



HAL
open science

Réemploi et numérique, quels enjeux pour l'architect(ur)e? Entrée en matière par le matériau bois.

Maxence Lebossé

► To cite this version:

Maxence Lebossé. Réemploi et numérique, quels enjeux pour l'architect(ur)e? Entrée en matière par le matériau bois.. 11e Forum International Bois Construction 2022, Apr 2022, Epinal, France. hal-03729534

HAL Id: hal-03729534

<https://hal.science/hal-03729534>

Submitted on 20 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Réemploi et numérique, quels enjeux pour l'architect(ur)e ?

Entrée en matière par le matériau bois.

Maxence LEBOSSE
ENSAN-CRAI
Nancy, France



1. Introduction

Ce document expose de façon non exhaustive neuf groupes thématiques d'enjeux convergents autour de la thématique du réemploi, et le rapport entre réémergence de cette pratique avec d'autres, numériques, propre à l'architecture. Dans le cadre de la Chaire Partenariale Architecture et Construction Bois notre approche se singularise autour du matériau bois, qui, comme nous le verrons, est intrinsèquement disposé à être réemployé [1,2], comme numérisé.

2. Regard sur les technologies

Dans ce premier chapitre, nous explorons les solutions techniques dites numériques, sur lesquelles peuvent s'appuyer des démarches de réemploi en architecture. Le terme numérique est ici employé au sens des usages, ceux d'outils dédiés à la résolution de problèmes complexes, comportant des données variées et partagées entre des acteurs aux activités différentes, mais appartenant tous au secteur de la construction. Du point de vue de l'architecture, le numérique s'est ancré dans la phase de conception (CAO/DAO), par l'intermédiaire de supports de dessin par, exemple, et s'étend aujourd'hui au-delà des pratiques d'évaluations¹, de livraison, pour s'introduire dans le partage des informations entre acteurs du projet, jusqu'à la maintenance tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, voire à l'avenir, dans la programmation de sa déconstruction [3].

2.1. La Rétro-modélisation

L'un des enjeux majeurs porte sur la possibilité de numériser des ouvrages existants. De fait, l'essentiel des bâtiments déconstruits ou curés² sont des ouvrages réalisés postérieurement à la première révolution industrielle et antérieurs au XXI^e siècles. Ces édifices ne disposent pas de modélisation 3D, certains ne disposent pas de plans, ou partiellement³, de même tous ne disposent pas d'un inventaire exhaustif de leur composition⁴. Par conséquent, afin de retrouver une représentation d'un édifice à déconstruire, et de déterminer les quantités et les caractéristiques des éléments et matériaux qui le constituent, plusieurs solutions existent en plus du constat visuel, répondant toutes à des objectifs propres sans être spécifiques au processus de réemploi [6,7].

Les « modélisations passives » peuvent être exploitées pour le repérage, la traçabilité, la vérification de mesures [6], la concertation, comme support de discussion et de localisation, voire de précollecte de données [9]. Elles restent une voie ouverte vers la reconnaissance d'image (machine/deep learning et intelligence artificielle par extension) et permettent d'identifier des éléments sur du contenu iconographique et de les lier avec une modélisation numérique [10,11].

Les « modélisations actives » apparentées au Scan-to-Bim [12] ou HBIM⁵ [12] est un processus de restitution de l'existant qui engage trois outils de relevé, photo- ou lasergrammétrie et LIDAR⁶, dont le but commun est de disposer d'une modélisation brute à partir de laquelle s'appuie un modéleur pour manuellement ou semi-automatiquement redessiner l'existant sans avoir à procéder au travers d'un relevé métré manuel. La modélisation, dont l'automatisation est en voie de développement [14], sert de base de travail, pour réaliser un modèle paramétrable [14], permettant de faciliter la modélisation d'éléments de charpente similaire, tout en leur attribuant les singularités qui leur sont propres suivant les constats de terrain [16]. Si il n'y a pas encore de procédés tout automatiques [17], il s'agit en pratique de bien définir les objectifs à atteindre pour y appliquer des techniques précises.

¹ Études des performances mécaniques, thermiques, environnementales, temps et coûts de construction ...

² Dépose intégrale ou partielle des éléments composants le second-œuvre en vue d'accéder aux gros-œuvre et d'effectuer des travaux de rénovation, réhabilitation, ou de démolition [4].

³ À titre d'exemple 43% des logements existants les plus susceptibles d'être déconstruits/rénovés/réhabilités (classés D) sont construits avant 1974, limitant la correspondance des plans, s'ils sont disponibles, avec la réalité construite. Les logements potentiellement associables à un modèle 3D, représentent moins de 1% de l'ensemble [5].

⁴ CCTP non archivé, ou matérialité non identifiable après plusieurs cycles de rénovations.

⁵ Historic/Heritage Building Information Modeling.

⁶ Laser Imaging Detection and Ranging.

Les « modélisations éphémères » résultats paradoxaux entre retro-modélisation et réemploi, où réalisation d'une maquette numérique engage une ingénierie conséquente tant du point de vue du relevé que de la modélisation. Or, si l'objectif est une déconstruction totale de l'édifice, le modèle acquiert une dimension jetable, ou au mieux d'archive aux termes du chantier [19].

Ainsi, il se dégage la nécessité de correctement cibler les niveaux des détails (LOX, LOIN) d'une modélisation en fonction des usages de cette dernière. Sert-elle à quantifier les volumes, surfaces, linéaires, récurrences des matériaux présents dans le site, à visualiser la localisation des éléments-matériaux, ces derniers seront-ils exportés afin d'alimenter une bibliothèque d'objets 3D paramétrés (formats IFC et natifs), afin de servir la réalisation d'une planification « 4D » du processus de déconstruction de l'édifice ? Voir encore d'autres dimensions, le coût (5D) ou l'enregistrement de données environnementales (6D).

Enfin, les « modélisations CIM⁷ » [20] interrogent notre rapport avec le patrimoine construit au travers du regard purement « minier » que le réemploi peut nous conduire à avoir, en particulier à propos des friches. Si l'approche numérique peut nous permettre d'avoir une représentation précise de la composition d'un édifice, elle peut manquer de discernement historique, mais aussi en ce qui concerne l'évaluation du potentiel, d'un édifice, qui lui dépend du projet architectural. Le réemploi est une démarche de sauvegarde, de l'usage des matériaux, qui s'engage faute de pérennisation des usages du bâtiment ou du moins de sa structure. Un des enjeux pour l'architecte est donc de se positionner au regard d'une transformation purement motivée par l'extraction de ressources sans considérer la valeur patrimoniale d'un ouvrage, tout comme le faible impact environnemental induit par la préservation d'un édifice existant que l'on parvient à habiter de nouveau.

2.2. Le diagnostic des ressources et des déchets

La collecte des informations sur site en vue de l'inventaire et de la caractérisation des éléments-matériaux est une démarche fastidieuse et complexe. Elle requiert une pluridisciplinarité et le croisement d'une multitude d'informations (d'une dizaine à plus d'une trentaine si l'on y inclut les photographies [21–23] susceptibles de varier selon les matériaux. À cela s'ajoutent la diversité des matériaux et leur variabilité au sein même du gisement. Des lots de fenêtres de mêmes dimensions et apparence peuvent ne pas être « identiques », car composés de différents matériaux, bois, pvc, en double ou simple vitrage, ou avoir des variations de profils pourtant presque imperceptibles [24,25]. Un lot de lames de parquet peut comporter différentes longueur, largeur d'éléments que le diagnostiqueur doit pouvoir renseigner, afin que l'architecte puisse à son tour en gérer l'intégration dans le projet [26]. Ainsi, sans méthode ni outils capables d'absorber la complexité des gisements d'en croiser les données, le réemploi est donc susceptible de rester partiel, circonscrit à une faible quantité de matériaux. Des outils se développent sur le marché (Diag It Cycle-Up, Trinov, Palats Higate...) comme au sein des entreprises (Rotor, BâtiRim Suez, Akibo Citae, ...), mais leur adoption reste contrainte par des habitudes de travail déjà éprouvées et basées sur l'expérience de terrain, elles s'appuient sur des formulaires de type tableurs, parfois partagés et préremplis selon une logique propre, ou encore par l'intermédiaire de détournement d'applications issues du marché, à l'instar d'Archipad.

2.3. La gestion et l'orientation des ressources

Le numérique en architecture n'est pas que le BIM, et le BIM n'est pas que la modélisation 3D. La dimension numérique du processus architectural, à travers tout le cycle de vie d'un édifice est avant tout ancrée dans les TIC⁸ [27,28]. Et c'est par ailleurs l'intérêt pour la dimension collaborative qui ressort le plus des études menées sur les usages du BIM [29,30]. Les points d'application d'outils numériques dans le processus de réemploi doivent permettre la capacité de la chaîne d'acteurs du réemploi à être continue et

⁷ City Information Modeling.

⁸ Technologies de l'Information et de la Communication.

complète [31]. Que cela concerne, les dimensions d'une poutre en bois, sa couleur ou son essence, sa modélisation 3D, ses photographies, son nombre de nœuds, son taux d'émission de COV, sa localisation dans le bâtiment ou à l'échelle géographique, sa valeur marchande, sa disponibilité, son stock de carbone biogénique, etc... Le numérique permet de représenter, au mieux de façon automatisée, sous forme de synthèse lisible et intelligible⁹, l'ensemble des informations précédemment citées. Afin, de transmettre cette synthèse simultanément à différentes personnes. De pouvoir réactualiser le contenu de cette dernière, ajouter ou modifier ses informations, ouvrir ou en restreindre l'accès. Valider l'acquisition des informations par un tiers, pour in fine valider l'acquisition de la poutre et en planifier la transaction, la réception, et de nouveau incorporer cette somme d'information au sein des livrables du projet, dont la poutre fera partie.

L'arbitrage entre déconstruction et démolition, réemploi ou recyclage, dépendent de la capitalisation des données issues des expériences, méthodes, temps, coûts de dépose propre à chaque type de matériaux (conditionnement, stockage ... inclus), les valeurs marchandes moyennes, ou encore les précédents de réemploi garants de l'assurabilité. In fine, l'enjeu de l'emploi d'outils numériques afin de faciliter et de systématiser le processus de réemploi ne réside pas tant dans l'usage d'une technologie nous permettant d'avoir une connaissance exhaustive et instantanée d'un gisement de ressources architecturales, mais davantage de disposer d'un support de prise de décision permettant de ralentir la descente des ressources architecturales dans la cascade de l'économie circulaire [32,33].

3. Numériser le processus de réemploi du bois

Pour ce chapitre, nous nous appuyons sur une étude menée durant la déconstruction partielle d'une ancienne usine textile de la ville d'Épinal. Notre présence sur le terrain nous a permis d'aborder une démarche de recherche-action visant les opérations précédant et suivant la dépose de bois d'œuvre centenaires, d'une part, en vue de leur vente auprès de particuliers, et d'autre part afin les réemployer sur site en toiture d'un immeuble collectif neuf. Le réemploi du bois n'est pas une démarche nouvelle en atteste tant les recherches archéologiques comme historiques sur le sujet [34–36], ainsi que des initiatives contemporaines [37–40].

3.1. Quantifier avec la maquette numérique

La modélisation numérique du gisement (Fig.1) a permis de préciser la quantification des éléments (linéaire, surface, volume, récurrence). Chaque élément de bois d'œuvre a été modélisé par lots de pièces similaires, afin de modifier manuellement un minimum d'éléments au fur et à mesure que l'accès et le constat visuel et métré avancé avec le chantier. Ce qui a permis de réactualiser le stock de bois et la somme de données associées. Afin d'exploiter les possibilités offertes par des outils facilement accessibles¹⁰ sur le marché nous avons utilisé le logiciel Sketchup associé au Plug-In Open-Cut-List et un tableur.

Avec la modélisation et sur la base des photographies issues de l'inspection visuelle, nous avons pu reporter les surfaces de matériaux déposés, comme les parties endommagées du gisement bois afin d'estimer la quantité pleinement réemployable, évaluer la part de volume à recycler, et ainsi anticiper le recollement final des éléments déposés (Fig.2). Enfin, à partir de la donnée « volume » nous avons pu estimer la quantité de carbone biogénique présent dans le stock de bois, et comparer le coût carbone du réemploi par rapport à son recyclage.

⁹ Dans le cas du réemploi, une « fiche matériau », et par extension le diagnostic des ressources.

¹⁰ Facteurs prix et compétences.

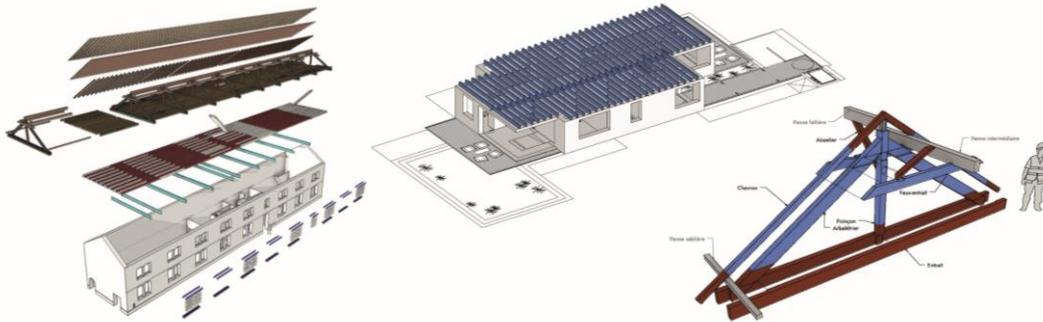


Figure 1 : De gauche à droite, vue éclatée de la modélisation et du gisement bois, vue de la remise en œuvre possible sur un logement en attique, vue d'une ferme distinguant les éléments déposés et perdus. (Auteur)

3.2. Visualiser et communiquer autour du gisement

La modélisation offre une représentation de la composition du gisement, qui est manipulable notamment afin d'illustrer des objectifs, tels que l'emprise du stockage in situ des éléments déposés, la localisation des pièces destinées à un client, ou la production de visuel d'éléments isolés (Fig.1 et 2).

En effet tous les acteurs d'un projet ne perçoivent pas les espaces et les constructions de la même manière, en ce sens, les outils numériques nous permettent de traduire et partager une perception spécifique, une réalité abstraite, par exemple : un prix, donnant à voir l'architecture comme une réserve de capital marchand, ou encore sous l'angle du carbone, conférant en particulier au bois le statut de stock de CO2 à faire perdurer.

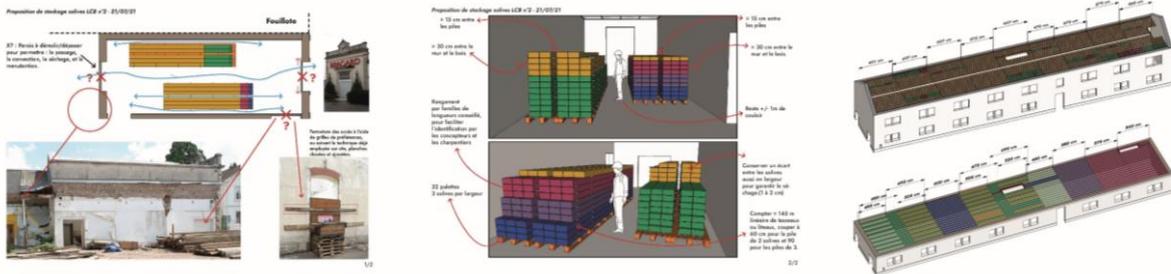


Figure 2 : De gauche à droite, planches illustrants la méthode de stockage possible, vues du gisements, en haut représentant les parties endommagées, en bas la répartition des différentes longueurs de solives. (Auteur)

3.3. Valoriser virtuellement et réemploi effectif

Comme nous l'avons exprimé en amont, la numérisation du réemploi n'est pas tant l'apanage d'un outil unique et exhaustif, mais davantage celui d'interactions entre plusieurs applications aux usages précis. Au travers de notre démarche, nous avons souhaité réaliser une évaluation rétroactive des résultats de réemploi et de la vente des matériaux. Il en ressort que l'estimation de la valeur latente du gisement et le croisement des données prix issus du marché auraient pu permettre de mieux cibler le prix de vente potentiel de chaque élément-matériau et en conséquence les recettes possiblement allouables au financement des opérations de déposes, de dépollutions comme d'études induites par la déconstruction (Fig.3). La modélisation du bois d'œuvre doit encore s'inscrire dans une méthode plus globale qui vise à préfigurer le réemploi de pièces de bois antérieurement à leur dépose. Et c'est la force du processus BIM, car il peut permettre de simuler le réemploi dans un projet à venir, contribuant à garantir la continuité d'usage des éléments (Fig.1).

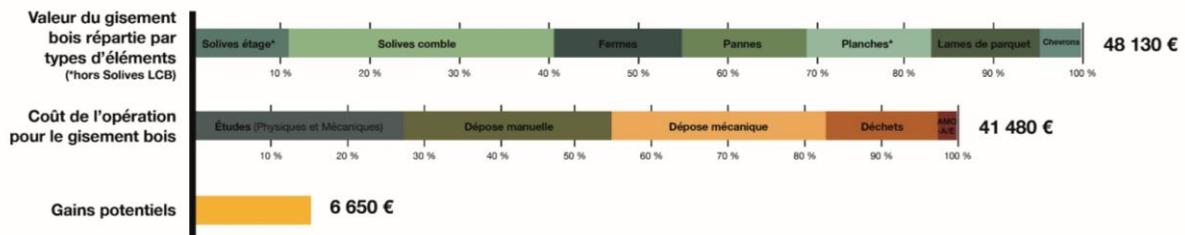


Figure 3 : Bilan économique de la dépose et de la vente du gisement bois (valeur réévaluée). (Auteur)

4. Les compétences de l'architecte au service du réemploi intégré dans l'architecture

Par ce dernier chapitre, nous abordons les questionnements entourant le rôle de l'architecte dans le processus de réemploi du fait de ses savoir-faire et les outils numériques qu'il pratique. Les démarches actuelles de réemploi sont toutes, de près ou de loin, portées par des architectes¹¹. Pourtant dans le processus de maturation de la chaîne d'acteur du réemploi, l'architecte peut se positionner sur plusieurs rôles. Tantôt diagnostiqueur, assistant à la maîtrise d'ouvrage ou d'œuvre, parfois même déposant et constructeur, il n'en reste pas moins concepteur, et donc initiateur et projeteur du potentiel de réemploi. En particulier du point de vue de l'anticipation de la démontabilité de l'ouvrage et du détournement d'usage, qui prolonge la durée de vie d'éléments grâce à la créativité, une compétence au cœur de la pratique de l'architecture.

4.1. L'orchestration

« *Le BIM c'est 10% de technologie et 90% de sociologie.* » [41]

Le réemploi c'est plus d'une dizaine d'acteurs autour du même objectif [31] et du fait de sa position de prescripteur, l'architecte peut superviser pour la maîtrise d'ouvrage l'identification des matériaux aptes au réemploi, et assurer ce suivi jusqu'à leur remise en œuvre dans le projet¹², voire en préfigurant la réemployabilité future des éléments neufs comme réemployés, constitutifs de l'ouvrage.

Au cœur de la gestion d'un projet de réemploi, comme architectural, réside un ensemble d'outils numériques indispensables qui alimente le processus BIM. Ainsi, courriels, messageries instantanées, réseaux sociaux, plateformes de ventes, de publication et d'échanges de fichiers, de création collaborative (mise en page, tableur, traitement de textes...) forment un groupe, d'outils concrets et couramment utilisés, parallèle aux plateformes BIM. En creux, c'est la capacité d'appropriation et de détournement de tels outils sur laquelle reposent les échanges d'informations entre offres et demandes de matériaux de réemploi. D'autant plus quand le processus de réemploi est contraint par des temporalités oscillantes entre latence et urgences, car si une friche ne peut retrouver d'usages qu'après plusieurs années, les vols de matériaux, la dégradation volontaire ou non, commence dès qu'un ouvrage n'est plus habité, et s'accélère plus les couches [42] s'altèrent [43,44].

L'un des enjeux numériques du réemploi est donc d'assurer un échange optimisé des informations [45] entre toutes les parties prenantes d'une opération qu'il s'agisse de déconstruction, de réhabilitation, de rénovation, ou d'une construction neuve intégrant des éléments issus d'une filière de réemploi. Et, parce que la question du stockage est au cœur des problématiques de la gestion des flux de matériaux de réemploi, la transmission d'informations entre chantiers émetteurs et chantiers récepteurs apparaît primordiale, notamment car le réemploi engage la maîtrise d'œuvre à anticiper l'intégration de certains matériaux au projet à venir.

4.2. La créativité

Avec la multiplication de projets intégrant des matériaux de réemploi, « l'esthétique de la palette ou du bricolage » [46] tend à se dissocier de la représentation que les usagers peuvent se faire de l'architecture incorporant des matériaux entrant dans un nouveau cycle d'usage. Par sa marginalisation au début XX^e siècle [47], le réemploi s'est vu catégoriser comme une pratique alternative indissociable d'une démarche moins architecturale qu'artistique¹³. Produit d'une association et d'une accumulation d'objets hétéroclites, un agencement de déchets récupérés en marge d'un chantier de démolition,

¹¹ En 2008 Jean-Marc Huygen publie « La Poubelles et l'Architecte », Rotor, Cancan, Remix et Encore Heureux, R-aedificare, Bâti-Récup, Re.Source, ReadyMader, Bellastock, Remise, l'Atelier Aïno, Atelier NA, Cycle Up, Minéka, Moonwalklocal, Atelierplusun, NA ! Architecture, Archipel Zéro, YA+K, Zerm ...

¹² Ou leur mise sur le marché aux bénéfices de la maîtrise d'ouvrage.

¹³ Voir la production de Tadashi Kawamata (Tree Huts) ou encore celle de Raumlaborberlin (Big Crunch, Vortex)

qui dégrade l'aspect des matériaux et marque de manière indélébile la matérialité du projet. Or, il revient à l'architecte de maîtriser la finalité esthétique du réemploi, l'intensité de la perception d'un usage antérieur est un choix et non nécessairement une contrainte¹⁴.

En ce sens, on peut ici appuyer le fait que le bois est un matériau « réusinable » de façon à ne plus laisser transparaître son état originel ni son âge. On peut citer l'exemple de la Bridge House de l'architecte Wilfred John Oskar Armster [48], dont le réemploi de bois d'œuvre, fait partie intégrante de l'architecture sans en être le sujet, ni spécifiquement mis en avant dans l'esthétique générale de l'ouvrage.

La créativité de l'architecte se met au service du réemploi dès lors que l'on identifie un panel de potentiels pour un élément/matériau donné. D'abord, par l'imaginaire, le dessin, puis possiblement en s'appuyant sur des outils numériques, il peut ainsi parfaire son idée et aboutir à la réalisation et donc au réemploi effectif du matériau [24,49,50]. Les logiciels de modélisation 3D permettent un réemploi virtuel, facilitant les manipulations d'éléments ou matériaux dans l'espace (cf.2.3), on peut ainsi, sur la base d'objets aux dimensions données s'approprier un stock et en proposer des compositions formant des architectures potentielles [51,52], la contrainte étant davantage une source de créativité qu'un frein [53–55]. Aujourd'hui, il est possible d'estimer combien de blocs de béton sont extractibles d'un bâtiment existant, ou combien de planches sont débitables dans un volume de bois, l'enjeu étant ici moins numérique qu'économique si ce n'est d'ordre théorique et intentionnel [19,56].

4.3. La préfiguration

Le réemploi de matériaux, parce qu'il fait partie de l'économie circulaire [57], peut être pratiqué en amont et/ou en aval. D'un côté, par la fourniture de matériaux issus de constructions existantes, et d'un autre côté par anticipation, en assurant la démontabilité [58] des ouvrages pour de nouveau alimenter le cercle. Cela engage d'accorder de l'attention aux matériaux employés¹⁵ [59] et d'adopter un regard plus critique sur les modes constructifs qui leur sont associés pour ne pas « tuer le gisement » [60].

Au cœur de la question du numérique réside celle de la transmission des données dans le temps et l'espace, l'aspect immatériel des données du projet sont autant une force (diffusion d'un contenu riche simultanément à plusieurs acteurs), qu'une faiblesse, car quelles lectures et exploitations des données à l'échelle de la vie du bâtiment seront possible à l'avenir [61]. La déconstruction est fondamentalement l'acte inverse de la construction, si elle n'est pas renseignée, pré-documentée, elle peut être intuitive, par la réappropriation des savoir-faire et modes constructifs artisanaux, encore aujourd'hui garant du réemploi, tel que l'architecture à pan de bois l'illustre [62,63]. Les outils numériques de l'architecte permettent aujourd'hui la sophistication de ces modes qui font la part belle au bois [64,65], comme le montrent des projets pilotes comme BRIC¹⁶ 1 & 2 [66].

C'est ce que tendent à montrer, d'un côté les expériences de déposes et celles d'architectures circulaires, sont des choix similaires de mise en œuvre, à l'instar d'un plancher du début du XX^e siècle d'une usine et celui d'une maison du début XXI^e, constitués de solives en sapin, appuyées¹⁷ sur des traverses en acier, liées par un platelage cloué (Polaris). Ainsi, le réemploi futur engage le mariage entre une forme d'archaïsme architectural, composé de matériaux peu transformés, d'assemblage identifiable par les générations futures, basé sur une modélisation 3D fine, « tel qu'elle sera (dé)construite ».

Inclure dans la phase de conception la fin de vie de l'ouvrage, anticiper sa maintenance et sa déconstruction, gonfle la part des études dans le budget global du projet, mais aux bénéfices d'une meilleure maîtrise des coûts, de construction, d'entretiens, et in fine de réemploi éventuel des ressources architecturales [67–69].

¹⁴ À ce sujet, voir le projet AOÛTWERK, Cabane de chantier de KARST architecture et du STUDIO1984 ou le projet Kopfbau Halle 118 de Winterthur par Baubüro in situ.

¹⁵ Exemple de lames de bardage (Huuhka), ou des lames de parquet (Polaris).

¹⁶ Build Reversible In Conception.

¹⁷ Et non fixées, ce qui en facilite la dépose.

5. Conclusion

Entre artisanat et industrie, digital et numérique, la limite n'est pas nette [70], le flou cache une complémentarité, une « hybridation » [71] réelle des usages dit « traditionnels » et des usages nouveaux. L'enjeu est donc de trouver l'équilibre, et c'est là où le bois se positionne comme un matériau de premier ordre. Car, la traduction de projets complexes et exigeants, fruit de l'appropriation d'outils numériques en constante évolution est aussi rendu possible grâce aux savoir-faire d'artisans qui font et défont l'architecture. En creux, l'usage d'outils numériques dans le processus de réemploi doit être proportionné selon les bénéfices environnementaux qu'il apporte, notamment d'un point de vue logistique. Il peut permettre au réemploi de devenir économiquement compétitif par rapport à l'approvisionnement en produits neufs, avant que la raréfaction, des ressources primaires et des sources d'énergie qui en permettent la transformation, n'y contribue par elle-même.

[1] THORNTON K. «Salvo strongly supports the salvage and reuse of reclaimed timbers.» SalvoWEB, 24 Septembre 2020.
 [2] « Le sixième toit ». A+1, Projets, Septembre 2020.
 [3] DURMISEVIC E., GUERRIERO A., BOJE C., DOMANGE B., BOSCH G. « Development of a conceptual digital deconstruction platform with integrated Reversible BIM to aid decision making and facilitate a circular economy ». 2021.
 [4] SEDDRé, UNTEC, ADEME, OPPBTP. «Travaux de déconstruction. Recommandations générales sur la consultation des entreprises.» Septembre 2012.
 [5] MERLY-ALPA T., RIEDINGER N., BAUDRY M. «Le parc de logements par classe de consommation énergétique». Observatoire national de la rénovation énergétique, 2020.
 [6] Magicplan. « Construction & Floor Plan App For Contractors ».
 [7] SAS WISEBIM. « Plans2BIM ».
 [8] Space2scan. Visite virtuelle 360 & numérisation d'espace.
 [9] FCRBE, Interreg North-West Europe. « Digital tools for reuse ». Preview. 1 février 2022.
 [10] ADÁN A., QUINTANA B., PRIETO S. A., BOSCHÉ F. « Scan-to-BIM for "secondary" building components ». Advanced Engineering Informatics. 1 août 2018. Vol. 37, p. 119-138.
 [11] BENARAB D., DERIGENT W., BRIE D., BOMBARDIER V., THOMAS A. « All-Automatic 3D BIM Modeling of Existing Buildings ». Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. Springer International Publishing, 2018. p. 56-68. ISBN : 978-3-030-01613-5.
 [12] ROCHA G., MATEUS L., FERNÁNDEZ J., FERREIRA V. « A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings ». Mars 2020. Vol. 3, n°1, p. 47-67.
 [13] SANTOS D., CABAILEIRO M., SOUSA H. S., BRANCO J. M. « Apparent and resistant section parametric modelling of timber structures in HBIM ». Journal of Building Engineering. 15 mai 2022. Vol. 49, p. 103990.
 [14] PÖCHTRAGER M., STYHLER-AYDIN G., DÖRING-WILLIAMS M., PFEIFER N. « Digital reconstruction of historic roof structures: developing a workflow for a highly automated analysis ». Virtual Archaeology Review. 20 juillet 2018. Vol. 9, n°19, p. 21.
 [15] FAI S., FILIPPI M., PALIAGA S. « Parametric Modelling (bim) for the Documentation of Vernacular Construction Methods: a BIM Model for the Commissariat Building, Ottawa, Canada ». 2013.
 [16] YANG X. «3D modeling of built heritage: from geometric models to HBIM». Université de Strasbourg, 2018.
 [17] LANDES T. «Contribution à la segmentation et à la modélisation 3D du milieu urbain à partir de nuages de points». Université de Strasbourg, 2020.
 [18] HOULLETTE D. Entretien ValOBIM, SXD, Equans, Engie Solutions. 9 février 2022.
 [20] DANTAS H. S., SOUSA J. M. M. S., MELO H. C. « The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability ». IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 24 février 2019. Vol. 225, p. 012074.
 [21] SEYS S., BILLET L., GIELEN M., GHYOOT M., HAERLINGEN R., BONIVER T., DEVLIEGER L. «Vade-mecum pour le réemploi hors-site. Comment extraire les matériaux réutilisables de bâtiments publics?». Anderlecht : ROTOR asbl, 2015.
 [22] Démoclés. «Diagnostic produits, matériaux, déchets». 28 août 2020.
 [23] BEAUDAIRE C. Diagnostic Ressources des matériaux. Restructuration de la Gare du Nord. 23 avril 2019.
 [24] Entretien BOMA, les BOnnes Matières, Bureau d'Études Réemploi, Atelier NA, Collectif d'Architectes. Juillet et Octobre 2021.
 [25] HUUHKA S. « Tectonic Use of Reclaimed Timber: Design Principles for Turning Scrap into Architecture ». Architectural Research in Finland. 2 juillet 2018. Vol. 2, n°1, p. 130-151.
 [26] Entretien Polanis, François Thiry, Architecte, Projet 115. Février 2022.
 [27] HOCHSCHEID E. «Diffusion, adoption et implémentation du BIM (Building Information Modeling) dans les agences d'architecture en France». 2021.
 [28] RIFKIN J. «The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world». New York : Palgrave Macmillan, 2011. 291 p. ISBN : 978-0-230-11521-7.
 [29] MCGRAW HILL CONSTRUCTION. «The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling». 2014.
 [30] OPIEC, KYU LAB, ACTH. «Étude sur l'évolution de l'ingénierie française de la construction liée au BIM», 2016.
 [31] BLAY X., DELANDE L., PARC Y., DANIAUD F., GODEFROY F., RETOLIA C., PERRET O. «Étude sur les besoins en compétences dans les filières de valorisation de déchets du bâtiment, avec un focus "réemploi de matériaux"». CAFOC Nantes, Fédération Éco-Construire, ADEME, DHUP. 2021.
 [32] SAKAGUCHI D. «Potential for cascading wood from building». Thèse de master. Espoo, Finlande : Aalto University, School of Chemical Technology. Degree Programme of Forest Products Technology, 2014. 95 p.
 [33] CRISTESCU C., HONFI D., SANDBERG K., SANDIN Y., SHOTTON E., WALSH S. J., CRAMER M., RIDLEY D., RISSE M., IVANICA R., HARTE A., UÍ C., ARANA-FERNÁNDEZ M. D., LLANA D. F., BARBERO M. G., NASIRI B. « Design for deconstruction and reuse of timber structures - state of the art review ». Innovative Design for the Future - Use and Reuse of Wood Building Components - Report: 1. Décembre 2020. p. 92.
 [34] AUMARD S., ÉPAUD F. « La toiture en réemploi: charpente et couvertures de la cathédrale Saint-Pierre de Lisieux ». Archéologie médiévale. 23 octobre 2019.
 [35] BERNARDI P., DESSALES H. « Les réemplois en architecture, entre Antiquité et Moyen Âge: introduction à l'école d'été (Rome, 19-23 septembre 2016) ». Mélanges de l'École française de Rome - Moyen Âge. 5 mai 2017. n°129-1.
 [36] SABATHIER C. « La récupération et le réemploi des matériaux dans les villes du sud-ouest de la France pendant la guerre de Cent Ans ». Mélanges de l'École française de Rome - Moyen Âge. 5 mai 2017. n°129-1.
 [37] Moonwalklocal, Cube, Mobius. «Chaume Urbain, Rue couverte en matériaux biosourcés

et de réemploi». 2020. Saint-Denis.

[38] YVONNE. Reclaimed Timber: A Timber Design Process for Homes . YR Architecture + Design. 4 juin 2015.
 [39] BOULIANNE J. LAVOIE L. POITRAS V. ROY-MONTELLIER V. «TP2, Des modèles de pensée constructive : Les lauréats du prix pritzker». Université de Laval. À propos du «Pavillon Swiss Sound», Exposition internationale d'Hanovre, 2000. Conçu par Peter Zumthor, Daniel Ott, Christian Richters, Nussli.
 [40] Tengbom, Mark Humphreys.«Tillfälliga Saluhallen». Marché temporaire, 2013-2016, Stockholm.
 [41] HARDIN B., MCCOOL D. «BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows.» Seconde Édition. : Wiley, 2015. 416 p. ISBN : 978-1-118-94276-5.
 [42] STEWART BRAND. «How buildings learn : What happens after they are built». Viking, Penguin Books, 1994. 266 p. ISBN : 978-0-670-83515-7.
 [43] BERTHOMÉ T. Entretien Collectif Cancan. Juin 2021.
 [44] « ReX Ressourcerie de chantier Saint-Hilaire Capronis Horizon BTP ». Cycl-op.org. Septembre 2021
 [45] SVALESTUEN F., KNOTTEN V. « Using Building Information Model (BIM) devices to improve information flow and collaboration on construction sites ». ITcon Vol. 22, pg. 204-219.
 [46] SONNETTE S., FIVET C. « Sortir de l'esthétique du bricolage ». Tracés 14-15/2019. 2019.
 [47] ROTOR ASBL, GHYOOT M., DEVLIEGER L., BILLET L., WARNIER A. Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction. Presses Polytechniques Romandes. 2018. 234 p. ISBN : 978-2-88915-239-1.
 [48] ALAN S., KLAAS A. Reclaimed Wood, A Field Guide. New York : Abrams, 2019. ISBN : 978-1-4197-3818-0.
 [49] ISLAM M., MOLLICA Z., SHAH S., VEGESANA S., YANG Y.-C., BURGESS T., BRENTNALL C., SELF M., VERCRUYSSSE E., DRAPER J., ARCHER F., MINAMI N., VAN EGERSAAT C., DEVADASS P., «Wood Chip Barn». Hooke Park. 2012.
 [50] DE GUILLEBON M. «Vers une pratique du réemploi en architecture: expérimentations, outils, approches». Thèse de doctorat. Université Grenoble Alpes, 2019.
 [51] KOVACS R., SEUFERT A., WALL L., CHEN H.-T., MEINEL F., MÜLLER W., YOU S., BREHM M., STRIEBEL J., KOMMANA Y., POPIAK A., BLÄSIUS T., BAUDISCH P. « TrussFab: Fabricating Sturdy Large-Scale Structures on Desktop 3D Printers ». CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2017. p. 2606-2616. ISBN : 978-1-4503-4655-9.
 [52] WARMUTH J., BRÜTTING J., FIVET C., « Phoenix3D ». EPFL. 2021.
 [53] BUSER B. « Le réemploi génère de la créativité ». Espazium. 12 juillet 2019. n°14-15/2019, p. 6 à 9.
 [54] EPFL, EAST Research. Laboratory of elementary architecture and studies of types. «Saint-Aubin Catalogue». 2018.
 [55] CIRUGEDA S. « Recetas Urbanas, Urban Recipes ». 2022.
 [56] PERRAUD S. « Construire en béton ... sans couler de béton ». 11 octobre 2021. EPFL.
 [57] SIMAY P. « Le réemploi comme ressource première ». Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère». 26 mars 2021. n°11.
 [58] GUY B., SHELL S., ARCHITECTURE D., FRANCISCO S. « Design for Deconstruction and Materials Reuse ». p. 20.
 [59] SASSI P. « Strategies for Sustainable Architecture ». Taylor and Francis, 2006. ISBN : 9781134295364
 [60] COUSINS S. « Recycled walls become brick cladding panels ». RIBA Journal, 15 avril 2015.
 [61] MÉQUIGNON M. « Durée de vie et développement durable ». Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine. 1 novembre 2012. n°26/27, p. 225-232.
 [62] ALIX C., ÉPAUD F. «La construction en pan de bois: Au Moyen Âge et à la Renaissance». Presses universitaires François-Rabelais, 2013. ISBN : 978-2-86906-294-8.
 [63] RUCH M. « La maison alsacienne à colombage ». 1977.
 [64] ANDROSEVIC R., DURMISEVIC E., BROCATO M. « Measuring reuse potential and waste creation of wooden façades ». IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 24 février 2019. Vol. 225, p. 012017.
 [65] OSTAPSKA K., GRADECI K., RUTHER P. « Design for Disassembly (DFD) in construction industry: a literature mapping and analysis of the existing designs ». J. Phys.: Conf. Ser. 1 novembre 2021. Vol. 2042, n°1, p. 012176.
 [66] CAPELLE T., LOWRES F., MANTELL S., FARNETANI M., STEINLAGE M., DURMISEVIC E., BRANCART S., PADUART A., ELSÉN S., WESLEY L., POPPE J., MUL E.-J., LUSCUERE L., MORIZUR C., DELATTE M., DEBACKER W., HEINRICH M. « Testing BAMB results through prototyping and pilot projects. » D14 - 4 pilots built + Feedback report. 28 février 2019. p. 134.
 [67] BRUDE D., BROQUETAS M., VOLM J. M. « The project benefits of Building Information Modelling (BIM) ». International Journal of Project Management. 1 octobre 2013. Vol. 31, n°7, p. 971-980.
 [68] LAHIANI M. « Benefits of BIM implementation in the French construction industry ». IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Novembre 2020. Vol. 588, n°4, p. 042055.
 [69] ROMON C., DELCAMBRE B., LAMOUR G. BIM et maquette numérique. Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, 2016. 85 p. PTNB. ISBN : 978-2-11-152059-2.
 [70] BERTHIER S. Création architecturale et industrialisation de la filière bois: l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques. Université Paris Saclay, 2017.
 [71] SHEIL B.« Protoarchitecture: Analogue And Digital Hybrids ». Architectural Design, Juillet-Août 2008, Vol. 78 No. 4, pages 6-11.