

# Durabilité sociale des processus BIM pour les concepteurs : focus sur les méthodes d'apprentissage dans les écoles d'architecture

## *Social sustainability of BIM processes for designers: Focus on learning methods in architecture schools*

Elodie André<sup>\*1,2</sup>, Hafida Boulekbache<sup>1</sup>, et Mohamed-Anis Gallas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UPHF, Laboratoire DeVisU, Campus Mont Houy, 59313 Valenciennes, France

<sup>2</sup>UMONS, Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, 88 Rue d'Havré, 7000 Mons, Belgique

**Résumé.** Les processus BIM peuvent être employés pour améliorer la durabilité sociale des projets. L'un des usages que nous identifions est celui de l'apprentissage. Cet article explore l'utilisation du BIM comme outil pédagogique dans les écoles d'architecture. A travers l'étude d'expériences menées par des enseignants-chercheurs auprès de leurs étudiants, nous abordons quatre thématiques : l'enseignement de la gestion des espaces, des techniques de construction, de la durabilité et de la collaboration.

**Mots clés.** BIM, durabilité sociale, pédagogie.

**Abstract.** BIM processes can be used to improve the social sustainability of projects. One of the uses we identify is for learning. This article explores the use of BIM as a pedagogical tool in architecture schools. Through the study of experiments conducted by teacher-researchers with their students, we address four themes: teaching about space management, construction techniques, sustainability and collaboration.

**Keywords.** BIM, social sustainability, education.

## 1 Contextualisation

Le développement durable, dans sa définition initiale, correspond à un développement s'attachant équitablement aux thématiques de l'écologie, de l'économie et du social [1]. Notre définition de la construction durable s'appuie également sur cette logique, résumée par Aliko-Myrto Perysinaki comme « une architecture socialement équitable, écologiquement soutenable et économiquement viable (...) mettant en avant à la fois l'impératif de durabilité des projets dans le temps, et celui d'acceptabilité sociale et environnementale » [2]. Au cours

---

\* Corresponding author: [elodie.andre@umons.ac.be](mailto:elodie.andre@umons.ac.be)

de notre recherche, nous avons souhaité identifier comment la durabilité était prise en compte par les concepteurs au cours des processus BIM. Nous avons constaté que le pilier social y était moins souvent traité que les piliers écologiques et économiques [3]. Pourtant, la plupart des définitions du BIM s'accordent sur le fait qu'il soit lié à un processus de travail basé sur la collaboration des acteurs du projet, ce qui implique des échanges sociaux et un grand nombre d'interactions communicationnelles entre ces acteurs. Lorsque l'on a pris conscience de cela, on ne peut plus nier la nature sociale du BIM. L'ensemble de ces observations ont orienté notre recherche vers l'étude de la durabilité sociale des pratiques BIM.

## **1.1 BIM et durabilité sociale**

Le concept de durabilité sociale est utilisé différemment selon le type d'acteur qui l'emploie, et est souvent traité de manière secondaire au profit de la durabilité écologique et économique [4]. Le choix d'employer la notion du « social » comme l'un des trois éléments centraux dans la définition de la durabilité sous-entend que le développement doit se faire au profit de la communauté, et non que la communauté doive servir le développement. Le mot « social » « renvoie aux composantes sectorielles du bien-être, c'est-à-dire à la santé, la nutrition, l'éducation, l'emploi, les affaires sociales, etc., qui concernent les secteurs sociaux, et dont la distribution et les privations soulèvent les questions de pauvreté, d'inégalité, de chômage, et d'exclusion » [5].

Le développement socialement durable peut également faire référence à la qualité des interactions sociales qui se produisent entre les individus. A l'échelle du projet, cela implique d'accorder une attention particulière à la communication entre les personnes. On peut également relever une double échelle de compréhension du concept, qui consiste à répondre aux besoins de l'individu tout en répondant aux besoins de la collectivité. La notion de « qualité de vie » revient très régulièrement dans les définitions de la durabilité sociale lorsqu'elle est contextualisée dans le domaine de l'architecture [4].

Le traitement de la durabilité sociale fait donc référence à des enjeux subjectifs, dépendants du ressenti des êtres humains, ce qui peut compliquer sa prise en compte dans des processus qui s'appuient sur des données mesurables et quantifiables comme c'est le cas pour le BIM. Constanza Parra et Frank Moulaert expliquent l'insuffisance de la prise en compte de la durabilité sociale par un « manque de traduction de ses dimensions théoriques en catégories tangibles permettant son opérationnalisation dans la recherche empirique » [6]. Ce phénomène se confirme à travers l'analyse des outils d'évaluation environnementale des bâtiments, qui démontre une faible prise en compte de la durabilité sociale dans ce type d'outils [7].

Nous avons relevé dans nos précédents travaux cinq thématiques liées à la durabilité sociale des projets pour lesquelles le BIM peut avoir une influence positive : la sécurité, la communication et la collaboration, le patrimoine culturel, le confort des usagers et les processus d'apprentissage [8,9]. Cet article se penchera uniquement sur cette dernière thématique, celle de l'éducation, qui influence de manière conséquente les types de compétences disponibles sur le marché du travail. Dans le contexte de transition numérique et environnementale traversée par le secteur de la construction, la formation des jeunes architectes est un enjeu majeur. Ce travail a pour objectif d'explorer de manière non exhaustive différentes possibilités d'exploitation des processus BIM en tant qu'outil pédagogique dans les écoles d'architecture.

## 1.2 Contexte pédagogique dans les écoles d'architecture

Pour comprendre comment le BIM peut y être utilisé en tant qu'outil pédagogique, il faut d'abord connaître la particularité des techniques d'enseignement dans les écoles d'architecture.

Une grande partie de l'enseignement y est organisé autour de la réalisation d'un projet d'architecture. L'objectif est d'apprendre aux étudiants à concevoir des espaces, et donc à maîtriser l'acte de conception. Au sens large, on peut définir la conception comme un « processus dirigé vers un résultat qui n'existe pas encore » [10]. Il s'agit d'œuvrer à faire passer une idée du statut de non-réel à réel. Chiara Silvestri identifie trois thématiques qui sont particulièrement spécifiques à la conception architecturale : la matérialité (le caractère physique de l'objet à concevoir), les besoins et contraintes (la réponse à une requête clairement définie et liée à des impératifs) et les qualités formelles et spatiales. Cela l'amène à définir la conception architecturale comme « un processus créatif qui concerne des qualités spatiales et qui est finalisée à la production d'un objet matériel à grande échelle, capable de répondre au mieux aux besoins qui en sont à l'origine » [11]. Il s'agit d'un processus itératif, au cours duquel plusieurs solutions potentielles sont envisagées, puis progressivement éliminées, jusqu'à ce que l'une d'entre elles se démarque par sa capacité à être le meilleur compromis [12] entre les exigences du client, les réglementations urbanistiques, les performances techniques et l'authenticité du concepteur. On peut voir une forme de conception permanente dans le projet d'architecture, car du fait des modifications fréquentes apportées au cours du projet, souvent engendrées par les imprévus de chantier, le processus créatif est en cours jusqu'à ce que le dernier détail soit placé. Cependant, en architecture la conception correspond également à une phase parmi d'autres : conception, construction, utilisation et maintenance, déconstruction et/ou rénovation. Ces phases ne sont pas figées et peuvent co-exister en même temps. C'est le cas par exemple des phases de conception et de construction, au cours desquelles des allers-retours révisionnels se produisent de l'une à l'autre. Cet aspect itératif constamment remis en question se marie bien à la logique du numérique, et plus particulièrement du BIM qui à l'aide de sauvegardes et modifications permet de générer différentes versions d'un même projet.

Pour s'approcher au mieux de la réalité, l'apprentissage du projet d'architecture est traditionnellement organisé sous forme de pédagogie par projet. Cette méthodologie consiste à organiser le développement d'apprentissages de savoirs et de savoir-faire à travers une production concrète, guidée par un professeur mais dans laquelle les étudiants sont actifs et conservent une certaine liberté [13]. Cette approche pédagogique permet entre autres de développer l'autonomie, la conduite de projet et la prise de décision, des qualités indispensables pour des futurs concepteurs. Dans le cas du projet d'architecture, les données de l'énoncé sont composées d'un terrain (« où ») et d'un programme (« quoi ») [14]. C'est à l'étudiant de proposer un « comment », qui devra tenir compte des contraintes proposées par l'enseignant et variera selon sa sensibilité, son vécu, sa personnalité. Le projet est présenté plusieurs fois aux enseignants dans une démarche de tests et d'essais-erreurs répétés jusqu'à trouver une solution satisfaisant le plus possible aux données de l'énoncé. Face à une telle diversité de propositions potentielles, la communication entre l'enseignant et l'étudiant doit être fiable et claire pour que les deux parties se comprennent au mieux. Le BIM peut alors devenir un outil de communication entre étudiant et professeur, tout en permettant à l'étudiant d'oser faire des propositions libérées de la contrainte de la perfection, puisqu'il pourra au besoin facilement ré-utiliser une ancienne version de son travail, sans devoir retracer le projet entier comme c'était le cas à l'époque du dessin à la main.

## 2 Apprentissage par le BIM

Nous définissons le BIM comme étant la conjonction de trois volets : la maquette numérique, la base de données, et le processus collaboratif. Chacun de ces volets peut servir l'enseignement du projet d'architecture : l'information est facilement accessible, et l'aspect visuel combiné aux possibilités de simulations crée un environnement interactif. Cela permet d'intégrer le style d'apprentissage kinesthésique [15], en plus des styles auditif et visuel plus largement répandus dans les méthodes d'enseignement traditionnelles. L'emploi d'une maquette numérique BIM permet de mettre en place une pédagogie par projet dans d'autres disciplines que celle du projet d'architecture. Nous abordons dans cet article la gestion des espaces, les techniques de construction, la durabilité et la collaboration.

### 2.1 La gestion des espaces

L'intégration des pratiques BIM dans le programme de cours est un appui pour la compréhension des espaces [16]. La maquette numérique générée lors du processus permet aux étudiants de visualiser au plus proche de la réalité des espaces qu'ils devaient auparavant imaginer. Le support numérique, rendu visible, est un objet de communication entre l'enseignant et l'étudiant. Ce phénomène existe déjà autour de la maquette physique, mais ces maquettes en phase d'étude ne sont en général pas poussées à un niveau de détail élevé. Or, le processus de conception est tel que les détails du projet sont peu déterminants au début du projet et se précisent au fur et à mesure de l'avancement de l'exercice (Fig. 1).



**Fig. 1.** Caractéristiques des modes de représentations du projet d'architecture [11].

Les maquettes d'étude n'ont donc pas besoin d'atteindre une précision élevée en phase d'esquisse. Cependant, plus le projet avance et plus les détails prennent de l'importance. Jusqu'à un certain point, où l'outil « maquette » devenu trop chronophage est abandonné au profit d'une maquette numérique qui peut être dupliquée, modifiée et progressivement améliorée, là où la maquette physique demande à être recommencée à chaque fois que le besoin d'un changement d'échelle se fait sentir. La maquette refait souvent son apparition à la fin du projet, en phase d'évaluation, car elle reste un support de représentation puissant pour générer des discussions et une compréhension rapide de la volumétrie par le jury.

A ses prémices, l'emploi du numérique dans l'apprentissage du projet d'architecture était majoritairement consacré à cette communication enseignant-étudiant, faisant de la maquette numérique un outil de représentation en jouant uniquement sur le volet « visualisation » du BIM. Néanmoins le volet « base de données » est exploitable également : Abdlekader Boutemadja imagine en 2014 la possibilité pour les deux parties (enseignant et étudiant) d'interagir directement sur la maquette au moyen de commentaires, mais identifie dans un même temps la réticence des enseignants à utiliser pleinement les concepts de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) [17]. Or si des freins ont déjà été observés à l'époque quant à l'emploi de la CAO, la même dynamique se reproduit aujourd'hui avec le BIM. En effet 8 ans plus tard, les choses n'ont pas radicalement changé : la conception assistée par le

numérique est encore parfois vue comme une spécialisation et peut encore donner lieu à des ateliers qui lui sont spécifiquement dédiés.

## 2.2 Les techniques de construction

Le choix des systèmes structurels à mettre en œuvre dans le projet est une difficulté fréquemment rencontrée par les étudiants. Ce n'est pas une question de connaissance mais plutôt de capacité à proposer le système structurel le plus adéquat à la situation [18]. Plusieurs techniques sont habituellement utilisées pour l'apprentissage de la technologie de la construction : les supports photos, les schémas et coupes, les maquettes à échelle réduite, les visites de chantier, ... Des workshops sont également réalisés afin de mettre en pratique les éléments de théorie vus en cours. Un exemple parmi tant d'autres est le projet « l'Instant » réalisé par des étudiants de la Faculté d'Architecture de Mons, dans lequel des déchets de chantiers ont été récupérés pour réaliser une installation éphémère supervisée par des professeurs de technologie et sciences de matériaux [19]. Les matériaux démontés ont ensuite servi quelques années plus tard pour un autre workshop « Jardins d'Expériences », également organisé par la Faculté d'Architecture de Mons [20].

Ces expériences ont eu l'avantage de permettre aux étudiants de manipuler les matériaux et d'appréhender leur mise en œuvre. Ce type de workshop seraient idéaux si l'organisation de ces événements ne nécessitait pas beaucoup de temps et de ressources. A défaut, la maquette numérique permet également, dans une moindre mesure, de visualiser des méthodes de construction en complément des dessins en deux dimensions et des maquettes de structure (Fig. 2). Elle présente l'atout majeur d'être disponible en-dehors du cadre du cours, au contraire de la maquette physique. Elle peut aussi plus facilement servir de support pour des simulations et tests réalisés de manière autonome par les étudiants.



**Fig. 2.** Illustration des méthodes d'apprentissage des structures - Schéma en deux dimensions (A), photo et/ou maquette physique (B), maquette numérique (C) [16].

Elle devient dans ce cas un outil d'aide à la décision. C'est ce qu'a mis en place l'université du Maryland, en proposant à leurs étudiants une maquette réalisée par des professionnels. Dans la première partie de l'exercice, les étudiants étaient amenés à travailler en collaboration pour modifier le système structurel de la maquette, ce qui impliquait des modifications dans le dimensionnement des éléments. Ensuite, individuellement, chaque étudiant avait pour mission de remplacer l'enveloppe du bâtiment par un prototype testé [21].

Bien sûr, construire un bâtiment numérique ne correspond pas identiquement au processus de construction d'un bâtiment réel. Mais l'acte a le mérite de forcer l'étudiant à poser des choix et à approfondir les relations entre les différents éléments structurels [18].

## 2.3 La durabilité

La thématique du BIM et celle de la construction durable sont régulièrement traitées séparément dans les écoles d'architecture. Cependant plusieurs aspects de la durabilité, principalement écologiques et économiques, peuvent être optimisés en utilisant des processus BIM : la performance énergétique, le cycle de vie, les îlots de chaleur [22] ou plus largement

à travers le concept de Green BIM [23]. Cette approche transdisciplinaire peut être expérimentée dans le cadre de l'apprentissage, ce qui d'une part sensibilise les étudiants à la problématique environnementale plus que d'actualité [24], et d'autre part les forme à répondre à une demande croissante de la part des professionnels concernant l'utilisation du numérique pour faire face à ces enjeux [25].

Le volet de la banque de données couplé à celui de la visualisation apporte l'intérêt de pouvoir générer des simulations exploitant ces données. La durabilité est un sujet vaste et complexe, et il n'est pas aisé de comprendre l'impact d'un choix sur la performance écologique du bâtiment. En particulier lorsque l'on a peu d'expérience et de retour du terrain, ce qui est le cas des étudiants. Ce point a été testé par l'Université du Nebraska, où une pédagogie par projet a été mise en place sur le thème du BIM et des outils d'analyse de performance énergétique. A la fin du cours, le feedback des étudiants indiquait une meilleure compréhension de la consommation énergétique des bâtiments [26]. Dans une idée similaire mais plutôt axée sur l'évaluation de la durabilité, à l'Université de l'Etat de Californie deux enseignants ont choisi de fusionner leurs cours de « Advanced architectural design » et de « Green building design and delivery ». En utilisant un projet réel de laboratoire à destination des chercheurs du campus, leurs étudiants devaient rendre le projet conforme au California Green Building Standards Code, ainsi qu'à la certification LEED. Bien qu'ils aient rencontrés plusieurs obstacles, les étudiants ont largement augmenté leurs connaissances du système de certification LEED et ont appris à collaborer avec une autre classe [27].

Un autre élément de durabilité qui peut être optimisé avec les processus BIM est le cycle de vie du projet et de ses composants. C'est ce qui a été expérimenté lors du projet européen BIM Game en 2019. Lors de cette expérience, le BIM a été utilisé pour sensibiliser les étudiants aux thématiques de la durabilité, plus particulièrement à la circularité des matériaux. Les étudiants étaient amenés à utiliser des stocks de matériaux récupérés et disponibles dans les entrepôts de ROTOR. Au préalable les étudiants ont réalisé une étape de modélisation de ces matériaux et les ont intégrés dans une banque de données partagée afin d'explorer leur possibilité de démontage, réemploi ou détournement d'usage. Via le jeu de rôle autour des thématiques du BIM et de la circularité mis en place, les étudiants participants ont également rapidement développé un processus collaboratif malgré la barrière de la langue [28].

## **2.4 La collaboration**

Travailler efficacement à plusieurs autour d'un même projet est une tâche qui nécessite de la rigueur, une bonne organisation, et une forme d'empathie envers les collaborateurs. Ce dernier point peut sembler difficile à aborder lorsque la collaboration se fait par écrans interposés. Car, dès lors qu'on entame un processus de conception assisté par le numérique, un monde virtuel se dessine entre les acteurs de la conception. S'il est souvent énoncé dans la littérature que les processus BIM permettent une collaboration améliorée, lorsqu'on interroge des acteurs du terrain sur ce concept leur réponse met presque systématiquement en évidence une forme de complexité dans la réalisation concrète de cet objectif. Il est en tout cas unanimement reconnu que la collaboration entre les acteurs se trouve transformée par le numérique.

Dans ce contexte, on peut souhaiter approcher les modèles de collaboration et organisationnels qui se trouvent derrière les processus BIM dès les études. La plupart des expériences présentées dans cet article intégraient en toile de fond cet aspect collaboratif, qui se met en place naturellement dès lors qu'on utilise la pédagogie par projet. Plus spécifiquement, Mohamed-Anis Gallas et Gilles Halin ont testé cette approche en 2016 dans une expérience pédagogique menée à l'ENSA de Nancy, dont l'objectif était de sensibiliser les étudiants à la « conception coopérative ». Leur démarche démontre une prise de recul de

la part des étudiants face aux outils et leurs usages [29]. Un résultat confirmé par une étude menée par Smail Khainnar à l'Université Polytechnique des Hauts-de-France en 2018, dans le cadre d'un cours sur la communication des acteurs du projet. A la suite de ce cours, les étudiants ont relevé la place du dialogue et l'accès à l'information dans un projet employant le BIM, l'aspect transversal et collaboratif des pratiques BIM, et ont développé un meilleur aperçu de la quantité d'acteurs qui sont amenés à communiquer autour du projet [30]. Dans ces deux études, l'apprentissage de la coopération et de la communication a été stimulé par l'utilisation du processus BIM.

### 3 Conclusions et perspectives

Plusieurs expériences menées par des chercheurs auprès de leurs étudiants ont pu démontrer l'intérêt du numérique de manière générale, et du BIM plus particulièrement, en tant qu'outil pédagogique dans la formation des architectes. Le sujet est régulièrement abordé par la communauté scientifique, ce qui est probablement lié à la facilité d'accès du public étudiant pour les chercheurs et enseignants-chercheurs. Les thématiques que nous avons relevées dans ce papier sont la gestion des espaces, les techniques de construction, la collaboration et la durabilité. Cette liste se veut non-exhaustive quant à ses thématiques, mais également non-exclusive quant à ses méthodes. En effet, le BIM est un outil d'enseignement parmi d'autres et ne doit pas avoir pour vocation de remplacer les outils déjà existants. Certains obstacles dans l'emploi du BIM au sein des écoles d'architecture sont encore d'actualité, et similaires aux freins rencontrés dans le milieu professionnel quant à l'adoption du BIM en France et en Belgique [31,32]. Cela semble naturel quand on sait que de nombreux professeurs dans les facultés d'architecture sont également architectes de profession en parallèle de leurs activités d'enseignement. De plus, la volonté d'introduire des pratiques BIM dans les enseignements peut nécessiter une révision globale du modèle pédagogique [21].

Cet article s'inscrit dans un travail de thèse qui a pour but de traiter de manière globale la durabilité sociale dans les pratiques BIM. Pour ce faire, nous souhaitons questionner les acteurs du projet sur leurs habitudes de terrain afin de faire un état des lieux des croisements entre BIM et durabilité sociale, mais également afin de déceler de nouveaux usages que nous n'aurions pas encore repérés. Pour cela, nous questionnons des acteurs de la conception dans le secteur de la construction. La création de notre guide d'entretien s'inspire de la méthode EBHIE (Ecoute des Besoins et Attentes et leur Hiérarchisation) développée au département DeVisu du laboratoire LARSH, en organisant nos questions autour des pratiques passées, présentes, futures et imaginaires [33]. Dans cette phase d'entretiens qualitatifs, nous interrogeons un petit panel de profils spécifiques à propos des différentes interactions entre le BIM et la durabilité sociale que nous avons identifiées : sécurité, apprentissage, patrimoine culturel, collaboration/communication et confort des usagers. Nos premiers entretiens ont permis d'identifier des usages supplémentaires à ceux que nous avons relevés dans la littérature, tels que la santé et la gestion du patrimoine végétal.

### Références

- 1 G.H. Brundtland, *Our common future*, Oslo (1987)
- 2 A. Perysinaki, *Évolution des publications autour de l'architecture durable*, Crau. (2012) 66–75. doi.org/10.4000/crau.544
- 3 R. Maskil-Leitan, I. Reyhav, *A sustainable sociocultural combination of building information modeling with integrated project delivery in a social network perspective*, *Clean Techn Environ Policy*. **20**, 1017–1032 (2018) doi.org/10.1007/s10098-018-1526-2.

- 4 M. Stender, A. Walter, The role of social sustainability in building assessment, *BRI*. **47** (2019) 598–610. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1468057>.
- 5 J. Ballet, J.-L. Dubois, F.-R. Mahieu, La soutenabilité sociale du développement durable : de l'omission à l'émergence, *Mondes Dev.* **156**, 89–110 (2012) <https://doi.org/10.3917/med.156.0089>.
- 6 C. Parra, F. Moulaert, La nature de la durabilité sociale : vers une lecture socioculturelle du développement territorial durable, *DD et Territoires*. **2** (2011) [doi.org/10.4000/developpementdurable.8970](https://doi.org/10.4000/developpementdurable.8970).
- 7 J. Olakitan Atanda, Developing a social sustainability assessment framework, *SCS*. **44**, 237–252 (2019) [doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.023](https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.023).
- 8 T. El-Diraby, T. Krijnen, M. Papagelis, BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings, *Autom.* **82**, 59–74 (2017) [doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.004).
- 9 R. Santos, A.A. Costa, J.D. Silvestre, L. Pyl, Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction, *Autom.* **103**, 221–234 (2019) [doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022).
- 10 M. Borillo, J.-P. Goulette, eds., *Cognition et création : explorations cognitives des processus de conception*, Mardaga, Belgique (2002)
- 11 C. Silvestri, *Perception et conception en architecture non-standard. Architecture, aménagement de l'espace.*, Université Montpellier II (2009)
- 12 D. Claeys, *Concevoir un projet d'architecture. Calmer les certitudes, gérer l'incertitude*, Lieuxdits. 20–23 (2019) [doi.org/10.14428/ld.vi9.22933](https://doi.org/10.14428/ld.vi9.22933).
- [13] P. Perrenoud, *Apprendre à l'école à travers des projets : pourquoi ? comment ?* Educateur (2002) 6–11.
- 14 D. Claeys, M.-C. Raucant, Combiner la formation au projet d'architecture et l'apprentissage par projets : Bilan de quelques dispositifs pédagogiques utilisés pour la formation des architectes, in: *Pédagogie Universitaire: Entre Recherche et Enseignement*, Mons, 2014.
- 15 P. Meadati, J. Irizarry, BIM - A knowledge repository, in: *Conference of the Associated Schools of Construction*, Boston, 2010.
- 16 C. Clevenger, S. Glick, C.L. del Puerto, Interoperable Learning Leveraging Building Information Modeling (BIM) in Construction Education, *Int. J. Constr. Educ. Res.* **8**, 101–118 (2012) [doi.org/10.1080/15578771.2011.647249](https://doi.org/10.1080/15578771.2011.647249).
- [17] A. Boutemadja, C. Driesman, S. Jancart, Le B.I.M et la maquette virtuelle comme moyen pédagogique permettant le rapprochement entre les cours d'informatique et l'enseignement du projet d'architecture, in: *SCAN14 : Interaction(s) Des Maquettes Numériques*, Luxembourg (2014)
- 18 A. Mokhtar, BIM as Learning Media for Building Construction, in: *Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, Nanjing (2007)
- 19 D. Fourmanois, *L'oeuvre d'une bande d'étudiants en architecture : un pavillon design fait de bois récupérés sur des chantiers à Mons*, RTL (2015) <https://www.rtl.be/info/regions/hainaut/des-etudiants-en-architecture-concretisent-une-idee-geniale-construire-un-pavillon-design-avec-du-bois-recupere-sur-des-chantiers-a-mons-734245.aspx>

- 20 S. Blanckaert, Enseigner la coopération : retour d'expérience sur le chantier pédagogique " Jardin d'expériences ", in: Questions de Pédagogies Dans l'Enseignement Supérieur, Brest (2019)
- 21 C.L. Marcos, BIM Implications in the Design Process and Project-Based Learning: Comprehensive Integration of BIM in Architecture, in: BIM in Design, Construction and Operations, Alicante, pp. 113–125 (2017) [doi.org/10.2495/BIM170111](https://doi.org/10.2495/BIM170111)
- 22 E. André, H. Boulekbache, M.-A. Gallas, Le BIM peut-il être un agent facilitant les démarches de développement durable dans la construction ?, SHS Web Conf. **82** (2020) 02005. [doi.org/10.1051/shsconf/20208202005](https://doi.org/10.1051/shsconf/20208202005)
- 23 J.K.W. Wong, J. Zhou, Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review, Autom. **57** 156–165 (2015) [doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003)
- 24 IPCC, Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change (2022)
- 25 J. Zhang, K. Schmidt, H. Li, BIM and Sustainability Education: Incorporating Instructional Needs into Curriculum Planning in CEM Programs Accredited by ACCE, Sustainability. **8**, 525 (2016) [doi.org/10.3390/su8060525](https://doi.org/10.3390/su8060525)
- 26 Z. Shen, W. Jensen, T. Wentz, B. Fischer, Teaching Sustainable Design Using BIM and Project-Based Energy Simulations, Educ. Sci. **2** 136–149 (2012) [doi.org/10.3390/educsci2030136](https://doi.org/10.3390/educsci2030136)
- 27 Y. Luo, W. Wu, Sustainable Design with BIM Facilitation in Project-based Learning, Procedia Eng. **118**, 819–826 (2015) [doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.519](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.519)
- 28 C. Dautremont, S. Jancart, Expérimentation d'intégration des concepts de circularité en architecture grâce au BIM : modèle d'apprentissage par le jeu de rôle., in: Actes de Colloque - EduBIM, Anglet (2020)
- 29 M.-A. Gallas, G. Halin, Une approche pédagogique par les modèles pour la sensibilisation au concept de BIM (Maquette Numérique), in: SCAN16 : Mètre et Paramètre, Mesure et Démesure Du Projet (2016)
- 30 S. Khainnar, Le BIM entre changement épisodique et changement continu-situé : regard de l'étudiant en formation universitaire, Rfsic (2018) [doi.org/10.4000/rfsic.3412](https://doi.org/10.4000/rfsic.3412)
- 31 E. Hochscheid, G. Halin, Les agences d'architecture françaises à l'ère du BIM : contradictions, pratiques, réactions et perspectives, Craup (2020) [doi.org/10.4000/craup.6201](https://doi.org/10.4000/craup.6201)
- 32 A. Stals, Panorama des pratiques numériques dans les bureaux d'architecture belges de petite et moyenne taille, DNArchi (2020)
- 33 S. Leleu-Merviel, Objectiver l'humain ?, Hermès Science Publ., Paris (2008)