

Les journées de l'Enseignement de la maquette numérique et du BIM en France

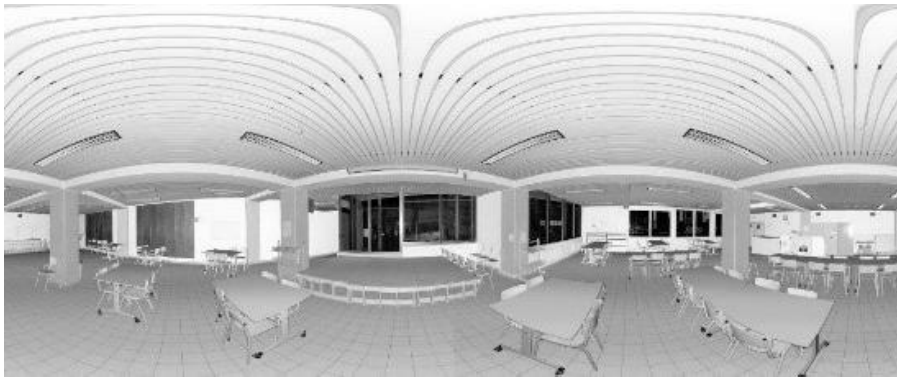
EduBIM 2020

Édité le
15/10/2020

Session 1 – Situations professionnelles

Expérimentation d'intégration des concepts de circularité en architecture grâce au BIM : modèle d'apprentissage par le jeu de rôle

Charlotte Dautremont, Sylvie Jancart



Expérimentation d'intégration des concepts de circularité en architecture grâce au BIM : modèle d'apprentissage par le jeu de rôle

Charlotte Dautremont – Doctorante¹

Sylvie Jancart – Chargée de cours¹

¹ LNA Faculté d'architecture – Université de Liège

Résumé

Cet article partage une journée d'expérimentation d'un nouveau modèle d'apprentissage en jeu de rôles avec pour objectif l'intégration des concepts de circularité en architecture grâce au processus BIM. Consciente des bouleversements qu'impliquent l'introduction du BIM et les concepts de circularité en architecture, notre équipe de recherche a proposé l'expérimentation d'un nouveau modèle d'apprentissage réunissant ces deux thématiques. Résultat d'une collaboration entre deux projets européens, l'expérience a été éprouvée lors d'une journée d'étude par une équipe internationale impliquant 25 étudiants. A travers ce partage d'expérience, nous interrogeons la pertinence des méthodes d'apprentissage sur les nouveaux processus collaboratif numérique et sur la durabilité en architecture. Enfin, nous envisageons et testons le processus collaboratif BIM comme levier au développement d'une approche circulaire en architecture, en phase conception.

Abstract

Following recent changes in architecture, due to the introduction of new technological processes such as BIM, and the relationship to the matter due to the introduction of circularity, this article shares a trial experience of a new learning model based on the two following topics: BIM and circularity. The learning experience, which is the result of a collaboration between two European projects, was tested during a one-day study carried out by an international team and involving 25 students. Through this case study, we question two aspects: on the one hand, the relevance of the learning methods on topics such as BIM and circularity, and on the other hand, BIM as a lever for integrating circularity into architecture in design phase.

Mots clefs

Jeux de rôles, BIM, circularité, réemploi, collaboration en conception.

Keywords

Role-playing, BIM, circularity, reuse, collaborate in design.

1. Contexte

1.1 Changement de paradigme en architecture

Secouée par deux évolutions majeures, l'architecture connaît un véritable changement de paradigme issu du développement du BIM¹ d'une part et du développement de la circularité d'autre part. Encouragée par le plan d'action européen sur l'économie circulaire² de 2015 et la législation européenne sur la gestion des déchets (*DIRECTIVE UE 2015/1127*, 2015), la circularité modifie le rapport empirique à la matière, les modes de construction actuels et les processus de construction traditionnels (Fig.1).

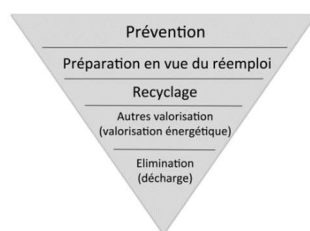


Figure 1 Hiérarchie d'action selon la directive européenne 2008/98/CE (Gobbo, 2014)

Depuis quelques années, nous constatons l'intérêt grandissant à travers l'émergence d'études traitant conjointement le BIM et la circularité. Déjà en 2014, Gobbo soulignait que le développement d'une approche circulaire dans le secteur de la construction « *devrait tendre vers plus de collaboration, de communication et surtout, elle devrait intégrer une implication des différents intervenants dès la phase de conception. Leur expertise respective et la définition d'un langage commun permettrait de prévenir l'apparition de déchets. Une des clés à la prévention et à la réduction est donc la mise en place d'une gestion intégrée et dynamique du projet dès la phase initiale de conception* » (Gobbo, 2014, p. 385).

Ainsi pour développer une architecture circulaire et appréhender le cycle de vie du projet, la littérature met en lumière plusieurs paramètres dont la collaboration des acteurs dès la phase conception, dans un même langage (Gobbo, 2014) autour d'un avatar numérique commun (Dautremont, Dagnelie and Jancart, 2018; Charef, Alaka and Ganjian, 2019; Dautremont *et al.*, 2019; Di Biccari *et al.*, 2019; Halbach and Jancart, 2019).

Comme le montre l'expérience rapportée, la collaboration en BIM va au-delà d'un simple développement technologique et doit tendre d'avantage vers une démarche sociologique de manière à aborder l'évolution de la gestion de projets en BIM (Gless, Hanser and Halin, 2018).

Dans un article de 2018 (Dautremont, Dagnelie and Jancart, 2018), nous abordions le BIM en tant que processus collaboratif comme levier pour une architecture circulaire. Après avoir mis en parallèle les limites de l'adoption du BIM selon l'étude de Marin et Segura (Marin and Segura, 2014)z avec les obstacles au réemploi en architecture (Delmée, 2017), nous avons mis en évidence 5 catégories de freins: (i) techniques et technologiques, (ii) normatives et juridiques, (iii) économiques, (iv) méthodologiques et (v) institutionnelles, émotionnelles et culturelles. Avec cette approche, nous souhaitons répondre à la question « *les freins de l'une des deux thématiques (BIM et circularité) peuvent-ils devenir le levier de l'autre ?* ». Nous avons d'une part relevé plusieurs avantages significatifs à la corrélation des deux thématiques en une, appelée BIM6D³ et d'autre part nous avons esquissé plusieurs pistes de

¹ BIM : Building Information Model, Modeling, Management

² https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_fr, consulté le 18 février 2020

³ Le BIM6D est ici pris comme un processus collaboratif BIM à dimension durable, comprenant une approche circulaire.

développement. Dans une étude plus récente, Charef et ses collègues (2019) ont identifié 4 catégories similaires. Cette étude résulte d'une revue de la littérature et d'entretiens auprès de 8 professionnels travaillant sur la fin de vie des bâtiments en BIM avec une expérience d'au moins 10 ans (Fig. 2). Nous utiliserons ces catégories de freins dans le chapitre " Résultats " pour analyser les obstacles rencontrés lors d'une expérimentation organisée en avril 2019.

BARRIERS		Interviewees References	ROLES			
Categories	Sub-categories		BIM Manager (x4)	Designer (x2)	Controller (x1)	Owner/R&D (x1)
ECONOMIC 76 References 7 Respondents	Activity sector	2 4	3	1		
	Financial cost	7 42	31	5		6
	Market-structure	3 9	5		3	1
	Space for storage	2 3	1			2
	Time-complexity	6 18	9	8		1
POLITIC 43 References 8 Respondents	Contracts-tender	1 1		1		
	centive for reclaimed materials	1 1	1			
	Insurance	3 3		1	1	1
	Regulations	8 38	14	5	2	17
SOCIOLOGIC 78 References 8 Respondents	Aesthetic trend	1 1			1	
	Awareness	4 6	5			1
	Construction = durability	3 7	1	2		4
	Human behaviour	8 32	15	7		5
	Lack of information	3 3	2	1		
	Lack of understanding-interest	2 3	1	2		
	Responsibilities	5 10	6	3		1
TECHNOLOGIC 61 References 7 Respondents	Training-skills	6 12	8	3		1
	Unrealistic	3 4	2			2
	Building type & size	6 12	10		1	1
	Material	7 30	15	5	1	9
	Method adaptation	3 7	1	2		4
	Software - New tools	3 4	3	1		
	Work-task	4 8	8			

Figure 2 : Obstacles à l'introduction d'une phase "fin de vie" dans le cycle de vie d'un bâtiment (Charef et al.,2019)

1.2 Projet BIM GAME : apprendre à collaborer par le BIM

Cet article relate une journée expérimentale menée dans le cadre d'un projet européen ERASMUS+ appelé BIM GAME⁴ dont l'objectif vise à apprendre à collaborer grâce au processus collaboratif BIM à travers un jeu de rôles. Guidé par un formateur, chaque étudiant participant joue le rôle d'un des acteurs de la construction au sein d'une équipe. Développé sur trois années, le projet BIM Game résulte d'une collaboration de partenaires académiques et professionnels issus de 5 pays européens⁵. Les partenaires se sont rencontrés 26 fois et ont testé 10 scénarios différents, basés sur les pratiques professionnelles et construits autour des enjeux du secteur de la construction. L'expérience que nous décrivons dans cet article a été la première à combiner l'apprentissage de deux thématiques : d'un côté, l'expérimentation du BIM et de l'autre, le développement d'une approche circulaire en architecture. Le développement de cette double thématique résulte d'une collaboration d'un second partenariat européen, le projet *Towards BIM and Bio-Buildings* (ToB3⁶), dont l'objectif est l'échange de bonnes pratiques dans les champs du BIM, de l'écoconstruction et du développement durable. En avril 2019, nous avons organisé un séminaire de deux jours autour des thématiques du BIM et de la circularité en architecture : la première journée était réservée aux partenaires des deux projets européens pour expérimenter la collaboration en BIM d'un projet d'architecture circulaire. Ouvert au public, le deuxième jour était réservé aux conférences et workshop.

Cet évènement BIM Game « BIM & durabilité » fut l'opportunité pour notre équipe de recherche de (i) développer un nouveau modèle d'apprentissage de collaboration par le BIM, (ii) d'amener les étudiants et enseignants à concevoir un projet d'architecture avec une approche circulaire, (iii) et d'expérimenter

⁴ Le projet BIM Game est un projet européen réalisé entre 2016 et 2019 avec pour objectif « d'apprendre à collaborer grâce au processus BIM » par le jeu de rôles. Source : <https://bimgame.eu/>, consulté le 11 février 2020

⁵ Deux universités d'Allemagne, une d'Espagne, une d'Italie, et une de Belgique, une firme BIM de Pologne, une école secondaire de France et un groupe d'intérêt public de l'Académie en France.

⁶ <https://tob3.eu/fr/bienvenue-2/>, consulté le 18 février 2020

et vérifier l'hypothèse selon laquelle le BIM participe au développement de la circularité en phase conception.

2. Méthodologie

2.1 Cadre de l'expérience

L'expérience « BIM & durabilité » a été créée en se basant sur le cadre méthodologique défini par le projet BIM Game, dont les contraintes étaient les suivantes : (a) réaliser l'expérimentation en une seule journée, (b) autour d'un scénario imaginé par le partenaire accueillant, (c) avec la participation volontaire d'étudiants et (d) sans cours théoriques particuliers préalables. Le modèle d'apprentissage proposé est basé sur l'expérience et la pratique.

Le premier jour était consacré à l'expérimentation par le jeu de rôle, via la plateforme créée par et pour le projet BIM Game. Composées des membres partenaires du projet, cinq équipes de cinq étudiants ont répondu à un concours d'architecture d'intérieur en BIM et avec une approche circulaire.

Précurseur dans son approche à double thématique, le scénario est également novateur dans l'appel à collaborations externes au projet européen. Le Lycée Intégral Roger Lallemand (LIRL⁷), premier des deux collaborations ponctuelles, fut le point d'ancrage de cette expérience en réalisant un appel à projet pour la transformation de la salle Agora du lycée en salle polyvalente. En tant que second partenaire, la coopérative Rotor⁸, expert en circularité sur la scène belge et européenne, a joué le rôle de guide pour les étudiants. De plus, le hangar de matériaux de réemploi de la coopérative est devenu le bureau et la matériauthèque pour les étudiants le temps d'une journée.

Les cinq équipes étaient réparties sur les deux sites. Dans la salle Agora du LIRL, deux étudiants jouaient le rôle des architectes pour la conception du projet accompagné d'un troisième étudiant orchestrant le projet en tant que BIM coordinateur. Sur le site de Rotor, un étudiant jouait le rôle d'ingénieur pour les études environnementales et techniques et un second étudiant était chargé de développer l'approche circulaire en tant que manager circulaire.

Avec pour objectif de créer des équipes cosmopolites, nous avons préalablement attribué les rôles à jouer aux étudiants. Cette démarche nous a permis de tirer parti des connaissances des étudiants, spécifiques à leurs études, tout en limitant l'apprentissage à la collaboration par le BIM et à la démarche circulaire. Ainsi, nous avons attribué les rôles d'architecte aux étudiants en architecture, d'ingénieur aux étudiants en ingénierie et de coordinateur BIM aux étudiants ayant le plus de compétences BIM. Ce niveau de compétences BIM a été soit défini suivant leur participation antérieure aux événements du BIM Game, soit transmis par leurs enseignants respectifs. Les parcours scolaires des étudiants étaient variés, avec des profils d'architectes ou d'ingénieurs, allant de la fin du premier cycle (bachelier) au début du troisième cycle (doctorat). Ce niveau scolaire était indépendant du niveau de connaissances en BIM et/ou en circularité.

La matinée de la seconde journée de rencontre était rythmée par des conférences données par des chercheurs et des professionnels, experts dans l'une des deux thématiques ou les deux (Fig 3). L'après-midi était réservé à plusieurs ateliers participatifs. Pour clôturer cette seconde journée, les étudiants ont

⁷ <http://lirl.be/>, consulté le 13 février 2020

⁸ <https://rotorde.com/>, consulté le 13 février 2020

présenté leur projet en vue d'être évalués⁹ par l'audience¹⁰ selon plusieurs critères : qualité architecturale, qualité de réemploi, développement durable, model BIM, présentation, originalité du projet.

Cette proposition de format a permis aux étudiants de prolonger leur apprentissage en BIM et/ou circularité grâce aux retours d'expériences professionnelles des experts, des présentations de recherches et des questions soulevées lors du débat avec l'audience. La reconnaissance de professionnels et de leurs pairs lors d'un jury a décuplé la motivation des étudiants à répondre à cet appel à projet. La méthode proposée intègre indirectement les concepts du modèle ARCS-V de Keller (Attention, Pertinence, Confiance, Satisfaction et Volonté) (Keller, 2016).

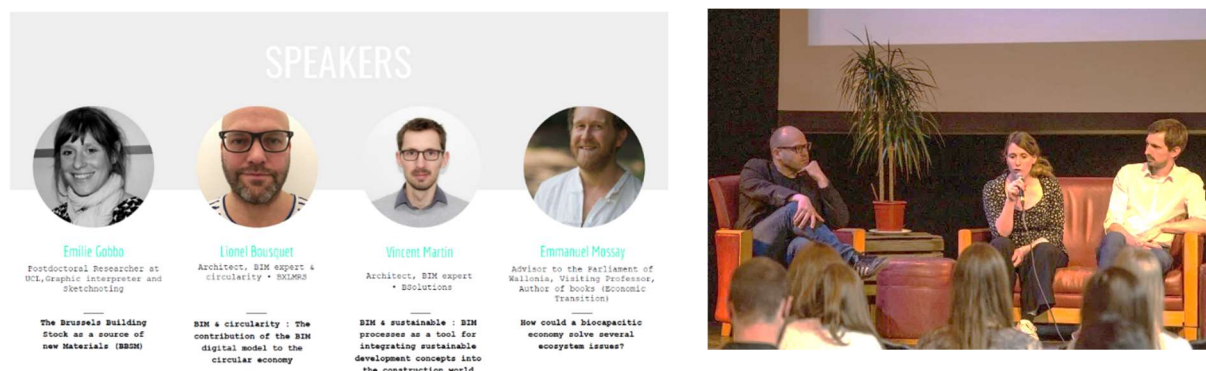


Figure 3 : Conférenciers experts en BIM et/ou circularité, issu du programme *BIM & durabilité* (gauche) - Débat avec l'audience sur la double thématique (droite)

2.2 Ressources

Plusieurs ressources ont été proposées pour soutenir les étudiants dans ce travail complexe. La première était la modélisation du flux de processus théorique (Fig. 4) basé sur le principe du Business Process Model and Notation (BPMN¹¹). Inspiré de scénarios précédents, cette méthode de modélisation est utilisée dans le secteur professionnel pour la mise en œuvre du BIM. Elle représente l'état d'avancement du processus collaboratif et permet de comprendre les comportements attendus des acteurs. Divisée en sept étapes (colonnes) et six acteurs (couloirs), le BPMN donne une vue d'ensemble des tâches (carrés bleus), les délais et étapes (en haut des colonnes), les réunions (ronds ou losanges jaunes) et permet d'anticiper au maximum les conflits. Chaque équipe a reçu le processus imprimé en grand format (200 x 100 cm). Pour compléter le BPMN, une feuille « appel à projet » décrivait le programme du concours et les utilisations souhaitées ainsi que la volonté du LIRL de développer la conception autour de la flexibilité d'usage. Cette notion fut l'un des premiers concepts de circularité insufflé aux étudiants participants. Décrivant les objectifs de chaque joueur, des « fiches acteurs » donnaient en détail les tâches à réaliser à chaque étape. Nous avons étendu les concepts de circularité au sein de deux fiches acteurs : d'une part l'ingénieur était chargé d'intégrer les concepts de démontabilité (tâches représentées par des cercles bleus sur le BPMN, Fig. 4) et d'autre part le manager circulaire était en charge du développement durable et plus particulièrement celle du réemploi des matériaux (tâches représentées par des rectangles oranges sur le BPMN, Fig. 4).

⁹ L'évaluation s'est faite en direct grâce à l'application 'Wooclap educational': <https://www.wooclap.com>, consulté le 13 février 2020

¹⁰ Préalablement à l'évaluation des étudiants, nous avons réalisé un sondage en direct grâce à l'application Wooclap en vue d'estimer le profil de l'audience. 49% de l'audience travaille en BIM, 23% en développement durable, 8% en circularité et 20% travaillent dans une autre thématique.

¹¹ BPMN : Business Process Model and Notation

Enfin, à ces ressources managériales se sont ajoutées des ressources techniques et opérationnelles telles que le relevé en nuage de points (Fig. 5) et la maquette numérique de la salle Agora, des accès aux logiciels BIM en version académique et enfin l'accès à la plateforme BIM Game¹².

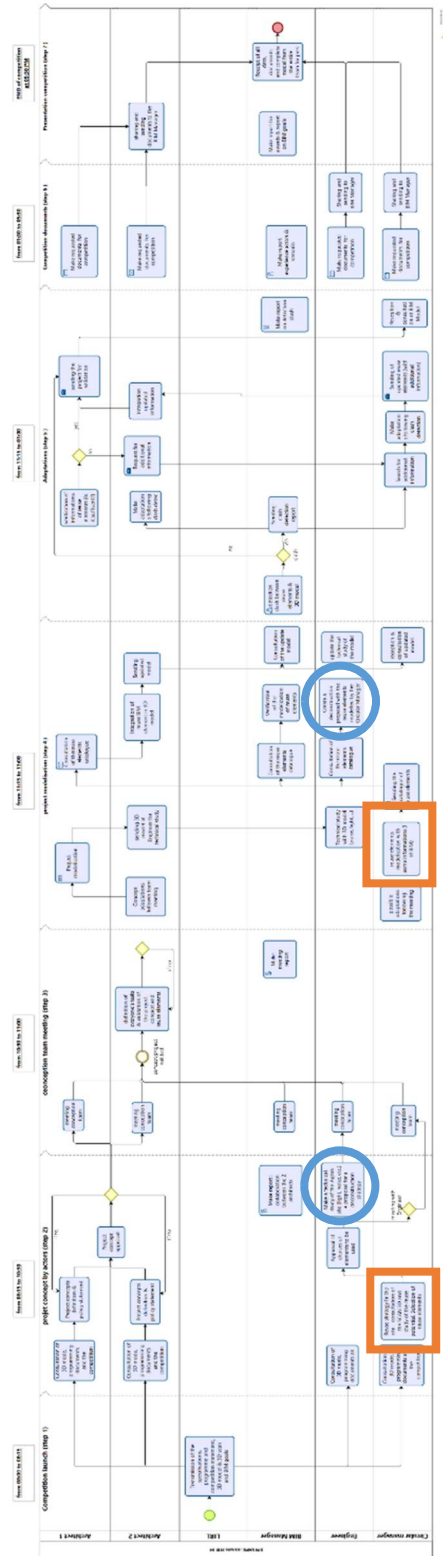


Figure 4 : Processus théorique modélisé pour le scénario « BIM & circularité », avril 2019

¹² <https://play2.bimgame.eu/index.php/login>, consulté le 13 février 2020

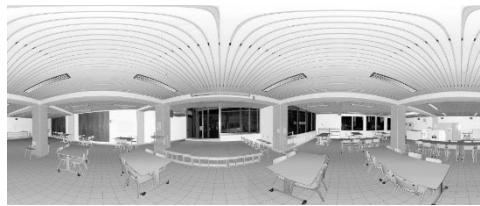


Figure 5 : Relevé en nuages de points de la salle Agora du LIRL

3. Résultats

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'hypothèse selon laquelle le BIM est un levier à la circularité en architecture. Pour cela, notre approche envisage les freins et les leviers relevés lors de l'expérience.

Nous avons recueilli les freins rencontrés par les étudiants issus des cinq rapports des BIM manager. Les mots les plus fréquemment utilisés et représentant les freins au processus BIM et/ou à la circularité ont été classés selon les 4 catégories de freins identifiées par Charef (Charef, Alaka and Ganjian, 2019). Répartis selon les quatre étapes du scénario¹³, la figure 6 met en évidence des résultats différents selon les stades de développement du scénario : la barrière sociologique apparaît principalement au début de l'expérience tandis que les barrières technologiques apparaissent davantage à la fin du scénario.

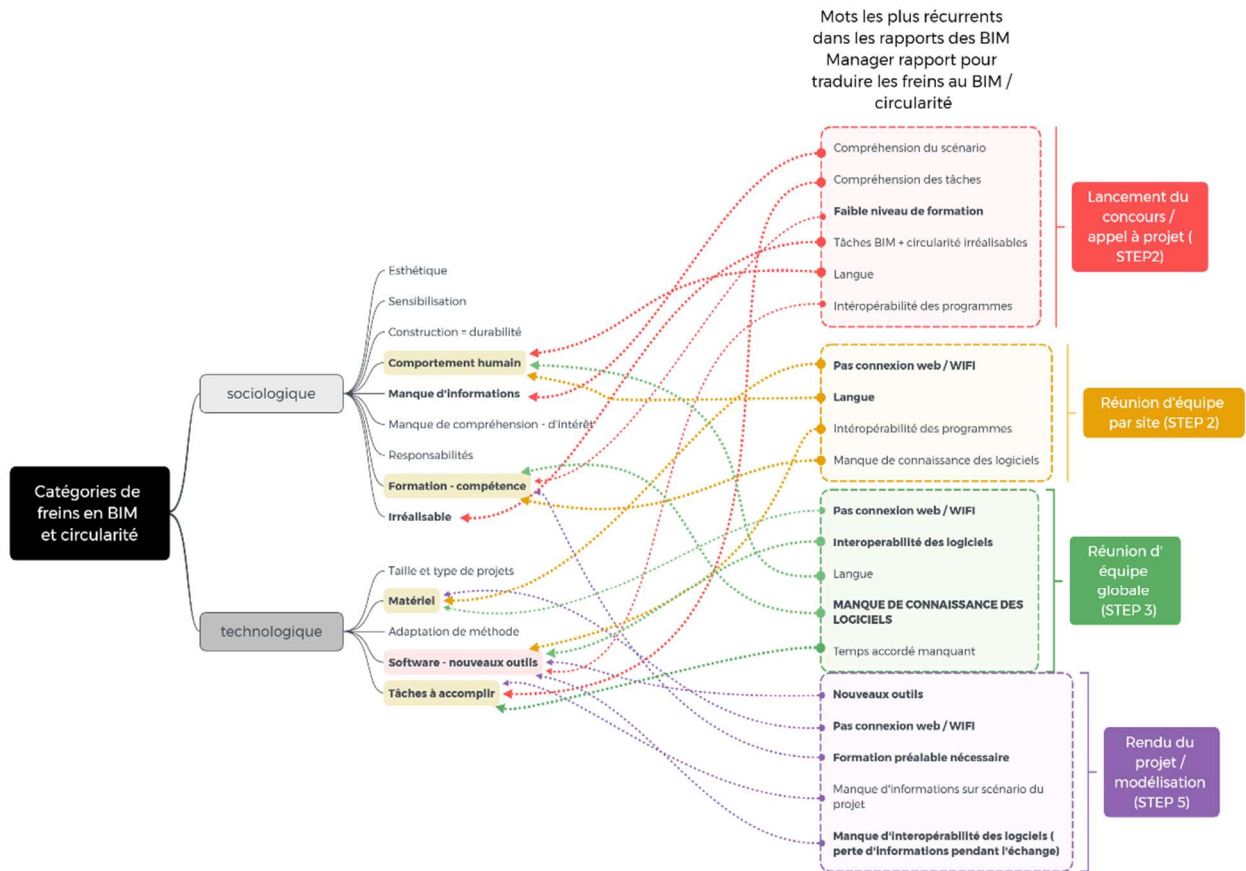


Figure 6 : Freins au développement d'une circularité dans un processus BIM, identifiés au cours d'une expérience du projet BIM GAME et issus des rapports des étudiants

¹³Lancement du concours, travail d'équipe par site, réunion d'équipe générale et modélisation du projet.

Les freins sociologiques

Tout comme chez les professionnels, les étudiants décrivent le comportement humain comme l'un des freins majeurs, et ce tout au long du processus. L'incompréhension linguistique¹⁴ entre les participants a entraîné un réel ralentissement de l'efficacité du développement du projet. Cependant, les étudiants ont profité des outils technologiques à leur disposition et de leurs compétences métiers respectives pour lever ces freins : grâce à la maquette numérique supportée par des croquis et schémas d'intention, tous ont répondu au concours. Nous faisons le constat à travers cette expérience de l'absence du frein « esthétique » des rapports des étudiants, frein à la circularité que nous avons mis en évidence dans une étude de 2018 (Dautremont, Dagnelie and Jancart, 2018). Dans cette étude de 2018, nous proposons les outils numériques comme des leviers à la créativité. Convergeant vers notre hypothèse de départ, nous partageons à titre d'exemple l'application d'upcycling¹⁵ de deux des cinq équipes à la figure 7.

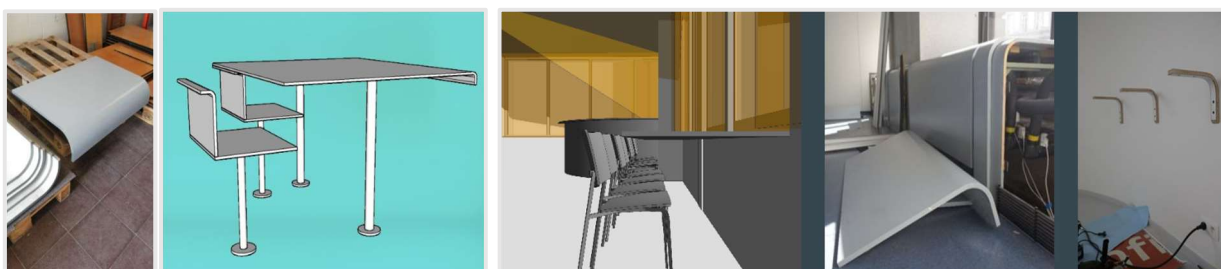


Figure 7 : Cache-radiateurs issus du hangar de Rotor détournés en dossier de chaises et en tablettes (projets des équipes 1 et 3)

Les freins technologiques

L'acquisition et la manipulation des logiciels BIM et les nouveaux outils numériques est le second frein majeur. Le manque d'interopérabilité réelle entre les logiciels BIM (principalement entre REVIT© et ARCHICAD©) a conduit à des pertes de données avec une nouvelle modélisation dans le logiciel natif.

Enfin, la collaboration à distance a été rompue à maintes reprises durant l'expérience due à une latence du réseau Wi-Fi. Clé de voûte de la réussite d'une collaboration en BIM, la rupture de connexion a accentué l'impact des freins technologiques et matériels.

Les freins économiques et politiques

Les catégories économique et politique n'apparaissent pas dans les rapports d'étudiants, alors que l'étude de Charef en révèle une grande importance dans le contexte professionnel. Cette divergence entre milieu académique et professionnel résulte d'un manque de connaissances normatives, contractuelles et assurantielles d'une part, et d'autre part, d'un manque de notion financière d'un projet. De ce fait, ces deux aspects n'étaient pas des contraintes à traiter dans le scénario.

Bien qu'écarté de notre analyse pour les raisons sus-citées, le temps, en tant que sous-catégorie économique, s'est révélé par sa récurrence. A l'instar d'autres rencontres BIM Game préalable, l'envergure du scénario nécessitait un délai supplémentaire à l'apprentissage des thématiques et ainsi répondre en profondeur au projet.

¹⁴Tous les étudiants participant ne maîtrisaient pas l'anglais, langue commune des projets européens.

¹⁵ Upcycling : donner une valeur supérieure à la valeur initiale d'un élément.

Malgré ces difficultés rencontrées, l'équipe 5 a présenté le projet le plus abouti dans l'intégration des paramètres et des informations dans le modèle 3D avec une production de métré quantitatif, des bordereaux de prix et détections de conflits entre les maquettes d'architecture et d'ingénierie (Fig.8).

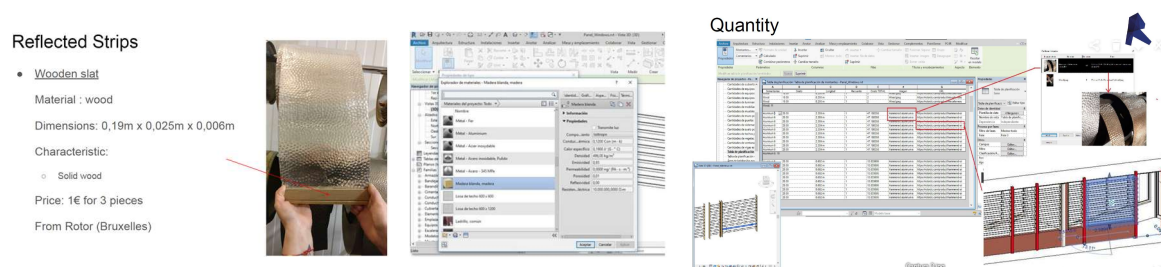


Figure 8 : Modélisation BIM et intégration de bandes réfléchissantes de réemploi, dans la maquette numérique – Equipe 5

4. Conclusion

Cette expérimentation comportait 3 objectifs :

(I) NOUVEAU MODÈLE D'APPRENTISSAGE DE COLLABORATION EN BIM

A travers cette expérience, nous proposons un nouveau modèle d'apprentissage des métiers de la construction en mettant l'accent sur la collaboration des acteurs grâce au processus numériques connectés. Cette vision tire parti des outils et du modèle numériques sans y polariser toute l'attention.

Malgré les différents freins relevés, nous faisons le constat que le format proposé par le projet européen BIM Game permet une appropriation rapide des notions de bases de la collaboration en BIM. Basé sur la participation et la pratique, le jeu de rôles met rapidement les participants en situation et les obligent à débloquent des freins technologique en proposant des solutions collaboratives. Afin de pérenniser et d'approfondir cet apprentissage, nous recommandons un apprentissage théorique préalable à l'expérimentation. Cette recommandation est valable tant en BIM qu'en développement circulaire. Un modèle itératif, entre théorie et pratique, permettrait d'appréhender le changement de paradigme en architecture et d'éviter une rupture dans cette évolution.

Aussi, repenser les modèles d'apprentissage nécessitait de susciter l'intérêt des étudiants : l'expérimentation et le partage de connaissances se sont révélés être particulièrement porteurs dans ce processus. La reconnaissance de professionnels et de leurs pairs lors d'un jury a décuplé la motivation des étudiants à répondre à cet appel à projet.

(II) DÉVELOPPER UNE REFLEXION SUR LA CIRCULARITÉ

Grâce à ce projet européen impliquant 5 pays, nous avons pu partager nos réflexions sur la circularité avec 25 étudiants et au moins 6 enseignants, qui étaient novices dans le domaine avant l'expérience. La journée de conférence a permis la rencontre et les débats des experts BIM et des experts de la circularité ainsi que le partage d'expérience et bonnes pratiques à l'échelle européenne. De plus, en tant que projet européen, notre scénario, ainsi que les autres scénarios du projet BIM Game, est disponible comme ressources pour des écoles ou professionnels intéressés d'apprendre à collaborer en BIM.

(III) EXPÉRIMENTER LE BIM COMME LEVIER À LA CIRCULARITÉ

L'ambition initiale du développement du BIM était d'améliorer l'efficacité du secteur de la construction et de surmonter les graves conséquences économiques, sociétales et environnementales de son inefficacité (gaspillage de la production, surproduction, gestion des ressources). Cependant, la lente

adoption du BIM, et parfois sa résistance, est due à une mauvaise compréhension de l'intérêt qu'il représente d'un point de vue collaboratif et durable. L'évitement, voir le rejet, sont alimenté par la communication publicitaire essentiellement technologique. L'expérience rapportée traduit l'importance de la corrélation entre sociologie et technologie. Au sein de cette expérience, le jeu de rôles joue un pilier central à la réussite du scénario équivalent à celui des outils technologiques BIM.

Le BIM est-il un des leviers pour la circularité en architecture ? L'unique expérimentation ne nous permet pas de tirer cette conclusion. Cependant, nous constatons que la collaboration par le BIM a permis d'aborder différents aspects de la circularité tels que la flexibilité d'usage, la démontabilité et le réemploi. Ces aspects ont été rendus possibles grâce à la modélisation informée et le travail collaboratif. Couplée à l'approche sociologique et à travers l'analyse des projets proposés par les étudiants, l'expérience souligne l'importance d'aborder une approche BIM et circulaire dès les prémises de la phase de conception du projet.

En conclusion, les 3 objectifs initiaux de l'expérience ont été révélés partiellement. Nous recommandons de répéter ce scénario dans d'autres conditions avec des profils différents afin d'approfondir les résultats.

Bibliographie

Di Biccari, C. *et al.* (2019) 'A BIM-Based Framework to Visually Evaluate Circularity and Life Cycle Cost of buildings.', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/290/1/012043.

Charef, R., Alaka, H. and Ganjian, E. (2019) 'A BIM-based theoretical framework for the integration of the asset End-of-Life phase', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012067.

Dautremont, C. *et al.* (2019) 'Parametric design and BIM, systemic tools for circular architecture', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012071.

Dautremont, C., Dagnelie, C. and Jancart, S. (2018) 'Le BIM6D comme levier pour une architecture circulaire', *SHS Web of Conferences*, 47, p. 01005. doi: 10.1051/shsconf/20184701005.

Delmée, H. (2017) *Un VADE-MECUM pour la conception à partir de matériaux de réemploi*. Catholic University of Louvain (LOCI).

DIRECTIVE UE 2015/1127 (2015). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32015L1127>.

Gless, H.-J., Hanser, D. and Halin, G. (2018) 'Pratique BIM-agile d'élicitation et de raffinement des intentions architecturales : le Micro Poker', *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences, 47, p. 01008. doi: 10.1051/shsconf/20184701008.

Gobbo, E. (2014) *Déchets de construction, matières à conception. Analyse des stocks et flux de matières dans le cadre des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale*. Université Catholique de Louvain UCL.

Halbach, A. and Jancart, S. (2019) 'BUILDING FOR RESOURCE RECOVERY THROUGH BIM, Interviews with practicing architects', *Responsive Cities, disrupting through circular design, IAAC*, pp. 1–8.

Keller, J. M. (2016) 'Motivation, Learning, and Technology: Applying the ARCS-V Motivation Model', *Participatory Educational Research*. doi: 10.17275/per.16.06.3.2.

Marin, P. and Segura, J. A. C. (2014) 'Outils, méthodes et acteurs : analyse des limites à l'utilisation de la maquette numérique', *Interaction des Maquettes Numériques, Actes du 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique (SCAN'14)*.