir une gestion efficace des déchets et des ressources. Même s'il est difficile d'anticiper l'usage futur des matériaux/composants, il est toutefois possible de décrire les **pistes de réutilisation et de valorisation future**. Bien souvent, la **valeur économique** de la matière première joue un rôle prépondérant dans l'évaluation du potentiel de réemploi. Or, d'autres matériaux/composants pourraient également susciter un certain intérêt si les données suivantes étaient à disposition :

- La date de fabrication et de mise en œuvre (permet de savoir si le matériau répond aux **normes** en vigueur)
- Les instructions de démontage et les outils nécessaires
- Le besoin de remanufacturation
- Le transport et le conditionnement préconisé
- Les aspect sécuritaire, esthétique, ...

Assurer la valorisation et le réutilisation effective après un cycle d'utilisation

Afin de promouvoir la circularité, de préserver la valeur des produits et de garantir son réemploi effectif, de **nouveaux modèles économiques** sont nécessaires (cf. économie de la fonctionnalité, économie du partage et le prolongement de la durée de vie). Ce changement de modèle économique a notamment comme conséquence de **responsabiliser les fabricants** sur l'ensemble du cycle de vie de leurs produits car ceux-ci serait plus impliqués dans une logique de Cradle to Cradle et/ou de système « take back ».

Structuration des données et niveaux visées

La structuration des données d'un PM devrait viser la simplicité et s'appuyer sur des normes standardisées. La question de la fiabilité et de la qualité des données est également cruciale, car le PM doit être dynamique et suivre le cycle de vie du bâtiment. Les matériaux et composants à labelliser, ainsi que l'autorité responsable de cette étiquetage, restent à déterminer.

Les informations à inclure dans un PM englobent non seulement les différents niveaux (matériau, composant, système et bâtiment), mais également la manière dont ces niveaux interagissent entre eux

(assemblages et mise en œuvre). Les intervenants suggèrent que les données du PM soient organisées en fonction des couches constructives visées (cf. structuration fonctionnelle de Brand) et ensuite répertoriées au niveau du bâtiment. Ainsi, le PM adopterait différentes formes en fonction du niveau et de la couche concernée. Pour le niveau matériau ou composant, il est suggéré que les données soient présentées dans une fiche, similaire à une fiche technique détaillée, mais enrichie avec des informations sur son assemblage. La fiche correspondant au niveau supérieur, la paroi, regrouperait alors les informations relatives aux différents matériaux/composants.

Meilleure exploitation des documents contractuels actuels

Relier le PM aux documents contractuels tels que le **dossier as-built, les fiches techniques des matériaux et des composants ainsi que le DIU** semble être une démarche essentielle pour créer un écosystème d'information cohérent et interconnecté. Cette approche faciliterait grandement le réemploi des matériaux actuels et futurs.

La question persistante à l'heure actuelle est de déterminer comment **établir des liens** significatifs entre ces documents et outils. Il est également crucial d'éviter que les dossiers ne deviennent **longs et lourds**, ce qui pourrait compliquer leur consultation et leur utilisation ultérieure. Par conséquent, il est nécessaire de **limiter la quantité de données** intégrées, en se concentrant sur les informations essentielles (suffisantes) et en les **structurant selon une logique claire ou un canevas** prédéfini. Pour garantir une qualité optimale du dossier, il est également primordial de trouver un **levier financier** adéquat.

Quel support / format de MP serait le plus adapté pour garantir sa durabilité dans le temps ?

Animé par A. Halbach et M. Renard

Constats

Les avantages et inconvénients du papier et du numérique

Deux principales familles de support se démarquent : le papier et le numérique, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients. Le papier, en tant que support, offre une pérennité des données grâce à sa longévité et son indépendance. En effet, contrairement aux données numériques, il ne dépend pas de systèmes informatiques spécifiques et peut être consulté sans nécessiter de compétences techniques particulières. En revanche, le numérique offre une flexibilité accrue en matière de recherche et d'organisation des informations grâce à des outils avancés de recherche, de tri et de filtrage. Cette caractéristique est particulièrement précieuse compte tenu du nombre et de la complexité des composants à inventorier. De plus, le numérique facilite le partage d'informations et la mise à jour des documents, des aspects cruciaux pour promouvoir l'urban mining. Étant donné que les données contenues dans le PM sont dynamiques et en constante évolution, la numérisation semble être la solution la plus appropriée.

Pérennité du support et de la donnée qu'il contient

Pourrons-nous toujours consulter et utiliser les informations de nos maquettes BIM dans 10 ans ? Le principal défi auquel est confronté le support ou format d'un PM numérique réside dans l'assurance de sa pérennité, à la fois en termes d'exploitation des données que de stockage. Les données brutes ne sont pas nécessairement lourdes ni problématiques, mais ce sont plutôt les données graphiques comme les maquettes numériques, les photos et les vidéos qui posent un réel défi. Or, ces types de données jouent un rôle central dans le domaine de la construction. Le format ou le support approprié pourrait également varier en fonction de l'ampleur du projet. Par exemple, la documentation pour la gestion de projet d'une rénovation unifamiliale ne serait pas la même que celle d'un projet hospitalier.

Valeur économique des données

Les professionnels soulignent l'importance de sécuriser ces données car les matériaux et produits de construction présentent une valeur économique significative. En effet, disposer d'une documentation appropriée concernant un bâtiment apporte un avantage certain à différentes étapes du cycle de vie. Tout d'abord, cela facilite son exploitation en fournissant des procédures claires pour l'entretien et la maintenance. Lors de rénovations ou de réhabilitations, cette documentation est essentielle pour éviter

les coûts supplémentaires liés à l'incertitude sur les systèmes de construction et les matériaux. En ayant une connaissance approfondie du bâtiment, les travaux seront plus faciles à réaliser et les solutions pourront être plus adaptées. Lors de la vente ou d'un changement de propriétaire, une documentation complète facilite la transition en assurant une meilleure compréhension des caractéristiques du bâtiment. De même, elle est précieuse pour évaluer la valeur des matériaux en fin de vie, en permettant un inventaire précis et en fournissant des manuels de démontage.

L'importance des acteurs dépasse celle du support/format

Les acteurs impliqués dans le cycle de vie d'un bâtiment jouent un rôle crucial dans la gestion et la transmission efficace des données tout au long du processus de construction. L'importance de leur rôle dépasse celle du choix du support ou format du PM. De plus, le rôle du maître d'ouvrage ne peut être sous-estimé, car il est celui qui définit les besoins, les objectifs et les exigences du projet, guidant ainsi les décisions et les actions des autres intervenants.

Besoins des acteurs

Equilibre entre documentation en amont et en aval

Aujourd'hui, les acteurs du secteur du bâtiment disposent de peu d'informations concernant les bâtiments existants et les matériaux qu'ils contiennent. Soit ces données n'ont pas été correctement documentées en amont, soit elles ont été perdues. Lorsque des documents sont disponibles, ceux-ci ne correspondent pas toujours à la réalité du terrain ou la réalité construite.

Face à ce constat, l'idée de documenter les matériaux après leur utilisation plutôt qu'en amont est avancée. Cependant, cette proposition ne fait pas consensus parmi les acteurs du secteur, car elle implique de réaliser deux fois le travail de documentation : une première fois lors de la conception et une seconde lors de la déconstruction. Malgré cela, les acteurs admettent que même avec une documentation préalable, des informations peuvent être perdues ou peuvent présenter le besoin d'être complétées. La plupart des acteurs penchent donc en faveur d'un processus de vérification après utilisation plutôt que d'une documentation exhaustive dès le départ. De plus, l'objectif du PM ne réside pas uniquement dans le stockage de données existantes mais également dans la mise à jour de celles-ci tout au long du cycle de vie du bâtiment. Ainsi, il est crucial de trouver un juste équilibre entre les efforts en amont et en aval pour optimiser la gestion des informations.

Normalisation, structuration et sécurisation des données

Actuellement, le manque de structuration et de standardisation des nomenclatures représente un défi majeur, non seulement pour les PM mais également concernant le DIU. Malgré le caractère obligatoire du DIU, celui-ci demeure souvent incomplet et peu structuré. De plus, les différences entre les nomenclatures des déchets et celles du réemploi compliquent considérablement le dialogue entre ces deux filières.

Un autre obstacle réside dans la protection des données, comme stipulé par le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD). Les acteurs expriment également des réticences quant au partage de données avec des entreprises privées, comme itsme®.

Dans cette optique, les professionnels réclament un système codifié « simple » supervisé par une autorité compétente afin de garantir l'ordre et la cohérence. Plutôt que de créer un nouvel outil, l'accent serait mis sur l'amélioration de ceux déjà en place (ex. Madaster).

Piste(s) de solution(s) proposées par les participants

Une plateforme officielle

Pour les professionnels, le PM devrait prendre la forme d'une plateforme officielle, accompagné d'un cadre réglementaire, qui centralise les informations importantes sur les bâtiments et les matériaux de construction qu'ils contiennent.

Les fonctionnalités souhaitées de cette plateforme officielle sont les suivantes :

- Dématérialiser les données et scinder l'information du support ;
- Structurer l'information en se basant sur une nomenclature standardisée (ex. CCTB) ;
- Résumer l'information pour faciliter la transmission et renvoyer via des liens vers les fabricants ;
- Disposer d'un moteur de recherche sur base de mots clés et filtres ;
- Afficher la disponibilité des matériaux (feu rouge/vert) ;

- Limiter et codifier l'accès pour les professionnels de l'industrie de la construction ;

Evolution des rôles et des métiers

Le fonctionnement de cette plateforme dépend fortement des personnes qui l'alimentent. C'est pourquoi, il est indispensable que chaque acteur ait conscience de son rôle, en particulier le maître de l'ouvrage. En effet, il serait plus impliqué dans la procédure qu'actuellement et porterait la responsabilité du contenu qui s'y trouve. Les acteurs suggèrent de s'inspirer du processus de dépôt de permis d'urbanisme informatisé en Flandre.

De plus, l'émergence d'un nouveau métier pourrait jouer un rôle crucial dans cette dynamique. Ce métier, désigné comme gestionnaire pour formaliser et relayer l'information, nécessiterait des intervenants de qualité, possiblement avec un profil d'informaticien pour compléter efficacement les équipes.

Marquage des matériaux et mécanisme de connexion

Une question subsiste concernant la liaison entre l'élément physique et les données qui lui sont attribuées. Les participants soulignent l'importance du marquage des matériaux, comme cela se faisait autrefois lorsque les architectes signaient leurs bâtiments ou lorsque les fabricants de briques apposaient un tampon. Ainsi, le choix spécifique du mécanisme de connexion (tel qu'un QR code) semblerait moins crucial.

Si le succès du PM était totalement assuré, quel usage pourriez-vous en faire et quel rôle pourriez-vous jouer dans application ?

Animé par C. Dautremont et C. Dubois

Rôles des acteurs dans sa mise en oeuvre

La mise en œuvre des PM a un impact sur diverses professions à différentes échelles. Ainsi, la gestion de ces PM requiert une approche multidisciplinaire, bien que centralisée.

Lors de la **conception**, le PM influence essentiellement la manière de travailler des architectes, des métiers liés au gros œuvre, ainsi que les fabricants de matériaux. En effet, ce sont eux qui sont responsables de la formalisation et de l'intégration des informations adéquates dans le PM au moment de la conception.

Durant l'**usage** du bâtiment, le propriétaire et/ou gestionnaire est tenu de veiller à la mise à jour des données afin que le PM reflète avec précision l'état actuel ainsi que l'historique du bâtiment et de ses composants. Dans certains cas, les occupants pourraient également être amenés à effectuer la mise à jour et/ou l'ajout de données.

En **fin de vie**, le PM détermine le propriétaire des matériaux, qui peut être le fabricant (cf. systèmes de take back). Il mentionne aussi, le cas échéant, les partenariats et les contrats potentiels de recyclage.

Les chercheurs jouent également un rôle dans la mise en œuvre des PM en créant un lien entre la recherche et l'innovation et en dialoguant avec les décideurs politiques et stratégies régionales.

Usages qu'en feraient les acteurs

Permettant de suivre le comportement des matériaux dans le temps, le **monitoring des matériaux** constitue un pilier fondamental de l'usage que les acteurs feraient du PM. Cette temporalité offre une vision précise de l'évolution des éléments de construction, facilitant ainsi la planification des interventions de maintenance et d'entretien. Les professionnels peuvent accéder rapidement aux informations essentielles, assurant la fiabilité des données et permettant un suivi précis des opérations (cf. QR code city).

L'**inventaire détaillé** de l'existant fournit une vision complète de la composition, de la nature, des quantités et de l'impact des matériaux, facilitant ainsi le diagnostic et le potentiel de réemploi. Disposer de données fiables concernant l'existant permettrait aux architectes d'éliminer une étape du processus de conception et ainsi présenterait une rentabilité accrue à long terme.

La **centralisation des informations** sous format digital garantit la conservation et la pérennité des données, assurant ainsi une continuité entre les différentes générations et propriétaires des bâtiments. De plus, cette gestion des données permet une accessibilité à l'information, tout en respectant les réglementations en vigueur.

Le PM devient également un **vecteur de conception et d'orientation des projets**, offrant la possibilité d'orienter les projets en fonction du contexte local et des matériaux disponibles. Grâce à une cartographie précise, les professionnels peuvent adapter le design en intégrant les ressources existantes.

L'**identification des propriétaires** des matériaux simplifie la reprise et la certification des matériaux, facilitant ainsi la mise en place de nouveaux modèles économiques, notamment dans le cadre du leasing de matériaux (cf. économie de la fonctionnalité).

Une analyse fine des flux entrants et sortants permettrait le **développement de nouveaux marchés** s'appuyant sur l'anticipation de la disponibilité des ressources, en particulier pour les matériaux qui sont facile à démonter et dont l'offre sur le marché est stable.

Risque et dérives

Bien que les PM offrent des avantages potentiels en termes de transparence et de durabilité dans la chaîne d'approvisionnement, il est crucial de reconnaître et de gérer les risques et les dérives associés à leur utilisation. Les risques et dérives soulevés par les participants sont :

- La conservation des données à l'infini ;
- Des possibles difficultés d'accessibilité à la lecture ;
- Un déséquilibre entre grandes et petites entreprises ;
- Le non-usage du PM pour des petits projets ;
- Usage responsable ;
- Le greenwashing ;
- Le stockage des données est énergivore à gérer ;
- Le possible manque de contrôle des contenus ;
- La fiabilité des données ;
- La sécurité des données (type et localisation) ;



© Nathalie Delmelle

CONCLUSION

A. Halbach (URA, FA, ULiège), S. Trachte (UR AAP, FA, ULiège)

Intervention des trois experts

Les contributions des trois experts ont mis en lumière les défis, les opportunités et les avancées dans le domaine du réemploi des matériaux de construction et du « Passeport Matériau » (PM) et ce à différentes étapes du cycle de vie. L'intervention de l'asbl Rotor (M. Ghyoot) s'est concentrée sur l'identification et la réutilisation des matériaux en présence dans les bâtiments existants. L'intervention de Buildiwe (L. Maes) s'est attachée aux différents paramètres devant être intégrés au niveau des matériaux et des bâtiments, dans le cas de construction neuve, en vue de leur réemploi futur ainsi qu'à clarifier les responsabilités des différents acteurs de la construction et à promouvoir une collaboration efficace entre eux. Enfin, l'intervention de la C. De Wolf (ETH Zürich, lab CEA) a questionné le rôle du numérique et de la digitalisation dans le cadre du développement du PM et de la caractérisation des matériaux et éléments de construction.

Le concept de PM a d'abord été requestionné par les trois intervenants, tant au niveau de son cadre lexical qu'au niveau de sa pertinence, de sa mise en œuvre technique et de son rôle dans un processus collaboratif. De manière générale, le terme « Passeport matériau » est remis en cause au sein de l'asbl Rotor (M. Ghyoot), d'une part parce que **documenter un bâtiment, loin d'être une pratique innovante, est un processus déjà ancien et courant dans le secteur de la construction** et d'autre part, parce que ce terme évoque un dispositif de contrôle historiquement et politiquement chargé. En outre, ce terme tire sa légitimité et sa validité d'une autorité centrale unique alors que le réemploi des matériaux et éléments de construction nécessite un processus évolutif de caractérisation dans lequel interviennent différents intervenants.

Buildwise (L. Maes), à la suite des différents projets de recherche qui ont été menés, a constaté **qu'une clarification du terme « passeport matériau » est aujourd'hui nécessaire en raison de la diversité des termes utilisés pour désigner ce support et des différentes définitions, significations et usages qui lui sont attribués**. Buildwise insiste sur le fait qu'il faut distinguer l'échelle « bâtiment » (bouwwerkpaspoort)

du simple composant ou matériau car cette échelle permet aussi d'englober d'autres infrastructures. L. Maes a également mis en évidence un manque d'intégration du terme au niveau de la taxonomie européenne qui insiste davantage sur le rôle des intervenants dans la gestion et la conservation des données que sur la structure du PM et les données à y intégrer.

Enfin, C. De Wolf (ETH Zürich) a appuyé l'idée énoncée par l'asbl Rotor sur le processus de caractérisation qui fait intervenir plusieurs acteurs sur l'ensemble des cycles de vie ou utilisation, **en élargissant la réflexion à la manière dont les données sont connectées à un matériau et à la traçabilité de celles-ci.**

La question des données relatives au PM a ensuite été abordée. Plusieurs réflexions ont ainsi été proposées par les intervenants.

La première (M. Ghyoot) porte à la fois sur le potentiel de réemploi mais également sur les caractéristiques pouvant accentuer ou réduire celui-ci, sachant que le potentiel de réemploi d'un matériau, produit ou élément de construction **n'est pas une donnée fixe. C'est une donnée évoluant en fonction des circonstances et du contexte général.** M. Ghyoot insiste sur le fait que malgré la fluctuation de cette donnée, le potentiel de réemploi des produits de construction ne peut plus être ignoré aujourd'hui dans un contexte de raréfaction des ressources et de gestion circulaire des flux de matières.

La seconde réflexion porte sur l'identification de ce potentiel au moyen d'inventaires. M. Ghyoot met en évidence le besoin de cibler les caractéristiques pertinentes pour chaque catégorie d'éléments, en se **concentrant sur les informations nécessaires et suffisantes pour assurer le réemploi, sachant que ces informations peuvent varier en fonction de la catégorie d'éléments de construction mais surtout fonction de l'usage final auquel ils sont destinés.**

La troisième réflexion s'attache au processus évolutif de caractérisation des produits et éléments de réemploi, dans lequel l'inventaire doit être considéré comme une **première étape.** Selon M. Ghyoot, cette étape peut ensuite se compléter avec différentes mesures ou tests (sur site et/ou en laboratoire) avant remise en œuvre et se prolonger, par des monitorings après leur réintroduction dans un bâtiment. Ce processus évolutif fait ainsi intervenir différents acteurs à différentes étapes du cycle de vie. De ce fait, il est essentiel de garantir la pérennité et la continuité du processus et des chainons par le développement **d'un support unique de rassemblement et de stockage** des données. Ce support devrait être, idéalement, léger pour ne pas entraver la continuité du processus de caractérisation, agile pour s'ajuster aux différents acteurs intervenant dans le processus et abordable pour concurrencer le marché des matériaux neufs.

La quatrième réflexion vise l'harmonisation des procédures et le développement d'un cadre normatif et/ou de référence. Buildwise (L.Maes) insiste sur le **besoin d'harmonisation tant au niveau de l'usage du PM et de l'échelle visée qu'au niveau des paramètres et données devant y être intégrées et des pratiques servant à sa mise en œuvre.** Buildwise fait également le constat que **les données sont disponibles, notamment au travers des modèles BIM mais que celles-ci présentent un manque d'interopérabilité.** Ce travail de fiabilité et d'interopérabilité de la donnée est un des objectifs du projet Digital 4 Circular Construction, qui vise également à **développer un cadre de référence pour l'évaluation de la circularité dans les bâtiments et à développer un *Minimum Viable Product (MVP)* en s'appuyant à la fois sur les initiatives existantes et les besoins exprimés des acteurs** impliqués dans le cycle de vie du bâtiment. Ces deux appuis ont permis d'une part, d'identifier les données nécessaires au réemploi et d'autre part, de les classer par phase de cycle de vie et par acteur. Enfin, pour Buildwise, il est crucial de définir des paramètres clairs pour les PM, de clarifier les responsabilités des différents acteurs de la construction et de promouvoir une collaboration efficace entre eux.

Enfin, une dernière réflexion a abordé le support offert par les outils numériques et l'intelligence artificielle dans la collecte des données pour estimer un potentiel de réemploi et dans le support aux pratiques de réemploi. Les recherches menées par l'équipe de recherche de C. De Wolf, à l'ETH Zürich, explorent les possibilités offertes par les technologies numériques pour faciliter le réemploi des matériaux. Des outils tels que le digital fabrication, le reality capture, l'intelligence artificielle (IA), le computational design modeling, la réalité virtuelle, le big data et le machine learning sont étudiés pour leur potentiel à optimiser le processus de réutilisation des matériaux. **Ces recherches ont mis en évidence à la fois la question de l'approvisionnement en matériaux de réemploi (comment déterminer les flux futurs et comment relier les chantiers de démolition/déconstruction avec les chantiers de nouvelles construction) et la connexion entre les acteurs sur toute la chaîne de valeur.** Ainsi, l'objectif est de créer, à l'aide des outils numériques

et de l'IA, des solutions innovantes qui favorisent une utilisation plus efficace des ressources et une réduction de l'empreinte environnementale de la construction.

Les trois orateurs ont ensuite abordé la question des acteurs et de leurs besoins. L'intervention de L. Maes (Buildwise) a montré que la vision de deux acteurs sur les objectifs du PM et son utilisation divergeait sensiblement. L'architecte y voit un réel support au réemploi, tandis que l'entreprise y voit un moyen d'assurer une gestion plus efficace et de réduire les marges d'erreurs. Au niveau des données nécessaires, l'architecte insiste davantage sur les détails techniques et les éléments cachés, alors que l'entreprise met l'accent sur l'interopérabilité et sur l'identification des matériaux à haut potentiel de réemploi. En ce qui concerne la responsabilité du PM, l'architecte voit l'entrepreneur comme l'acteur le plus approprié, alors que l'entreprise envisage plutôt une responsabilité partagée entre tous les acteurs de la chaîne de construction. Cette dernière vision rejoint l'idée émise par l'asbl Rotor (M. Ghyoot) sur le processus évolutif de caractérisation où chaque acteur, au fil du cycle de vie, vient compléter l'information existante. Ce qui est également soutenu par C. De Wolf (ETH Zürich) sur le besoin de connecter les acteurs les uns aux autres.

Présentation des recherches doctorales

Les quatre interventions des chercheurs-doctorants ont également permis d'ouvrir le champ des réflexions sur le PM, en faisant le lien avec l'analyse de cycle de vie (ACV) et les impacts environnementaux (aspects également abordés par L. Maes et C. De Wolf), en intégrant dans la réflexion, le réemploi les systèmes techniques du bâtiment et en inscrivant celui-ci dans un contexte environnemental et social plus large, en questionnant la gestion numérique du cycle de vie des composants et produits de construction ainsi qu'en abordant la conception circulaire et le réusage dans le secteur du bois en France.

Ateliers d'intelligence collective

Les trois ateliers d'intelligence collective se sont chacun attachés à répondre à une question particulière, en lien avec le PM, en abordant (1) la question des données, (2) la question du support et de sa pérennité ainsi que (3) la question du rôle des acteurs dans sa mise en oeuvre et application.

Quelles données sont à intégrer dans un PM pour en faire un réel support au réemploi ?

Le premier atelier, animé par S. Trachte et A. Romboux, s'est focalisé sur **les types de données à intégrer dans le PM**, en vue de renforcer les pratiques de réemploi tant aujourd'hui que dans le futur. **Deux types de PM ont été envisagés**: le PM permettant de caractériser les matériaux sortants de opérations actuelles de rénovation et de déconstruction et le PM intégrant les données et caractéristiques des matériaux neufs utilisés dans les nouvelles constructions ou les rénovations. **Si ces deux PM partagent un ambition commune, celui de favoriser le réemploi, tout en éliminant la notion de déchet, peuvent aussi répondre à une palette plus large d'objectifs et ainsi intégrer des données variées et fluctuantes en fonction de la situation.**

Un premier point de discussion a abordé le « comment documenter les constituants d'un bâtiment », en mettant en évidence que cette documentation d'une part, facilite les procédures d'inventaire futur, et d'autre part, renforce et soutient les pratiques de réemploi. **Documenter un bâtiment et ses constituants signifie statuer sur l'état de fait du bâtiment en identifiant des données physiques et techniques, et ce, dès la phase de conception.** Outre ces données techniques, il serait aussi **pertinent d'intégrer des données relatives au contexte général du processus de décision** (depuis la conception jusqu'à la construction) ainsi que des données plus qualitatives liées à la plus socio-économique.

Un second point a abordé le « comment documenter les procédures liées à la vie du bâtiment (maintenance, réparation) et à son démontage ». Ces données sont essentielles pour favoriser le prolongement des durées de vie de constituants par leur ré-utilisation sur plusieurs cycles. **Des données relatives à l'histoire et au vécu du bâtiment semblent pertinentes pour compléter les données liées à la maintenance et à l'entretien.** Il est également essentiel de pouvoir suivre l'état de conservation des éléments sur base d'une structure commune. Sachant que ces données peuvent fluctuer d'un bâtiment à l'autre et/ou qu'elles peuvent passer par plusieurs propriétaires/gestionnaires sur la durée de vie d'un bâtiment, **il paraît crucial de les maintenir à jour et d'établir une structure claire pour collecter, stocker et communiquer ces données.**

Un troisième point a abordé la notion d'évaluation du potentiel de réemploi. Comment au travers des données intégrées au PM, assurer l'évaluation d'un potentiel de réemploi et ce, pour garantir une gestion

efficace des déchets et des ressources ? Sachant que les filières de réemploi et valorisation fluctuent rapidement et que la valeur économique d'un produit ou matériau jour, sur le long terme, un rôle prépondérant, **il serait intéressant d'intégrer certaines données pour susciter un intérêt telles que la date de fabrication et de mise en oeuvre, les instructions de démontage, le conditionnement préconisé, les données relatives à la santé et la sécurité, etc.**

Un quatrième point a abordé la question de la structuration des données, sachant que les points suivants sont essentiels pour assurer une bonne utilisation du PM: **la simplicité et la souplesse d'utilisation, la qualité et la fiabilité des données. Cette structuration devrait s'appuyer sur des normes standardisées, afin d'assurer une certaine homogénéisation dans le développement et la réalisation des PM.** La structure devrait idéalement tenir compte des différents niveaux d'informations (matériau, composant, système, bâtiment) mais aussi des interactions entre ces niveaux. Une solution envisagée serait de structurer par couches constructives.

Le dernier point s'est focalisé sur les documents existants permettant de documenter un bâtiment, **en partant du principe que les documents contractuels existants tels que le dossier as-built, les fiches techniques et le DIU, forment un éco-système d'informations cohérent, robuste et interconnecté.** La question principale est de savoir comment établir des liens clairs entre ces documents en évitant que ceux-ci ne deviennent trop lourds à manipuler et à consulter. **Il est donc essentiel de (1) limiter la quantité de données en se concentrant sur les informations nécessaires et suffisantes et de (2) structurer ces données selon un canevas clair, prédéfini et commun à tous les acteurs.**

Quel support / format de MP serait le plus adapté pour garantir sa durabilité dans le temps ?

Le second atelier, animé par A. Halbach et M. Renard s'est attaché à la question du support ou du format le plus adapté pour garantir la durabilité dans le temps du PM.

Une série de constats ont d'abord été établis sur les potentiels supports à disposition, la pérennité de ceux-ci ainsi que celle des données qu'ils contiennent, la valeur économique des données et le rôle des acteurs dans la transmission des données. **Les supports papier et numérique ont été questionnés. Chacun présente des avantages et des inconvénients mais le support numérique semble être le support le plus adapté en termes de flexibilité, d'organisation et de partage des informations ainsi que de suivi et mise à jour des données.** Cependant, le choix du support pourrait varier en fonction du type et de l'ampleur de projet. La pérennité du support numérique a ensuite été interrogée, tant en termes **d'exploitation que de stockage de données sachant que les données relatives au projet d'architecture peuvent prendre de nombreuses formes et que les données iconographiques, souvent plus complexes à gérer, sont essentielles dans la compréhension du projet.** Le rôle des acteurs dans la gestion et la transmission des données a également été discutée, en mettant l'accent sur le rôle du maître d'ouvrage (sur les phases de conception et de construction) ou du gestionnaire (sur la phase d'exploitation).

Un second point de discussion s'est attaché aux besoins des acteurs en **mettant en évidence l'équilibre à trouver entre les besoins amont et aval en termes de documentation et de données.** Au niveau de la phase de conception/construction, il y a lieu de collecter les informations nécessaires et suffisantes qui pourront faire, après un premier cycle d'utilisation, l'objet d'un processus de vérification, afin de s'assurer de leur correspondance avec la réalité construite et de leur bonne mise à jour en fonction du vécu du bâtiment.

Une troisième point a évoqué la question de la normalisation, la structuration et la sécurisation des données, sachant qu'il s'agit d'un enjeu majeur tant pour le PM que pour d'autres documents de documentation utilisés actuellement (DIU, dossier as-built). **La question de la standardisation des nomenclatures est évoquée, en mettant l'accent sur les différences entre les nomenclatures « déchets » et nomenclatures « réemploi » qui complexifie la gestion des données.** La question de la protection des données est posée notamment par rapport au partage des données entre les différents acteurs, voire avec certaines entreprises privés. Une solution évoquée serait de mettre en place, sur base des outils déjà existants sur le marché, un système codifié, simple d'utilisation et supervisé par une autorité compétente. Enfin des **pistes de solutions ont été proposées.** La première piste vise la **création d'une plateforme officielle, accompagnée d'un cadre réglementaire, facilitant la centralisation des informations sur les bâtiments et leurs constituants.** Cette plateforme offrirait différentes fonctionnalités et être directement connectées à d'autres outils existants comme le CCTB, les documents techniques des fabricants, la base

fédérale de déclarations environnementale, etc. La seconde piste concerne **la prise de conscience par chaque acteur du rôle qu'il a à jouer et principalement du maître d'ouvrage**, actuellement peu impliqué dans ces démarches et **qui porterait la responsabilité des données et du contenu du PM**. Une source d'inspiration pourrait être le dépôt informatisé du permis d'urbanisme, tel qu'il est proposé aujourd'hui en Flandre. La question des rôles implique sans doute la création de nouveaux métiers, notamment au niveau de la formalisation et la transmission des données. **La dernière piste proposée concerne le marquage des matériaux et produits de construction et le mécanisme de connexion entre celui-ci et les données.**

Si le succès du PM était totalement assuré, quel usage pourriez-vous en faire et quel rôle pourriez-vous jouer dans application ?

Le dernier atelier, animé par Ch. Dautremont et Ch. Dubois a examiné la question de l'usage du PM et du rôle joué par chaque intervenant dans son application.

Un premier point a abordé la question du rôle des acteurs, sachant que malgré le fait que **la gestion du PM doit restée centralisée, elle nécessite également une approche multidisciplinaire, vu son impact sur différentes étapes du cycle de vie, sur différentes professions et sur différentes échelles d'action.**

Un second point s'est attaché à l'usage et la manière dont le PM serait utilisé par ces différents acteurs. Un **premier usage cité est le monitoring des matériaux qui pourrait être fait à différentes étapes du cycle de vie. Ce monitoring constitue vraisemblablement un des piliers du PM en termes d'utilisation**, car il permet d'établir une vision assez réaliste, à différentes étapes du cycle de vie, de l'évolution du gisement de matériaux constituant le bâtiment. Cette vision **facilite à la fois la planification des interventions d'entretien et de maintenance, mais également un suivi précis des opérations.** De même, pour les bâtiments existants, disposer d'un inventaire détaillé du gisement de matériaux en présence, et de données fiables sur celui-ci, offre l'opportunité d'une rentabilité accrue sur le long terme.

La question de la centralisation des données, sous forme format digital, a été ensuite discutée. **Cette centralisation serait le garant de la pérennité des données et de la transmission de celles-ci entre différentes générations de propriétaires.** Cette gestion devrait cependant respecter les réglementations en vigueur. **Si la centralisation des données peut être garantie, le PM devient en quelques sorte le vecteur de conception et d'orientation des projets**, puisque l'ensemble des données accessibles, via cette centralisation, pourraient faire l'objet d'une cartographie et ainsi faciliter l'intégration de ressources matérielles existantes dans les projets de construction et de rénovation.

Cette gestion centralisée, si elle permet l'identification des propriétaires de matériaux, simplifierait les procédures de certification pour la reprise et faciliterait le développement de nouveaux modèles économiques, comme du leasing de matériaux.

La gestion centralisée des données permettrait aussi une analyse fine des flux matériels entrants et sortants et faciliterait ainsi le développement de nouveaux marchés, en fonction de la disponibilité des ressources. Un dernier point a abordé la questions des dérives et des risques liés à l'usage du PM. Si le PM joue un rôle important en termes de transparence et de durabilité dans la chaîne d'approvisionnement, certains risques ou dérives ont été soulevés tant au niveau des données (vérification et contrôle, pérennité, accessibilité, interopérabilité et sécurité) qu'au niveau de l'usage qui en est fait (déséquilibres créés entre petites et grandes entreprises, non usage du PM pour des petits projets, greenwashing, etc.).

Conclusion

En conclusion, de nombreuses interrogations sont aujourd'hui soulevées par le passeport matériau et sa mise en oeuvre, que ce soit au niveau de son format et de sa structuration, au niveau des données à y intégrer (types de données, fiabilité, interopérabilité, pérennité, contrôle et sécurisation) ou qu'au niveau de son usage dans le secteur de la construction et du rôle joué par les acteurs impliqués dans son application.

Ainsi le développement du passeport matériau ouvre le champ à de nombreuses recherches qui impliquent des compétences variées dans de multiples domaines, tant en sciences humaines qu'en sciences et techniques.

