

Le numérique vecteur de réemploi

2020 antoine faivre

Ce document est mis à disposition selon les termes de la licence créative Common Attribution (CC-By <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/ch/deed.fr>) Les contenus provenant des sources externes ne sont pas soumis à la licence CC BY et leur utilisation nécessite l'autorisation de leurs auteurs.



Le numérique vecteur de réemploi

Enoncé théorique de master en architecture:

Antoine Faivre

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Juin 2020

Travail encadré par:

Professeur responsable de l'énoncé théorique

Corentin Fivet

Directeur Pédagogique

Bernard Cache

Maître EPFL

Sebastian Duque

Sommaire

Introduction	7
Chapitre 1	
Le réemploi et l'économie circulaire	9
Chapitre 2	
Le numérique, dialogue entre les machines . . .	17
Chapitre 3	
Le numérique face aux besoins du réemploi . .	27
Conclusion	41
Annexes	43

Introduction

Ce travail a pour but de présenter ce qu'est le réemploi dans le domaine de l'architecture, de poser les bases des outils numériques utilisés dans les bureaux d'architectes et plus spécifiquement ce qu'on appelle le Building Information Modeling, comme représentation des principes d'interopérabilités. Les thèmes abordés seront notamment le BIM et ses possibilités d'application à l'architecture circulaire, ainsi que de nouveaux aspects liés à la démontabilité. Enfin, nous pourrons conclure sur ce que pourrait être un moteur de recherche dédié aux professionnels de la construction dans l'avenir.



Le Laguna Garzon Bridge créé par l'architecte new-yorkais
Rafael Viñoly[1]

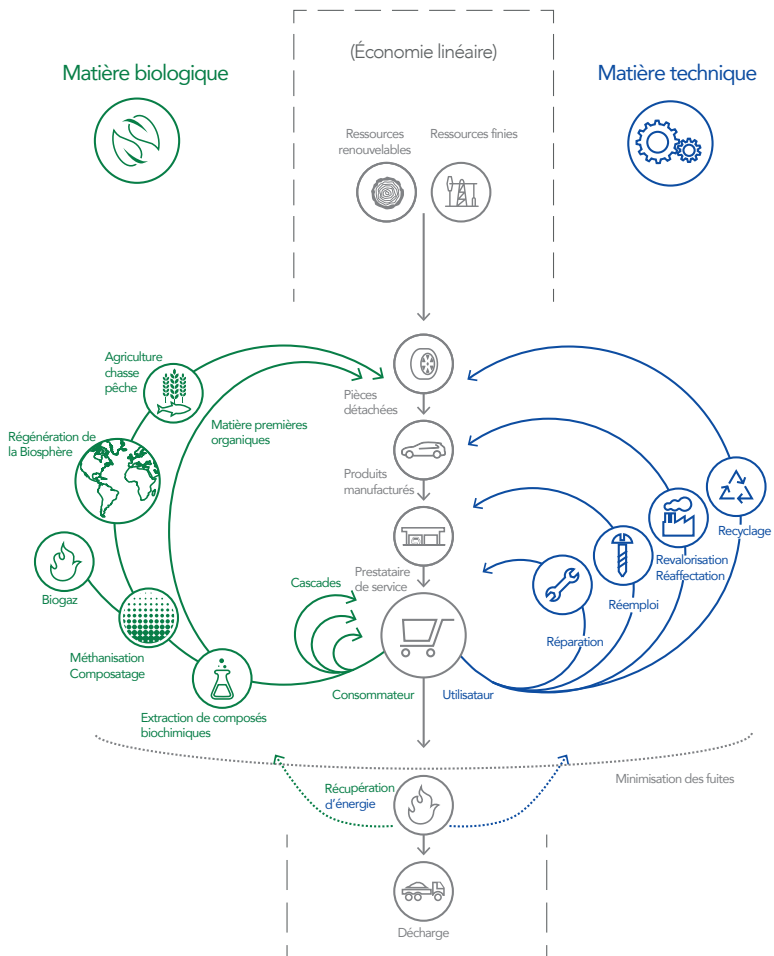
Chapitre 1

Le réemploi et l'économie circulaire

Si l'économie circulaire donne l'impression d'être un phénomène nouveau, il n'en est rien. En fait, la réutilisation de composants a depuis toujours été instinctivement mise en pratique. Il est normal de considérer des éléments issus de matières premières, dans lesquelles ont été investi du temps et de l'énergie comme ayant plus de valeur que la ressource initiale. C'est seulement au XXème siècle que les pratiques se sont brusquement modifiées^[2]¹. Si aujourd'hui, il semble ordinaire de rémunérer un démolisseur, à l'époque, cette idée pouvait passer comme insolite. Dans le passé, le métier consistait soit au rachat d'éléments dit sur pied, avec la contrainte d'avoir à charge le démantèlement, ou alors à l'acquisition d'assortiments déjà démantelés et présentés au public sous forme de lot. Il faut préciser que la prise en charge d'un élément dit sur pied est contraint par une durée avant laquelle l'acheteur s'engage à rendre la parcelle vierge et aplanie. Ce qui rendait ces opérations attractives pour les entreprises de démolition, c'est que la revente des matériaux ainsi

1 Source aillant servit à l'élaboration de ce paragraphe.

Économie circulaire



Ce diagramme est traduit et légèrement modifié de l'original tiré du livre *Building a Circular Future* (p. 230) dont la source originale provient de the Ellen MacArthur Foundation.

obtenus pouvait valoir jusqu'à trois fois le prix d'achat du lot. Les facteurs qui ont entraîné un changement dans la pratique de la démolition sont notamment liés aux contraintes de temps, d'espace et de qualité des constituants des édifices à raser. Dans ce nouveau contexte le respect des délais devient primordial puisque des travaux terminés avant la date impartie seront récompensés alors qu'un dépassement du temps départi aboutira à des pénalités. Ces nouvelles pressions sont également exacerbées par la période d'après-guerre durant laquelle, il va falloir reconstruire en masse et pour ce faire, les ruines ou anciennes constructions qui ne correspondent plus aux normes doivent être liquidées à la hâte.

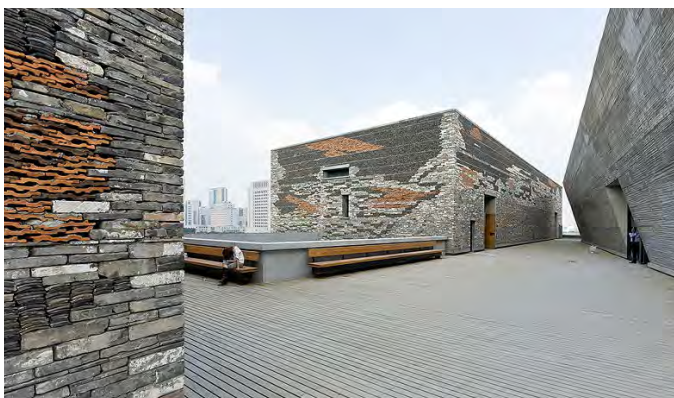
De nos jours, le réemploi s'inscrit dans un concept plus général: l'économie circulaire[3]. Le but de ce modèle économique est de proposer un maximum de cycles de vie dans lesquels la matière évoluera afin de repousser le plus longtemps possible le stade où elle ne sera plus utilisable et atteindra l'état de déchets. Il existe différents niveaux de cycles: la réparation, le réemploi, la revalorisation, la réaffectation et le recyclage. Ces cycles sont présents dans deux domaines : le biologique et la technique.



Richard Greaves, anarchitecture[8]



«De Fire Stryrelser», de GXN[9]



Musée historique de Ningbo, Wang Shu[10]

Après ce retour aux réemplois, l'architecte et le maître d'ouvrage doivent s'assurer qu'ils partagent une vision commune. Encore aujourd'hui l'image présente dans l'inconscient collectif à propos de la réutilisation des matériaux serait plus proche de celle de Richard Greaves², alors que le point de vue de l'architecte serait plutôt celui du projet «De Fire Stylrelser»^[4]³ parce que cette manière de faire est là pour démontrer que le réemploi a sa place dans une esthétique commune. Le réemploi fait donc face à une dichotomie de langage. On peut prendre comme exemple le musée d'art contemporain de Ningbo^[5] dont l'expression fait partie du langage du réemploi. L'accumulation d'éléments sur les façades périphériques ainsi que la présence de mur en béton au centre de l'édifice donne l'impression que les multiples éléments extérieurs ont été saisis dans le béton. En pratique ce n'est pas le cas, les éléments tiennent principalement par empilement, structurés ponctuellement par des supports métalliques. De ce fait, ces éléments seront un jour récupérables. Si le langage impacte sur la communication de l'édifice, ce qui est primordial c'est l'assemblage des éléments entre eux afin de permettre la réversibilité.

2 Sculpteur - récupérateur et anarchitecte québécois

3 Projet mené par : 3XN Architects, MT Højgaard, DEAS and Balslev

La suisse pousse-t-elle aux réemplois ? Si la protection des ressources naturelles fait partie de sa constitution^[6] et qu'elle est très forte en terme de recyclage, il reste du progrès à faire du côté du réemploi. Selon Yves Corminboeuf⁴ les investissements et engagements pris pour améliorer le recyclage auraient tendance à brider le réemploi. Il n'y a donc actuellement pas de dispositif particulier régulant ou valorisant le réemploi des matériaux dans le domaine de l'architecture. Toutefois dans un article du *Tracés*^[7], Barabara Buser⁵ qui met en pratique le réemploi en tant qu'architecte, fait part d'initiatives proposées à Berne pour inciter au réemploi dont l'une porte sur la mise en place d'un impôt anticipé sur le réemploi et l'autre serait d'obliger les architectes à réutiliser 5% de ce qui serait déconstruit dans un projet. Il n'existe pas non plus de mise en valeur spécifique comme l'équivalent du prix solaire suisse. décerné chaque année par l'agence solaire suisse *Solar Agentur* ou les normes minergies et les aides de l'état qui y sont associées.

4 Membre de l'association *Matériuum*.

5 Architecte chez Baubüro In Situ



Pantogram[11]

Chapitre 2

Le numérique, dialogue entre les machines

Ce chapitre s'articule en priorité autour du BIM. Il est nécessaire de clarifier cet acronyme qui a tendance à être utilisé pour désigner tout ce qui se réfère à l'interopérabilité et dont on a fini par perdre le sens. Mieux comprendre le BIM nous permettra d'envisager son utilisation future. Nous remontrons à ses origines pour ensuite définir ce que signifie ces trois lettres. Enfin ce chapitre se terminera par ce qu'a pu être la mise en pratique du BIM dans l'architecture durable^{[12][13][14][15]}¹.

Un peu comme pour le réemploi, cette notion de communication entre appareils n'est pas nouvelle. Il est possible de remonter jusqu'en 1970, époque à laquelle l'armée de l'air américaine lança un projet pour faciliter l'échange d'informations entre ses différents logiciels de conception assistés par ordinateur. Cela fut motivé par les erreurs ou de la perte d'informations induites par le fait que les différentes équipes impliquées dans le développement des avions, utilisaient des logiciels

1 Source aillant servit à l'élaboration de ce chapitre.

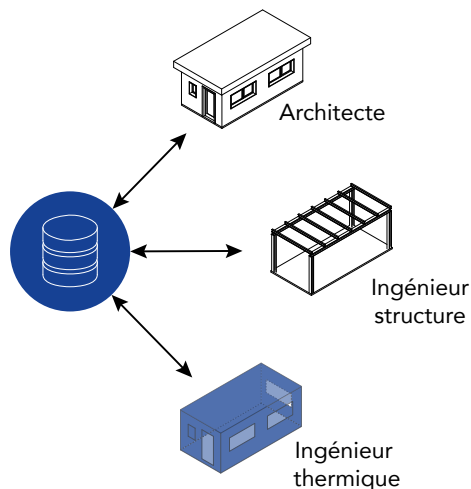
différents qui correspondaient aux besoins de chacun. Ces logiciels conçus de manière séparée, posaient des problèmes lorsqu'il fallait échanger des informations entre par exemple : une équipe d'ingénieurs, une autre de designer et enfin de constructeurs. Ces difficultés d'échanges d'informations ont été génératrices d'erreurs, car il fallait parfois redessiner ce qui avait été transmis, pour intégrer les éléments des collaborateurs au projet. Il fallait impérativement améliorer la capacité de dialogue entre les programmes. C'est pour cette raison que *the Initial Graphics Exchange Specification* fut développé. L'IGES devient ainsi le premier format d'échange destiné à améliorer l'interopérabilité entre logiciels.

Le Building Information Modeling tel que le définit l'Objectif BIM², se traduit par Modélisation des Informations (ou données) du Bâtiment et est avant tout une méthode de travail et une maquette numérique paramétrique 3D qui contient des données intelligentes et structurées. Le BIM est le partage d'informations fiables tout au long de la durée de vie d'un bâtiment ou d'infrastructures, de leur conception jusqu'à leur démolition. La maquette numérique quant à elle, est une représentation digitale des caractéristiques physiques et fonctionnelles de ce bâtiment ou

2 « Le BIM: Signification, définition et explications ». Consulté le 11 juin 2020. <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/la-definition-du-bim>.

de ces infrastructures. Cette structuration régie par des normes, permet une collaboration entre tous les intervenants d'un projet, soit par des échanges de données, soit en permettant une intervention sur un seul et même modèle.

Le BIM est un moyen de rassembler dans une base de données toutes les informations nécessaires à l'ensemble de l'élaboration et du suivi d'un projet. Il doit pour cela être capable de gérer différents modèles d'échanges de données et de documents. Ce qui signifie qu'en fonction des étapes d'avancement du projet, il est possible d'utiliser des logiciels différents pour autant qu'ils soient capables d'échanger leurs informations avec cette base de données BIM. Cette base de données présente l'avantage de pouvoir normalement échanger uniquement les informations utiles aux destinataires. Cela signifie qu'en fonction du format de fichier choisi pour exporter une information, mais aussi les filtres qu'on y applique, le destinataire recevra uniquement ce qui le concerne. Prenons l'exemple d'un système structurel pour un volume simple. Les données d'intérêt pour l'ingénieur civil qui travaillera sur ce projet, porteront sur les distances des éléments de structure et la manière dont sont reliés les nœuds entre eux, alors que pour établir un bilan énergétique ce sera plutôt le volume, ses ouvertures et son orientation qui seront demandés.

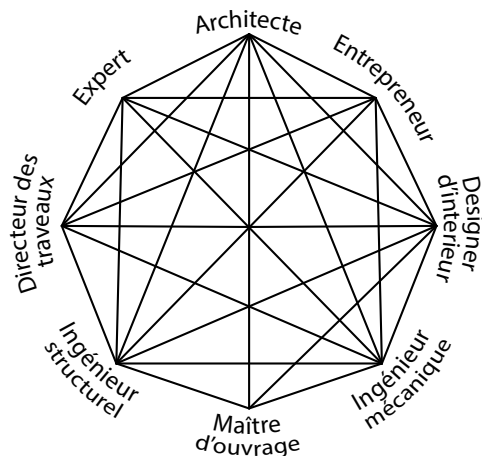


Selection de l'information en
fonction de la profession.

La pratique du BIM est référencée en quatre niveaux. Ceux-ci permettent d'évaluer le niveau d'intégration du BIM collaboratif^{[16][17]}:

Le niveau 0 se réfère au dessin de conception assisté par ordinateur en 2D, non géré ou non structuré. Il n'y a pas d'application de norme spécifique. Le dessin est compréhensible mais la gestion des calques ou de géoréférencement est appliquée de manière arbitraire.

Le niveau 1 c'est un mélange de dessin 2D et de conception 3D organisés selon une norme. La norme s'applique sur la numérotation des plans, la géolocalisation, la présentation, le système d'approbation et de diffusion des plans, etc.



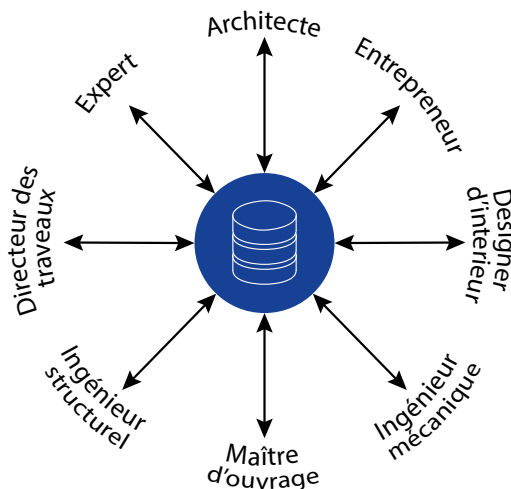
Relation BIM niveau 0 et 1[redessin][19]

Le niveau 2 contient les éléments suivants :

- Un modèle graphique ou maquette numérique 3D créés avec un logiciel BIM tel que : Revit, ArchiCAD, Tekla, etc., ou un fichier format IFC (Industry Foundation Classes).
- Des données non graphiques incluant par exemple des informations importantes pour l'utilisation et la maintenance de l'ouvrage.
- De la documentation comme des rapports ou des dessins 2D.

En plus des éléments ci-dessus, le niveau 2 impose les exigences suivantes :

- Structure des données (standards)
- Définition des processus
- Définition et contrôle des échanges de données
- Un environnement de données commun



Relation BIM niveau 3 [redessin][20][21]

Le niveau 3 :

Est un modèle unique et stocké sur un serveur centralisé, accessible à tous les intervenants et durant toute la durée de vie d'un ouvrage via IFC/IFD/IDM. Cette collaboration totale n'est pas sans poser de nombreux problèmes de propriété intellectuelle, de responsabilité et de réglementation de l'accès/modification/enregistrement de la maquette numérique unique.

Pour que le BIM collaboratif puisse être mis en place, il faut des formats d'échanges d'informations standardisés. Les formats retenus sont ceux qui ont les plus de chance de jouer un rôle dans la mise en place d'une base de données présentée au chapitre suivant. Ils ne représentent pas l'ensemble des formats existants.

L'IFC: L'Industry Foundation Classes est un format ouvert indépendant des sociétés, gratuit et libre d'accès. Le format est développé par buildingSMART. Cette organisation internationale a pour objectif de favoriser l'interopérabilité dans le secteur de la construction. Pour cela elle regroupe des entreprises issues de domaines de la construction et de l'édition de logiciel. L'IFC est conçu pour transcrire les informations de géométrie et des données qui y sont associées. L'information qui doit être transmise est faite à l'aide de trois éléments:

- La sémantique, qui mémorise les liens entre les données.
- Le relationnel, qui transmet les informations dites matérielles ou qualitatives, comme le prix et le fabricant.
- Les propriétés, qui transmettent les informations dites matérielles ou qualitatives, comme le prix et la fabrication.

C'est un format en cours d'évolution qui est amélioré pour répondre aux besoins des utilisateurs.

L'IFD: L'International Framework for Dictionaries est là pour garantir la traduction des propriétés texte échangées dans l'IFC par exemple. Si un collaborateur travaille dans une autre langue, il faut s'assurer que les informations texte comme par exemple: couloir, soient bien traduites en corridor pour un partenaire anglophone.

Le MVD : Model View Définition sert de « filtre » lors de la génération d'un fichier IFC. De cette manière seules les données utiles aux destinataires, principalement en lien avec sa profession, seront transmises.

Le XMLBIM : Le Format XML qui signifie Extensible Markup Language et qu'on peut traduire par : langage de balisage extensible, est couramment utilisé pour coder la plupart des informations liées aux réseaux internet. Celui utilisé pour le BIM est le gbXML pour green building XML. Ce format a donc l'avantage d'être bien compatible avec des services qui seraient mis en ligne.

Le CoBie : Ce format est principalement utilisé pour échanger des informations entre le propriétaire et les acteurs de la construction. Ces fichiers se présentent sous la forme de tableur et ont l'avantage de pouvoir être lus facilement par des logiciels de type Excel.

Afin de conclure ce chapitre, nous nous intéresserons à ce qu'était l'intégration du BIM dans l'architecture « verte » qui correspond à une vision de 2008, qu'on nommerait plutôt aujourd'hui architecture durable. Cette vision est construite à partir de l'analyse du livre *Green BIM* d'EDDY Krygiel et BRADLEY Nies^[18]. Ce que l'on retient sur leur pratique du BIM de l'époque, pour l'élaboration de projet d'architecture durable,

c'est principalement le fait que cet outil est utilisé pour calculer des dépenses énergétiques, l'apport en lumière naturelle, pour avoir une meilleure maîtrise des quantités et aussi pour pouvoir réitérer ces opérations. Leur mise en pratique la plus proche de l'économie circulaire, est liée au fait qu'ils vont utiliser le BIM pour évaluer l'impact en énergie grise de leur béton en fonction des concentrations de ciment Portland et de la cendre de charbon. Quant à leur vision du BIM dans l'avenir, elle porte sur le fait qu'il sera possible d'attribuer des émissions carbone pour chaque pièce utilisée dans la construction.



Silex et impression 3D
« Man Made »
Ami Drach et Dov Ganchrow [22]

Chapitre 3

Le numérique face aux besoins du réemploi

Maintenant que les deux parties ont été présentées, intéressons-nous à cette jonction entre le BIM et le réemploi. La publication, *Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire*^[23] s'intéresse justement à ce qui pourrait influencer cette relation entre économies circulaires et l'utilisation du BIM.

Les deux points majeurs mis en évidence dans cette étude afin d'appliquer une architecture qui s'inscrirait dans l'économie circulaire seraient :

- *Une communication avec échange de données claires et ordonnées*
- *l'anticipation en amont du projet par l'architecte.*

Freins techniques & technologiques	
Vis-à-vis du réemploi	Limites à l'usage du BIM
• Peu de filières existantes • Logistique compliquée • Réemploi futur presque impossible avec construction actuelle	• Manque de maturité de l'IFC = perte des informations et attributs • Malgré une 3D enrichie, mauvaise gestion documentaire
Réglementaires, normatifs & juridiques (Belgique et France)	
• Manque de label • Flou autour de la responsabilité des acteurs • Absence de prescriptions • Manque de traçabilité des matériaux • Manque de solutions constructives validées	• Manque de valeur juridique définie de maquette numérique • Flou autour de la propriété intellectuelle (transfert de données confidentielles dans un flux de travail classique)
Économiques	
• Peu/pas d'offres industrialisées = prix élevé • Coût de la main d'œuvre (spécialisée ou non) élevé	• Investissement matériel pour un parfait échange, même plateforme • Investissement humain pour passage au BIM
Méthodologiques	
• Manque de visibilité • Offre unicité de matériaux, maigre panel • Nécessité de nouvelles mises en œuvre (peu documentées)	• Le temps que prend le changement - BIM réservé aux gros projets ? • Peu de souplesse du processus • Besoin de définir les usages futurs de la maquette numérique = sortir de sa vision singulière d'acteur
Affectifs, institutionnels & culturels	
• Manque de confiance du grand public - barrière « esthétique » • Frein psychologique = construire avec des déchets • Manque d'enseignements, de retour, de formation	• Gros investissement initial pour un retour qu'en phase finale • Rupture entre le rôle de l'architecte avec l'exploitation de la maquette numérique à venir • Manque d'élasticité des habitudes

Mise en parallèle des freins, limites du réemploi et du BIM basés sur les synthèses de Delmée (2017) et Marin & Segura (2014) [redessin].^[33]

Mais aussi la distinction à faire sur la pratique architecturale circulaire appliquant des procédés en lien avec le BIM tel que :

- *la dimension du «passé»; le réemploi d'éléments passés pour/dans les projets actuels.*
- *Les éléments «futurs»; le réemploi des composants présents dans l'architecture actuelle.*

Nous retrouvons également dans cette étude, deux tableaux figurant ci-contre, regroupant pour le premier, les freins vis-à-vis du réemploi et de la pratique du BIM selon cinq thématiques. Le deuxième tableau regroupe quant à lui, les moyens ou les solutions à mettre en place pour pallier aux freins précédemment énumérés.

La différence de temporalité faite précédemment est nécessaire pour mettre en évidence une étape dans la manière de pratiquer l'architecture circulaire. Si aujourd'hui des initiatives sont mises en place, comme le BAMB (Banque de matériaux) au niveau européen, encouragent les acteurs de la construction vers une pratique de l'économie circulaire par le biais d'outils comme le passeport des matériaux, cela passe par un archivage des modèles numériques ainsi que leurs métadonnées associées afin de pouvoir les utiliser dans l'avenir. Le problème qui se pose pour aujourd'hui c'est l'intégration d'objet ou d'élément numérique dans un projet d'architecture qui utilise des éléments du passé,

Comment le BIM6D peut lever les freins précités ?	
Le réemploi	Le BIM
Techniques et technologiques	
La « connexion » avec des plateformes de réemploi (ex. Opalis) permettrait une meilleure logistique et le développement de ces initiatives à plus grande échelle (+)	- Demande une minutie de travail augmentée (≈) - Demande l'évolution de la diversité des supports de documentation (≈) - Demande une évolution et souplesse des LOD¹ (≈)
Réglementaires, normatifs & juridiques (Belgique et France)	
- Le BIM6D demande de fixer le cadre réglementaire (normes, labels, responsabilités, propriété intellectuelle, etc.) (≈) - Il apporte une traçabilité aux matériaux pour un réemploi futur (+)	Le BIM6D demande de fixer le cadre réglementaire (normes, labels, responsabilités, propriété intellectuelle, etc.) (≈)
Économiques	
Le travail collaboratif et le réseau augmente l'offre/visibilité (principe offre /demande) (+)	Le travail collaboratif estompe l'investissement humain élevé (+)²
Méthodologiques	
Meilleure visibilité des offres (+)	La durabilité et la circularité s'appliquent à tous les projets d'architecture, pas seulement aux projets d'importance à l'inverse du BIM (cf. croyance que le BIM est réservé aux gros projets) (+)
Affectifs, institutionnels & culturels	
- BIM6D apporte une « expertise » au réemploi, permettant de sortir de la vision « bricolage » (+) - Il apporte de nouveaux challenges à la création des architectes (par les outils paramétriques par exemple) (+) - Se servir de l'engouement du BIM comme porte d'entrée pour former au réemploi (+)	- Profitant de l'engouement pour l'écoconception, le BIM6D devient un outil à la création (phase initiale du projet) (+) - Le réemploi et l'écoconception sortent l'architecte de la dimension technico-technologique (créatif) (+) - Tout changement de paradigme prend du temps. (≈)
(+) : est un avantage significatif (≈) : n'est ni avantage ni inconvénient mais un critère prépondérant	

¹ LOD, Level of development. Moyen de mesure du niveau de géométrie d'un objet avec les informations qui lui sont associées.

² « Constats récurrents lors de formation » où les bureaux voulant passer au BIM nomment 2-3 membres « responsables » pour ne pas geler toute l'activité.

car ses éléments n'ont pas d'entité numérique correspondante. Faut-il absolument les numériser ? Si oui, qui sera chargé de cette tâche ? Et à quel moment ce répertoire numérique sera-t-il généré ?

Dans le tableau présenté dans l'étude du BIM6D, les pratiques d'aujourd'hui sont critiquées par le fait que la majorité des constructions actuelles ne prennent pas en compte la fin de vie de leurs projets.

Aujourd'hui, si un architecte recherche des éléments pour composer son projet, il va principalement trouver des ressources nouvelles ou au mieux des pièces faites en matière recyclée. Cette démarche est destinée aux professionnels de la construction qui ne pratiquent pas le réemploi actuellement. Il ne faut pas oublier qu'il existe déjà des bureaux qui pratiquent l'architecture circulaire et aussi des spécialistes dans la gestion et revente d'éléments réemployables, comme Matériau, Salza, Rewinner, Bauteilclick et Wiederverwendung. Ces acteurs ont déjà leurs propres méthodes de recherche et collecte de matériaux. Ils ont pour cela du personnel qui doit repérer les bâtiments voués à la démolition, contenant des éléments utilisables et récupérables pour les projets en cours d'exécutions.

Pour pouvoir utiliser ce moteur de recherche, il va falloir l'alimenter à l'aide d'une base de données organisée de manière pertinente et pour cela, il reste encore plusieurs points à résoudre. Le BIM peut être envisagé

comme source d'alimentation de la base de données. Il suffirait pour cela aux communes de demander que la dépose de plans lors de demande d'autorisation de constructions[24], se fasse avec des fichiers aux formats IFC. L'état demandera une nouvelle fois les documents IFC pour mettre à jour leurs informations, délivrer le permis de démolition et transférer les fichiers dans la base de données. Comme le BIM est utilisé durant l'exploitation du bâtiment, les informations qu'il contient seront tenues à jour. On peut aussi se poser la question du cas où nous sommes dans un BIM collaboratif de niveau 3. Est-ce que l'état ou ses représentants peuvent-être considérés comme collaborateur et ainsi avoir un accès direct au modèle partagé? Dans le cas proposé, l'état obtient une copie du modèle lors de la procédure de mise à l'enquête et ensuite, actualise ses informations lors de la demande de démolition ou rénovation.

Au niveau européen il existe une fondation à but non lucratif qui s'appelle Sticing¹ Madaster Foundation BIM. Cette fondation offre des services de stockage de Model BIM et de Passeports matériaux[25].

Aux États-Unis, la ville de Seattle a rendu obligatoire l'inventaire pour chaque demande de permis de démolition[26].

1 Proviens du droit néerlandais. Est l'équivalent d'une association avec un poste de président, secrétaire, trésorier etc, mais sans avoir le droit d'avoir de membres.

En Suisse pour pouvoir mettre en place le système de récupération des fichiers IFC, il faut que la base légale suive. Cela signifie qu'il va falloir actualiser la réglementation des modalités de rendus lors de la dépose des permis de construire. Il est nécessaire de statuer sur le devenir des droits liés à la transmission du modèle BIM dans la base de données, car le modèle BIM bénéficie de deux protections[27]:

- *Protection par le droit d'auteur.*
- *Protection par le droit de production de base de données.*

Les réglementations actuelles en lien avec le numérique sont assez vieilles et méritent d'être remises à jour.

En Suisse le Network Digital[28] est constitué par:

- SIA (Société suisse des Ingénieurs et Architectes)
- CRB (Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction.)
- KBOB, IPB (Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics, Communauté d'intérêts des maîtres d'ouvrage professionnels privés)
- BdCH (Bâtir digital Suisse)

Il a pour but de fournir les bases légales et recommandations à la mise en place du BIM.

Une fois les problèmes juridiques résolus, il faut encore s'assurer que les informations présentes dans la base de données permettent d'établir des critères de recherche efficaces. Pour cela, la présence du passeport matériaux a son importance. Celui-ci doit contenir les renseignements^[29] sur la qualité, l'origine, la localisation et la démontabilité des éléments auxquels il est rattaché.

La qualité contient des informations sur les conditions de travail des ouvriers ayant œuvré sur un produit.

L'origine doit offrir des garanties sur la provenance des éléments, notamment les autorisations de démantèlement du bâtiment source.

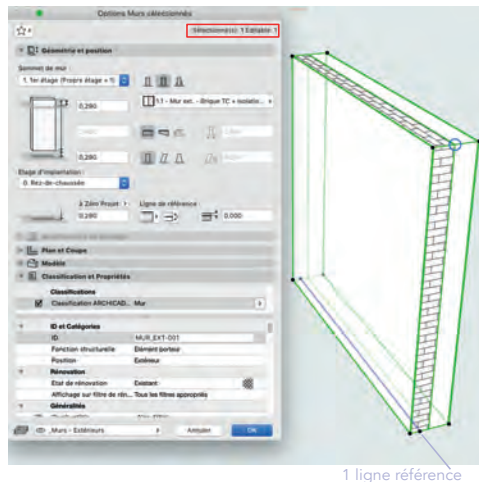
La localisation donne des informations sur les lieux où les éléments ont servi ou transité. Pour ce critère, il faudra définir de quelle manière on souhaite répertorier les emplacements. Est-ce que ce sont des coordonnées GPS? Faut-il y joindre une adresse postale? Doit-on y incorporer le nom des propriétaires précédents?

La démontabilité doit fournir des informations sur la manière dont sont assemblés les éléments entre

eux. L'économie circulaire encourage l'utilisation de méthode d'assemblage dite réversible. Une problématique soulevée par l'étude du BIM6D sur ce point, fait part de l'inquiétude liée à la manière de construire d'aujourd'hui. Par exemple les mortiers utilisés de nos jours deviennent trop performants et ne permettent plus un démontage brique par brique d'un mur maçonné. Les possibilités de réemploi de ce type de mur restent néanmoins possibles à condition de les découper par panneau entier. En pratique ce qui s'en rapproche le plus dans un modèle BIM actuel, est la présence d'outil permettant de détecter les collisions entre objets. Une géométrie qui traverse une autre sera mise en évidence. Il est possible de créer un nouveau paramètre lié à l'objet dans lequel la méthode d'assemblage sera spécifiée (clipsé, encastré, collé, vissé, cloué, etc.) Par contre cette information ne sera pas reliée à l'aspect tridimensionnel de la maquette. C'est-à-dire, quelle est la partie ou la face d'un élément qui se rattache à une autre? La tâche se complique en ce qui concerne les murs. Dans un logiciel comme Revit ou Archicad, il est possible de dessiner directement le mur avec ses couches composites. S'il est possible de personnaliser les couches du mur en choisissant les matières qui le composent, leurs épaisseurs et l'ordre dans lequel elles s'organisent, il ne sera pas possible d'y ajouter des informations propres à une couche du mur, car les paramètres personnalisables sont liés au

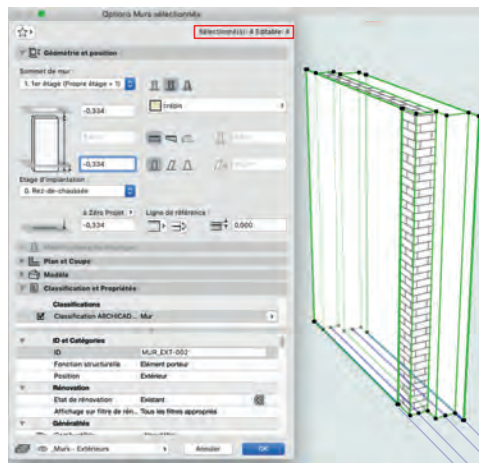
mur en tant qu'entité et pas à ses multiples couches.
Un moyen possible de contourner ce problème est de dessiner deux murs côte à côte, un mur d'isolation collé au mur en briques, au lieu d'un mur multicouches briques et isolation.

Mur multicouches = une ligne de références et un seul objet



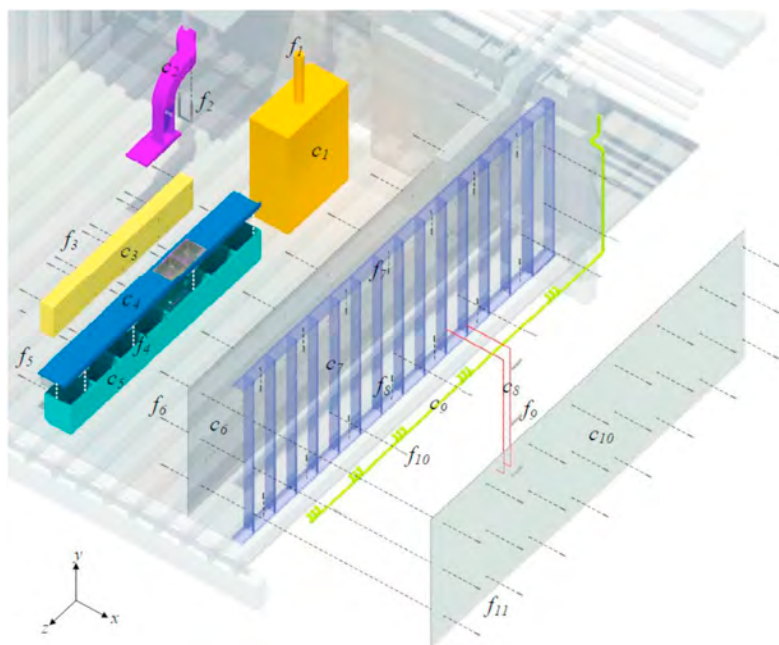
1 ligne référence

Multiples murs = quatre lignes de références



4 lignes de références

Cette notion de relation entre les objets nous permet d'ajouter dans la base de données un critère d'accessibilité. Le critère est imaginé à partir d'une étude qui s'appelle «Deconstruction programming for adaptative reuse of building»^{[30][31]}. L'équipe qui mène cette recherche s'intéresse à établir de manière autonome un programme qui permettrait soit de planifier une déconstruction complète d'un bâtiment, soit de fournir une sorte de marche à suivre pour extraire un élément spécifique. Pour ce faire, ils prennent en compte : les relations entre éléments, l'espace disponible autour d'un composant pour l'extraire et les directions possibles d'extractions. À terme, si ce développement devient fonctionnel, on peut imaginer

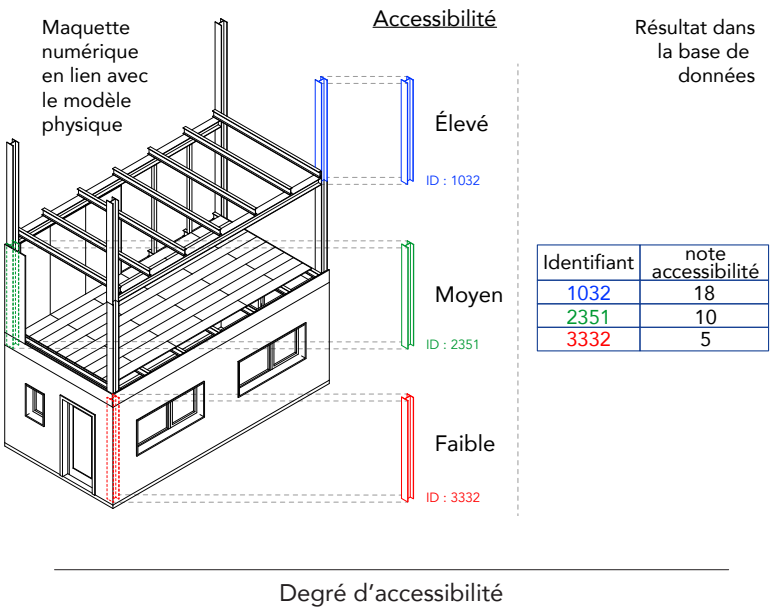


Désassemblage autonome^[35]

établir un degré d'accessibilité spécifique utile lors de la recherche d'un composant. Ce degré sera déterminé par le nombre de composants qui devront être déplacés pour accéder à l'élément désiré. Ainsi plus la note obtenue sera faible, plus le composant sera facile d'accès, alors qu'une note élevée sera attribuée aux éléments difficiles d'accès.

Un autre avantage lié à l'utilisation d'une note d'accessibilité sera de permettre d'afficher un résultat provenant de la base de données, uniquement sous forme de liste d'éléments, sans la géométrie complète de l'édifice. Ce sera un moyen de protéger les droits d'auteur liés à l'œuvre.

De plus cette note aura la possibilité d'être actualisée. Par exemple, si une recherche est faite pour



des éléments de structures métalliques et que ceux-ci se trouvent être présents dans l'ossature d'une construction présente dans la base de données, dans un premier temps la note d'accès sera faible puisqu'il y aura de nombreux composants autour ou posés sur la structure, mais si d'autres personnes viennent d'acquérir les éléments de revêtement de plancher ou des cloisons fixées à la structure, l'accessibilité à l'ossature, une fois le bâtiment dépouillé, sera plus facile, donc la note devrait être plus élevée. Une fois l'obtention de la base de données et des critères de recherche effectués, il reste encore à déterminer les procédures pour obtenir les composés physiques.

Il faudra établir qui sera responsable de la démolition. Est-ce que se sera une entreprise spécialisée qui a pour mission de déconstruire le bâtiment et de préparer les lots en fonction des réservations effectuées? Ou alors est-ce que chaque acteur ayant fait une réservation devra venir chercher les pièces qui lui sont attribuées?

Dans la deuxième situation, il faudra néanmoins la présence d'un planificateur chargé de coordonner les différentes équipes pour éviter que l'intervention des désassembleurs endommage des éléments réservés par d'autres. On peut dire que la diversité de scénarios possibles devant une déconstruction est au moins égale à la pluralité de conditions envisageables lors de la construction. Peut-être verrons-nous apparaître

de nouvelles professions, une sorte d'équivalence au BIM manager[32] qui dans la gestion de projet BIM, sont responsables de la planification, design, livraison et édification de biens dans la construction. Un BIM manager doit avoir suffisamment de connaissances dans le BIM ainsi que dans les différents logiciels pour établir comment seront organisés les dialogues entre software du développement d'un projet jusqu'à la fin de vie du bâtiment. De plus, de nos jours, il existe des cursus pour être formé en tant que BIM manager. À l'apparition de ce rôle ce sont les personnes qui avaient acquis à travers leurs parcours personnels, les compétences d'un BIM manager. Ce qui signifie que les professions de départ étaient très diversifiées.

Aux fonctions du moteur de recherche et de la base de données, on pourrait rajouter une fonction destinée à promouvoir les éléments qui risqueraient de changer de cycle de vie et de se rapprocher du stade de déchet tant pour le cycle biologique que technique. Un modèle numérique prévisionnel pourrait être mis en place en utilisant les informations disponibles notamment dans le passeport matériaux. Ainsi en accumulant suffisamment d'informations sur le devenir des éléments, les composants pourraient être mis en valeur de manière à maximiser chaque cycle depuis la réparation, le réemploi, la revalorisation, la réaffectation jusqu'au recyclage avant d'être considérés comme un déchet.

Chapitre 4

Conclusion

Ce que nous retiendrons, c'est que ces deux univers que sont l'économie circulaire et le numérique, ont chacun vécu leurs histoires de manière séparée. Aujourd'hui nous sommes au début d'une rencontre et en prenant l'exemple du BIM, cette réunion est pour l'instant défavorable au maintien de cette relation. Mais nous pouvons garder espoir, car si les obstacles sont multiples, ils ne sont pas insurmontables. Différents leviers d'ordre : juridique, politique, sociologique et technique sont déjà actifs pour faire avancer la pratique du réemploi avec les nouveaux moyens présents dans les bureaux d'architectures.

De plus le scénario proposé était centré sur les informations présentes dans la base de données et la manière de les organiser. Il reste encore des pistes à explorer, telles que l'existence de nouveaux outils destinés à faire le lien entre le numérique et les éléments physiques. Ou encore, évaluer l'impact économique d'un tel système.

Annexes

Le réemploi et l'économie circulaire

- 1 La boîte verte. « Un pont circulaire sur une lagune en Uruguay », 27 janvier 2016. <https://www.laboiteverte.fr/un-pont-circulaire-sur-une-lagune/>.
- 2 Ghyyoot, Michaël, Lionel Devlieger, et Lionel Billiet. *Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2018. p.16-38
- 3 Kovacic, Zora, Roger Strand, et Thomas Völker. *The Circular Economy in Europe: Critical Perspectives on Policies and Imaginaries*. 1^{er} éd. New York : Routledge, 2020. | Series: Routledge explorations in sustainability and governance: Routledge, 2019. <https://doi.org/10.4324/9780429061028>.
- 4 *Building a Circular Future*. Kbh.: Arkitektens Forlag, 2019.
- 5 Ng, Mr Nicholas. « Wapan Technique Used in Ningbo Historic Museum to Revive Traditional Chinese Construction Techniques », Consulté le 11 juin 2020, https://www.slideshare.net/joyce_weewee/wapan-technique-used-in-ningbo-historic-museum-to-revive-traditional-chinese-construction-techniques?from_action=save.

- 6 « Constitution fédérale de la Confédération suisse ». Consulté le 4 novembre 2019. <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19995395/201801010000/101.pdf#page=37&zoom=auto,-106,265>.
- 7 Sonnette, Stéphanie, Marc Frochaux. « 6 Barbara Buser: «Le réemploi génère de la créativité» », Tracés Pub, 2019, 15-15
- 8 « Richard Greaves, Anarchitect | SPACES ». Consulté le 11 juin 2020. <http://spacesarchives.org/explore/search-the-online-collection/richard-greaves-anarchitect/>.
- 9 *Building a Circular Future*. Kbh.: Arkitektens Forlag, 2019. p. 56-59
- 10 ArchDaily. « Gallery of Ningbo Historic Museum / Wang Shu, Amateur Architecture Studio - 14 ». Consulté le 11 juin 2020. <https://www.archdaily.com/14623/ningbo-historic-museum-wang-shu-architect/500f334128ba0d0cc700207f-ningbo-historic-museum-wang-shu-architect-image>.

Le numérique, dialogue entre les machines

- 11 La boîte verte. « Les objets d'un monde numérique parallèle », 23 juin 2015. <https://www.laboiteverte.fr/les-objets-dun-monde-numerique-parallele/>.
- 12 Daniotti, Bruno, Alberto Pavan, Sonia Lupica Spagnolo, Vittorio Caffi, Daniela Pasini, et Claudio Mirarchi. *BIM-Based Collaborative Building Process Management*, 2020. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5971303>.

- 13 Kensek, Karen M. *Building information modeling*. First edition. PocketArchitecture : technical design series. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014.
- 14 Boutros, Nader, et Régine Teulier. *A la pointe du BIM: ingénierie & architecture, enseignement & recherche*, 2018. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1852611>.
- 15 Eastman, Charles M., Paul M. Teicholz, Rafael Sacks, et Ghang Lee. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Third edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018.
- 16 Tolmer, Charles-Edouard. *Le BIM entre recherche et industrialisation: ingénierie & architecture, enseignement & recherche*, 2019. p.89
- 17 « Les différents niveaux du BIM ». Consulté le 11 juin 2020. <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/les-niveaux-du-bim>
- 18 Krygiel, Eddy, et Brad Nies. *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*. Sybex serious skills. Indianapolis, Ind: Wiley Pub, 2008. p.220-223
- 19 Kensek, Karen M. *Building information modeling*. First edition. PocketArchitecture : technical design series. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014. p.93

- 20 Kensek, Karen M. *Building information modeling*. First edition. PocketArchitecture : technical design series. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014. p.93
- 21 Hoyet, Nadia, Fabien Duchène, et Marc de Fouquet. *BIM et architecture: programmation, conception, construction, exploitation*, 2016. p.6

Le numérique face aux besoins du réemploi

- 22 La boîte verte. « Le silex rencontre l'impression 3D », 3 juin 2014. <https://www.laboiteverte.fr/silex-rencontre-limpression-3d/>.
- 23 Dautremont, Charlotte, Charlélie Dagnelie, et Sylvie Jancart. « Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire ». Édité par T. Leduc et F. Miguet. SHS Web of Conferences 47 (2018): 01005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701005>.
- 24 Domer, Bernd, Lionel Riquet, et François Joss. *Le management du projet de construction: un vademecum d'économie, de droit et de planification pour le bâtiment*, 2017. p.213-215
- 25 « Madaster ». Consulté le 11 juin 2020. <https://www.madaster.com/en>.
- 26 Ghyoot, Michaël, Lionel Devlieger, et Lionel Billiet. *Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2018. p.202

- 27 Tolmer, Charles-Edouard. *Le BIM entre recherche et industrialisation: ingénierie & architecture, enseignement & recherche*, 2019. p.86-104

- 28 « netzwerk digital ». Consulté le 6 juin 2020. <https://netzwerk-digital.ch/de-fr-fr/ueber-uns-fr-fr/>.

- 29 Ghyyoot, Michaël, Lionel Devlieger, et Lionel Billiet. *Déconstruction et réemploi: Comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2018. p.196-197

- 30 Sanchez, Benjamin, Christopher Rausch, et Carl Haas. « "Deconstruction Programming for Adaptive Reuse of Buildings" ». *Automation in Construction* 107 (novembre 2019): 102921. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102921>.

- 31 Sanchez, Benjamin, Christopher Rausch, Carl Haas, et Rebecca Saari. « A Selective Disassembly Multi-Objective Optimization Approach for Adaptive Reuse of Building Components ». *Resources, Conservation and Recycling* 154 (mars 2020): 104605. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104605>.

- 32 Holzer, Dominik. *The BIM Manager's Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction*. Chichester, West Sussex: Wiley, 2016. p.2

- 33 Dautremont, Charlotte, Charlélie Dagnelie, et Sylvie Jancart. « Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire ». Édité par T. Leduc et F. Miguet. *SHS Web of Conferences* 47 (2018), p.6 <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701005>.

- 34 Dautremont, Charlotte, Charlélie Dagnelie, et Sylvie Jancart. « Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire ».   dit   par T. Leduc et F. Miguet. SHS Web of Conferences 47 (2018), p.7 <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701005>.
- 35 Sanchez, Benjamin, Christopher Rausch, et Carl Haas. « Deconstruction Programming for Adaptive Reuse of Buildings ». Automation in Construction 107 (novembre 2019): 102921. p.7 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102921>.

Merci à ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail, que ce soit par la relecture, leurs conseils et leur temps mis à disposition : Ghislain Faivre, Régis Faivre, Evelyne Faivre, Yves Corminboeuf, Isa Carvalho Rocha, Andreia Marrucho, Florence Revaz et

IDM 444

