

Le BIM peut-il être un agent facilitant les démarches de développement durable dans la construction ?

Can BIM be an agent facilitating sustainable development approaches in construction?

Elodie André^{1,2,*}, Hafida Boulekbache¹ et Mohamed-Anis Gallas²

¹UPHF, Laboratoire DeVisU, Campus Mont Houy, 59313 Valenciennes, France

²UMONS, Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, 88 Rue d'Havré, 7000 Mons, Belgique

Résumé. Le BIM et le développement durable ont connu une évolution parallèle dans des sphères d'acteurs différentes depuis les années 70. Nous étudions les possibilités de croisement entre ces deux thématiques dans une volonté d'envisager le BIM comme agent facilitant des démarches de développement durable auprès des acteurs de la construction.

Mots-clés. BIM, développement durable, acteurs, green BIM, Belgique, France.

Abstract. BIM and sustainable development have evolved in different actors spheres since the 1970s. We are studying the possibilities of crossover between these two themes, using BIM as an agent facilitating sustainable development approaches among construction stakeholders.

Keywords. BIM, sustainable development, actors, green BIM, Belgium, France.

1. Introduction

Le BIM (Building Information Modeling) correspond à un processus de conception et une méthode de travail permettant d'associer une maquette numérique à une banque de données exploitable. Il favorise le travail collaboratif des acteurs, avec plus ou moins d'efficacité en fonction du niveau d'intégration du BIM dans le procédé. Les pratiques numériques en architecture se créent à partir des années 70, tout comme le questionnement soulevé par les changements climatiques dus à l'impact de l'activité humaine sur son milieu. Les inquiétudes des dernières décennies concernant ces changements ont engendré de nouvelles contraintes pour les concepteurs, dont les projets doivent désormais répondre à des normes environnementales. On observe également une volonté d'implémentation du

* Corresponding author: elodie.andre@umons.ac.be

BIM dans les projets de construction, à la fois en Belgique, où le Cluster BIM en collaboration avec le CSTC publie le « Protocole BIM belge » en 2018 (Euben & Boeykens, 2018), et également en France, où un Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment est mis en place depuis 2015. Son but est de faciliter l'intégration des pratiques numériques dans le bâtiment (PTNB, 2017). Cette évolution, en parallèle des concepts de développement durable et de BIM dans le milieu de la construction en France et en Belgique, pose la question suivante : peut-on utiliser l'un pour améliorer l'autre ? En d'autres termes, l'essor des pratiques numériques et du BIM peut-il servir l'intégration des notions de développement durable dans les pratiques constructives ? Les capacités de gestion, d'optimisation et d'amélioration des collaborations que propose le BIM permettent d'envisager une porte ouverte sur une meilleure intégration de ces démarches auprès des concepteurs.

Par cet article, nous tentons d'ouvrir la réflexion sur la corrélation entre ces deux thématiques, BIM et développement durable, en commençant par comparer leurs contextes d'apparition dans le milieu de la construction. Après avoir introduit les grandes conférences ayant construit et nourrit le développement durable et commencé l'état des lieux des réglementations énergétiques en France et en Belgique, nous contextualisons le point de départ des pratiques numériques et BIM en architecture. Enfin, nous évoquons les possibilités que présente le BIM face aux enjeux du développement durable dans la construction.

2. Le développement durable

2.1 A travers les "grandes conférences"

La première forme de conscience de l'impact de l'Homme sur l'environnement remonte au 19^{ème} siècle (Diemer, 2015). L'évolution du développement durable se définit par de grandes conférences internationales, organisées dans le but de promouvoir un développement qui soit durable. Son histoire a été marquée par ces grands rassemblements entre pays (tableau 1), au cours desquels on constate une fluctuation d'enthousiasme auprès des acteurs. Ils ont abouti en 2015 à la création des 17 objectifs de développement durable. Les problématiques sont organisées autour des trois piliers du développement durable tels que décrits par Brundtland en 1987 (économique, social, écologique), et le secteur du bâtiment a lui aussi une place parmi ces préoccupations.

2.2 La norme au service du développement durable

Ces différentes rencontres ont donné lieu à une prise de conscience progressive de l'ensemble de la problématique, chaque sommet abordant de nouvelles notions ou de nouveaux angles de travail. En Belgique, le secteur du bâtiment s'est lui aussi confronté à cet enjeu. On y a vu la mise en place des réglementations énergétiques thermiques à partir de 1985 en région Wallonne (1992 pour la région flamande, 2000 pour la région Bruxelles-Capitale) et une réglementation de Performance Énergétique des Bâtiments (PEB) à partir de 2006 (Spies, 2013). En France, c'est dès 1974 que les Réglementations Thermiques (RT) sont mises en place (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2019). Plusieurs versions ont vu le jour au cours des dernières années, jusqu'à la RT2012, aujourd'hui utilisée pour évaluer les bâtiments neufs (ADEME, 2018).

Toujours dans un but de diminution des pertes énergétiques dans le bâtiment, on évoque en France les bâtiments à énergie positive (BEPOS) et les bâtiments basse consommation (BBC). En Belgique on parle de maisons passives et des bâtiments quasi zéro énergie (Q-

ZEN ou nZEB). Si la totalité de ces réglementations n'est pas encore à caractère obligatoire, elle est cependant en bonne voie de l'être dans les années à venir et démontre une volonté de la part du législateur d'améliorer la consommation d'énergie dans le milieu de la construction. Cela peut se comprendre quand on constate la part de responsabilité importante que peut avoir le bâtiment dans les problèmes liés au développement durable, puisque le secteur est responsable d'à peu près 37% de la consommation énergétique et 40% des émissions de CO₂ produits par les pays développés, mais également 40% des déchets générés (Deshayes, 2012). Reste à savoir quels sont les impacts de cette implémentation des normes énergétiques sur les acteurs de la construction, et de quelle manière ils accueillent ces normes.

Tableau 1. Chronologie des grandes conférences et rapports ayant impacté le développement durable à l'échelle mondiale

1972: Sommet de Stockholm	1983: CMDE	1992: Conférence de Rio	2002: Sommet de Johannesburg	2015 : Sommet des Nations Unies
Rapport Meadows « Limits to growth »	Rapport Brundtland « Our common future »	Agenda 21	/	Les 17 Objectifs de Développement Durable
- Prise de conscience du caractère limité des ressources sur Terre, et donc de la capacité de croissance économique - Tensions Nord-Sud bloquent la prise de décision (responsabilité environnementale/volonté de croissance) (Longet, 2016)	- Première évocation de la notion de « sustainable development », défini comme « <i>un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs.</i> » (Brundtland, 1987)	- Création de l'Agenda 21 contenant des objectifs concrets - Optimisme face à l'avenir du développement durable (Longet, 2016)	- Priorités à la lutte anti-terrorisme suite aux attentats de 2001. - Pas de résultats observés sur les objectifs de l'Agenda 21 - Pas de nouveaux engagements, début des partenariats avec des entreprises privées (Diemer, 2015)	- 17 ODD pour unir les pays dans le combat contre les inégalités, la pauvreté et le changement climatique - L'un des objectifs concerne les villes et communautés durables (Kahn-Jochimek, 2018)

Etant donné que la notion de développement durable appelle elle-même à la croissance économique, qui en représente l'un des trois piliers (Brundtland, 1987), la compétitivité du secteur ne devrait pas être affaiblie par les réglementations environnementales. Selon Philippe Deshayes¹ en 2012, c'est l'innovation qui est utilisée comme un facteur de croissance pour améliorer les performances du bâtiment, des matériaux, des chantiers et de ses acteurs. Elle permet aussi de répondre aux normes environnementales. L'offre compétitive d'innovation produits devient le moyen d'action du secteur face aux enjeux du

¹ Laboratoire de Modélisation et Management des Organisations de Lille

développement durable. Le besoin de gestion des ressources naturelles et d'amélioration des performances, y compris énergétiques, nourrit une politique d'innovation dans le milieu. Elle est axée en partie sur les choix de conception soutenus par des outils d'optimisation. Un autre levier mentionné par Deshayes est celui de l'évolution des pratiques par le renforcement de la coopération entre acteurs. Il avance qu'aller au-delà du seul pilier économique, c'est-à-dire prendre aussi en compte les aspects environnementaux et sociaux, doit se faire en liant dès le début du projet toutes les parties prenantes, qu'elles soient non-initiées comme le client, ou spécialistes comme les experts environnementaux (Deshayes, 2012). Dans ce cas, le BIM, en tant qu'innovation des processus de communication et de conception, pourrait être un levier d'action favorisant les démarches de développement durable dans la construction.

3. Contextualisation du BIM et des pratiques numériques

L'évolution du BIM présente des points communs avec celui du développement durable : il a émergé dans un contexte historique similaire (la deuxième moitié du XX^{ème} siècle), mais au sein de sphères d'acteurs très différentes.

En 1962, Engelbart décrit une vision de la conception architecturale qui s'apparente beaucoup aux propositions des logiciels BIM. Il rêve d'une conception assistée par l'outil numérique à une époque où l'ordinateur n'est accessible qu'aux grandes entreprises (Engelbart, 1962). Parmi les avant-gardistes, on peut également citer Christopher Alexander, auteur de « Notes on the Synthesis of Form » (Alexander, 1971), qui entrainera la recherche vers une réflexion orientée objet, bien qu'à l'époque une interface graphique opérationnelle lui fait défaut pour pouvoir mener à bien sa quête. Ces deux chercheurs, ainsi que d'autres tel que l'architecte Nicholas Negroponte en 2000 avec son ouvrage « Being Digital », ont initié les prémices de la conception numérique en architecture. Ils formulent le rêve d'une machine intelligente partenaire de l'architecte, et ce dès les années 60-70. Cependant, les premières utilisations des ordinateurs par les bureaux d'architecture dans les années 2000 ont avant tout pour but d'assister le concepteur dans le dessin de plans et non dans sa tâche de conception des espaces (Picon, 2014).

Les premières interactions entre le numérique et l'architecture se font au début du XX^{ème} siècle. La révolution industrielle et les procédés de fabrication optimisés ont généré la nécessité de traiter de plus en plus de données, au beau milieu d'une société de l'information naissante (Eames, 1990). Les premières machines ayant la capacité de traiter ces données sont issues de ce besoin, et permettent une gestion des clients et des stocks auprès des grosses entreprises et administrations (Picon, 2014).

A partir des années 50, la création, le développement et ensuite la démocratisation de l'ordinateur accroissent l'intérêt des architectes envers le potentiel du numérique. Des logiciels de modélisation de volumes voient le jour, comme « Sketchpad program » en 1963. Un peu plus tard, en 1975, Charles Eastman regrette dans « The use of computers instead of drawings in building design » que les maquettes physiques, jusqu'alors seules alternatives au dessin, soient utilisées principalement pour faire la promotion du projet, et non comme faisant partie du processus de conception. Il y évoque le potentiel d'automatisation que pourrait engendrer une maquette numérique, où l'information serait générée sur demande (Eastman, 1975). Il aborde également la notion de banque de données, afin de calculer facilement les coûts et quantités des matériaux. Pour répondre à ce besoin d'une gestion optimisée des données du projet en lien avec la maquette, il crée le Building Description System (BDS), qui conceptuellement s'approche très fortement de ce qu'est le BIM aujourd'hui et qu'il décrit comme une synthèse des efforts déjà réalisés dans le milieu industriel (Eastman, 1975). Cependant peu d'architectes ont eu l'occasion de travailler avec

le programme de Charles Eastman, il est donc peu probable, bien que non vérifié, qu'un projet ait vu le jour sous ce logiciel (Quirk, 2012).

A la même époque le logiciel de CAO, Catia de Dassault Systèmes, fait ses débuts dans le milieu industriel. Il permet une extraction automatisée des données, particulièrement efficace et utile dans le domaine industriel (Sattler, 2018). Frank Gehry travaille ensuite sur une version plus adaptée à l'AEC, Digital Project. Ces logiciels sont coûteux et donc accessibles uniquement aux plus grandes agences. Mais les pratiques se démocratisent, comme on peut le constater avec Rhino, à partir de 2005, puis Grasshopper deux ans plus tard, tous deux populaires auprès des étudiants (Sattler, 2018).

Pourtant, aujourd'hui en France, le BIM peine à s'implanter. Parce que le nombre de petites agences y est élevé, et qu'il est plus compliqué pour celles-ci de mettre en place des innovations, mais aussi parce qu'une partie des architectes juge le processus inadapté à la conception architecturale et craint de perdre la maîtrise du projet à cause d'un outil trop complexe à utiliser (Hochscheid & Halin, 2018).

L'apparition du BIM répond à un besoin, celui de la gestion de données. Avec l'évolution du concept de durabilité et des normes environnementales, ce sont de nouveaux besoins qui émergent dans le secteur du bâtiment.

4. Pistes de réflexion

4.1 Le bâtiment durable assisté par l'outil numérique

Dans la construction, l'une des principales approches du développement durable d'un point de vue réglementaire en Belgique et en France passe par la minimisation des dépenses énergétiques en phase d'utilisation du bâtiment². C'est ce vers quoi tendent les normes PEB, RT, BEPOS et Q-ZEN. Le BIM, par sa capacité à proposer et comparer des scénarios, permet d'optimiser les choix du concepteur pour agir sur ces pertes énergétiques. Mais la gestion des dépenses énergétiques ne résout pas à elle seule la problématique complexe du développement durable. Le potentiel de coopération inhérent aux méthodes BIM offre la possibilité de confronter les acteurs entre eux dès le début du processus de conception, il n'y a donc plus un, mais des concepteurs. La dimension temporelle du BIM aide à considérer tout le cycle de vie du bâtiment, jusqu'à son démantèlement. On aimerait que ces éléments se combinent pour créer un objet conçu consciemment, avec un impact environnemental réduit au maximum pour chacune des phases qu'il traverse, de sa conception à sa déconstruction/rénovation.

On sait déjà que d'autres aspects du développement durable peuvent être abordés dans la construction, notamment sur la thématique du cycle de vie et de la provenance des matériaux de construction. Le projet « Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux » (BBSM) travaille sur la vision d'une mine urbaine dans laquelle les bâtiments existants sont considérés comme une source de matériaux pour des constructions futures. Cela permettrait de gérer le flux de déchets dans la région Bruxelles-Capitale. C'est grâce à l'étude des typologies présentes dans la région que le stock de matériaux est estimé (CSTC, 2016). Attachée à ce projet, Emilie Gobbo³ constate dans une étude préliminaire que les architectes et entrepreneurs sont peu sensibilisés à la question de gestion des déchets produits par la construction (Gobbo & Trachte, 2016). Il est tentant d'imaginer utiliser le BIM pour calculer les quantités de matériaux disponibles, et prévoir les transferts de matériaux depuis les chantiers de déconstruction vers les chantiers de rénovation ou de

² cf. Partie 2.2 La norme au service du développement durable

³ Chargée de recherche pour l'UCLouvain

construction neuve, en passant par une mise en relation et une collaboration des acteurs concernés.

On sait également qu'il est possible de prendre en compte le développement de la biodiversité dans un projet d'architecture, phénomène constaté par exemple sur le projet de l'Ecole élémentaire des Sciences et biodiversité de Boulogne-Billancourt par le bureau d'architecture Chartier Dalix, en collaboration avec, entre autres, le bureau d'étude Biodiversita et les écologues d'AEU (Scoffier, 2014). Deux ans après sa livraison, l'écologue Audrey Muratet a mesuré 70 nouvelles espèces (faune et flore confondues) sur le terrain en plus des 44 déjà présentes au moment de la construction du projet (Muratet, 2016). On peut aussi citer le projet BioBIM de Terroïko en collaboration avec setec, dont l'objectif est précisément de sensibiliser les acteurs des infrastructures sur la transition numérique dans la gestion environnementale des infrastructures de transport (De Roince & Moulherat, 2019). Sylvain Moulherat et Catherine de Roince, à la tête de Terroïko, sont à l'origine du logiciel SimOïko. Ce programme génère une simulation des déplacements des populations animales sur un territoire. Le résultat, basé sur une simulation 3D créée à partir d'une banque de données connectée, s'apparente beaucoup aux logiciels BIM de la construction.

Sous un autre angle, il est possible d'étudier les îlots de chaleur en zone urbaine, qui affectent la consommation énergétique des bâtiments. L'outil Solene Micro-climat utilise le numérique pour modéliser les zones urbaines et les bâtiments en intégrant les données qui influent la création d'îlots de chaleur. Cela permet d'en réduire l'effet, en orientant le choix de matériaux, de formes et de stratégie d'urbanisation (Clicquot de Mentque, 2019).

Tous ces exemples montrent que le numérique peut aider à appréhender le développement durable dans la construction et l'aménagement urbain sous différents axes. Sur base de ces capacités, et en prolongeant le potentiel de renforcement des collaborations que présente le BIM, on aimerait utiliser les méthodes BIM pour, au-delà des experts en énergie, ouvrir le processus de conception aux experts en recyclage, biodiversité, énergie grise, ...

4.2 Green BIM

En 2015, Wong & al. définissent le concept de green BIM comme ceci : « *a modelbased process of generating and managing coordinated and consistent building data during its project lifecycle that enhance building energy efficiency performance, and facilitate the accomplishment of established sustainability goals* » (Wong & Zhou, 2015). On trouve dans cette définition les notions d'exploitation des données, de cycle de vie du projet, de performance énergétique et de facilitation à atteindre les objectifs de durabilité.

Il était déjà évoqué en 2004 une relation entre l'essor du BIM et l'émergence des problèmes environnementaux. En effet, l'idée qu'une prise en compte de critères de durabilité devait être appliquée dès le début de la phase de conception était rendue possible par le concept de bâtiment virtuel (Kam & Fischer, 2004). Il est plus aisé de juger des performances en terme de durabilité d'un bâtiment lorsqu'un modèle schématique a été généré dès le début de la conception, avant l'élaboration d'un modèle détaillé (Becerik-Gerber & Rice, 2010) (Kubba, 2014). Mais les méthodes traditionnelles révèlent une fragmentation de l'information qui limite les possibilités d'analyse continue du niveau d'efficacité du bâtiment d'un point de vue environnemental (Eastman, 2011). C'est pourquoi plusieurs études ont expérimenté le lien entre l'utilisation du BIM et des systèmes d'évaluation de performance environnementale, en particulier du système LEED (Leadership in Energy et Environmental Design).

Le LEED est un système évaluant le caractère durable des bâtiments. Il a l'avantage d'être basé sur le calcul de plusieurs critères environnementaux et fonctionne selon un

système d'attribution de crédits, dont la somme permet d'atteindre différents degrés de certification. Ce système est principalement utilisé aux Etats-Unis mais connaît également une version canadienne (Kibert, 2016). Selon Bank et al. (2010), il présente certaines problématiques, entre autres la présence de critères contradictoires. Ou encore la possibilité d'opter pour une stratégie d'obtention de la certification LEED qui favorise les critères économiques, au détriment de critères plus pertinents au regard de l'impact écologique, mais plus coûteux. Ces déviations nuisent au développement des bâtiments durables et à l'optimisation des performances.

Un outil d'aide à la décision sur la délivrance des crédits de certification LEED est présenté à l'ICSU en 2010 par Bank et al. Cet outil se couple avec Revit pour créer des combinaisons optimales d'obtention de crédits LEED dans un logiciel de simulation annexe, en téléchargeant les informations contenues dans la banque de données Revit. On y trouve la possibilité de prioriser certains critères pour s'adapter à la situation et aux contraintes du projet. Les concepteurs avancent que l'outil présente suffisamment de souplesse pour s'adapter à d'autres systèmes de certification. Il faut ensuite retransférer les données des scénarios dans le logiciel (Bank & al., 2010). La nécessité de passer par un logiciel supplémentaire et de réaliser plusieurs transferts de données rend cependant cet outil moins fluide que ce que l'on espère aujourd'hui.

Quelques années plus tard, Jalaei et Jrade estiment que l'un des obstacles majeurs dans la transition environnementale du bâtiment est le processus de documentation. Dans ce contexte, ils travaillent sur un plug-in intégré au logiciel BIM Revit qui optimise les décisions du concepteur en l'avertissant instantanément de l'efficacité de ses choix selon le système de crédits LEED. Cela lui permet de savoir pendant le processus de conception si le projet atteindra les critères environnementaux décrits par le système LEED en prenant en compte une globalité de facteurs, et non pas une somme de facteurs particuliers (Jalaei & Jrade, 2015). Leur étude se concentre uniquement sur la prise en compte des facteurs LEED, ce qui limite l'utilisation dans d'autres contextes. La réaction entre la prise de décision et le calcul de l'impact sur le critère choisi est immédiate, mais cela ferme les portes aux autres systèmes de certification.

Dans une toute autre démarche, Kensek & al. ont étudié la question des collisions d'oiseaux dans les bâtiments. Ils ont vu dans le BIM une opportunité d'évaluer l'ampleur du risque de collision en fonction des matériaux de façade. Pour cela ils ont travaillé sur l'élaboration d'un critère « Avoiding bird collisions », toujours dans le contexte de la certification LEED, et ont utilisé Dynamo combiné à Revit pour automatiser l'évaluation des choix de conception. Les paramètres générés sont la menace de collision que peut représenter un matériau sur les oiseaux, l'agencement des matériaux dans la volumétrie du bâtiment et le traitement des données de l'utilisateur sur le fonctionnement du bâtiment (Kensek & al., 2016). Leur travail est cette fois-ci non pas global comme les deux exemples précédents mais porte sur un critère très spécifique, et original puisqu'il ne figure pas dans les critères pris en compte par la certification LEED au moment de l'étude.

Ces différentes approches démontrent que le BIM peut guider les choix de conception dans l'obtention d'une certification. Cette manière d'utiliser le BIM au service de l'évaluation des bâtiments durables est également soutenue en 2017 par une équipe de chercheurs de la National University à Singapour et de la Tongji University à Shanghai. Ils ont réalisé une analyse poussée des applications BIM dans les bâtiments durables. Leur travail a abouti sur une taxonomie qui conceptualise les interactions entre le BIM et les bâtiments durables, appelée le Green BIM Triangle. Trois axes ressortent : l'utilisation du BIM dans la gestion du cycle de vie des bâtiments durables (figure 1), l'analyse et la simulation par le BIM de facteurs ayant un impact environnemental et le BIM en tant qu'assistant des processus d'évaluation des bâtiments dans leur caractère durable, que nous avons abordé ci-dessus (Lu & al., 2017).

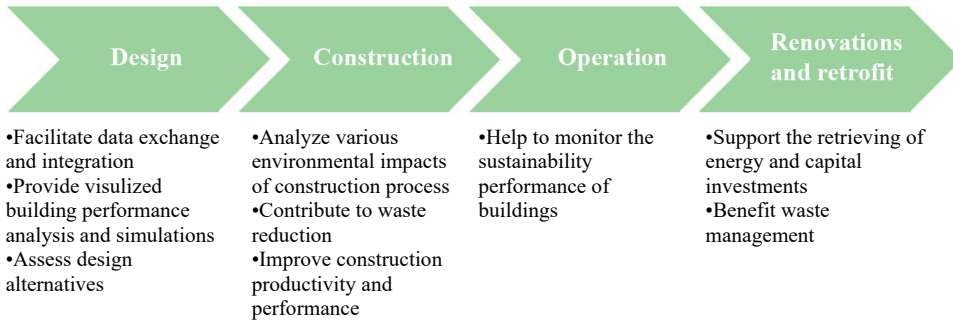


Figure 1. Cycle de vie des bâtiments durables soutenus par le BIM (Lu et al., 2017)

Utiliser le BIM pour réaliser des simulations et de l'analyse de données semble tout indiqué, puisqu'il s'agit de l'essence même des méthodes BIM. Dès lors, il faut pouvoir déterminer les critères sur lesquels travailler. Il y a donc un travail à réaliser de ce point de vue et il est légitime de se demander si les normes en place actuellement sont suffisantes pour concevoir des bâtiments durables (et non pas uniquement performants sur un nombre réduit de critères, comme les BEPOS et maisons passives). Nous ne pourrions pas nous contenter de ces critères, principalement énergétiques comme discuté précédemment, pour juger de la pertinence d'une intégration BIM dans ce domaine.

Le Whole Building Design Guide (WBDG) relève 6 points à prendre en compte pour une conception durable du bâtiment : optimiser le potentiel du site, optimiser l'utilisation de l'énergie, avoir une gestion durable de l'eau, optimiser l'utilisation de l'espace et la consommation de matériaux, améliorer la qualité de l'environnement intérieur et optimiser l'exploitation et la maintenance du bâtiment (WBDG, 2018).

Le BIM peut être une aide dans les choix d'orientation et de volumétrie, mais aussi dans la gestion de l'eau, de l'énergie, du choix des matériaux durables et de la gestion du bâtiment en phase d'exploitation (Krygiel & al., 2008), ce qui correspond à 5 des 6 critères cités par le WBDG. Le dernier critère « amélioration de la qualité de l'environnement intérieur » du WBDG se définit par des choix de conception (ventilation, performances acoustiques), des choix de matériaux (peu émetteurs de composés organiques volatiles) et une capacité de gestion et de maintenance (contrôle de l'humidité, de la température, de la luminosité). Cela s'intègre donc parmi les 5 autres critères.

Il existe un grand nombre de logiciels compatibles BIM calculant ces critères de manière individuelle, et même d'autres non abordés ici comme le calcul d'émission carbone par exemple (Liu & al., 2015). Cependant, ces logiciels spécifiques et performants dans leur spécialité ne sont pas centralisés en un seul programme (Lu & al., 2017), ce qui demande une répétition des vérifications par critère (générer une modification pour améliorer un critère peut en défavoriser un autre) et disperse le travail du concepteur. L'étude de Lu et al. relève le fait que, dans l'élaboration d'un programme qui réunirait plusieurs critères, il serait primordial de travailler avec une base de données d'une grande précision. De cette manière on minimiserait le risque d'un écart important entre les calculs de la phase de conception et les mesures réalisées dans le bâtiment terminé. D'autant plus qu'il s'agit d'une critique régulièrement formulée envers la certification LEED (Bank & al., 2010) et qui représente donc une problématique concrète.

Selon le niveau de maturité BIM utilisé dans les bureaux, il peut aussi être un appui pour la collaboration des acteurs (Boton & Kubicki, 2014). Or le nombre de critères pouvant entrer en compte dans la conception d'un bâtiment durable augmente le nombre d'acteurs et d'experts potentiels, ce qui laisse entrevoir un autre type d'interaction possible entre le BIM et le développement durable. Ces pistes de réflexion sont en cours d'étude et

seront étayées par la poursuite de nos recherches dans ce domaine afin de soutenir et valider nos hypothèses.

5. Conclusion

La notion de développement durable telle que définie par Brundtland en 1987 prône le développement économique de la société, tout en prenant en compte les aspects sociaux et environnementaux. Au cours des années, différents objectifs ont été créés au travers de conférences mondiales pour tenter de suivre cette ligne de conduite. Ce long processus a permis de poser des questionnements concernant le rôle du bâtiment dans ce développement « durable », ce qui a mené, en France et en Belgique, à différentes normes visant à diminuer la consommation énergétique des bâtiments. Cela tend à réduire le secteur du bâtiment à une approche centrée sur la question énergétique, qui n'est pourtant pas le seul facteur qu'il est possible de prendre en compte. Dans un même temps, les pratiques numériques se sont développées dans le milieu de la construction, aboutissant à la création des méthodes BIM. Mais la réticence des bureaux belges (Stals, 2020) et français (Hochscheid & Halin, 2020) à adopter les pratiques BIM représente un frein réel.

Trois axes se dégagent dans le potentiel que représente le BIM pour le bâtiment durable : le cycle de vie du bâtiment, l'optimisation de facteurs environnementaux et l'évaluation des bâtiments. Cependant, un problème de centralisation des informations se pose. En effet il n'y a pas en Belgique et en France de norme unanimement utilisée reprenant les critères à prendre en compte pour concevoir un bâtiment qui soit durable dans sa globalité. De plus le BIM a déjà pu être exploité pour développer des critères isolés, mais l'idéal serait de pouvoir centraliser ces critères dans un même programme (Lu et al., 2017).

Au-delà de la certification, un concepteur pourrait utiliser un tel logiciel pour être pleinement conscient de l'impact global de son projet sur l'environnement. Cela pourrait également être un outil d'aide à la décision pour l'octroi du permis d'urbanisme, ainsi qu'un moyen de faciliter la compréhension des projets d'envergure auprès des citoyens.

Bibliographie

- ADEME. (2018). *La réglementation thermique*. ADEME.
<https://www.ademe.fr/expertises/batiment/elements-contexte/politiques-vigueur/reglementation-thermique>
- Alexander, C. (1971). *De la synthèse de la forme : Essai*. Dunod.
<http://catalogue.sciencespo.fr/ark:/46513/sc0000097500>
- Bank, L. C., Mccarthy, M. J., Thompson, B. P., & Menassa, C. C. (2010). Integrating BIM with System Dynamics as a Decision-making Framework for Sustainable Building Design and Operation. *First International Conference on Sustainable Urbanization*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29163.23848>
- Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 15(15), 185-201. <https://www.itcon.org/2010/15>
- Boton, C., & Kubicki, S. (2014). Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. *SCAN'14, 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, 45-56. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01025675>
- Brundtland, G. H. (1987). *Rapport Brundtland*.
- Clicquot de Mentque, C. (2019, aout). *Des outils numériques pour lutter efficacement contre les îlots de chaleur*. Actu-Environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/outils-modelisation-ilots-chaleur-amenagement-urbain-33881.php4>

- CSTC. (2016). *BBSM « Projets de recherche • CSTC. Centre Scientifique et Technique de la Construction.*
<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=projects&proj=96>
- De Roince, C., & Moulherat, S. (2019). *TerrOiko | nos programmes de Recherche et Développement.* OïkoLab. Nos programmes de R&D. Consulté 6 janvier 2020, à l'adresse <https://www.terroiko.fr/RetD.php>
- Deshayes, P. (2012). Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : Logiques d'innovation et/ou problématiques du changement. *Innovations*, n°37(1), 219-236.
- Diemer, A. (2015, octobre 5). *Environnement et développement durable* [MOOC]. UVED.
<https://www.uved.fr/fiche/ressource/environnement-et-developpement-durable>
- Eames, C. et R. (1990). *A Computer perspective : Background to the computer age* (G. Fleck & International Business Machines Corporation, Éd.; New Edition). Harvard University Press.
- Eastman, C. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, 63(3), 46-50.
- Eastman, C. (Éd.). (2011). *BIM handbook : A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed). Wiley.
- Engelbart, D. (1962). *Augmenting Human Intellect : A Conceptual Framework* (p. 135). Stanford Research Institute. <https://www.dougenelbart.org/content/view/138>
- Euben, C., & Boeykens, S. (2018). *Le protocole BIM belge, Protocole de référence nationale pour les bâtiments, Version 2, octobre 2018.* 83.
- Gobbo, E., & Trachte, S. (2016). *BBSM-WP1 État de l'Art - Photographie de l'état des connaissances et pratiques chez les acteurs du secteur : Déchets de construction et économie circulaire.* <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/fr/object/boreal%3A208063>
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2018). L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. *SHS Web of Conferences*, 47, 01009.
<https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701009>
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2020, janvier 31). Le BIM dans les agences d'architecture. Ordre des architectes. <https://www.architectes.org/le-bim-dans-les-agences-d-architecture>
- Jalaei, F., & Jade, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.007>
- Kahn-Jochimek, A. (2018). Le programme de Développement Durable. *Développement durable.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/development-agenda/>
- Kam, C., & Fischer, M. (2004). Capitalizing on early project decision-making opportunities to improve facility design, construction, and life-cycle performance—POP, PM4D, and decision dashboard approaches. *Automation in Construction*, 13(1), 53-65.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.004>
- Kensek, K., Ding, Y., & Longcore, T. (2016). Green building and biodiversity: Facilitating bird friendly design with building information models. *Journal of Green Building*, 11(2), 116-130. <https://doi.org/10.3992/jgb.11.2.116.1>
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction : Green building design and delivery* (Fourth edition). Wiley.
- Krygiel, E., Nies, B., & McDowell, S. (2008). *Green BIM : Successful Sustainable Design with Building Information Modeling.* John Wiley & Sons.
http://www.123library.org/book_details/?id=9722
- Kubba, S. (2014). *Handbook of Green Building Design and Construction : LEED, BREEAM, and Green Globes.* Elsevier Science.
<http://qut.ebib.com.au/patron/FullRecord.aspx?p=947402>

- Liu, S., Meng, X., & Tam, C. (2015). Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy and Buildings*, *105*, 139-153.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037>
- Longet, R. (2016). *Planète, sauvetage en cours : Une responsabilité collective*.
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings : A critical review and future directions. *Automation in Construction*, *83*, 134-148. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2019, octobre 25). *Exigences réglementaires pour la construction des bâtiments*. Ministère de la Transition écologique et solidaire. <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/exigences-reglementaires-construction-des-batiments>
- Muratet, A. (2016, juin). Recherche Archives. *Chartier Dalix*.
<https://www.chartier-dalix.com/category/recherche/>
- Picon, A. (2014). L'architecture saisie par le numérique : Théorie,. *Revue de l'Art*, *186*, 83-89.
- PTNB. (2017). *Plan transition numérique dans le bâtiment : Rapport d'étape* (p. 67).
<http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Rapport%20%C3%A9tape/PTNB%20-%20Rapport%20d%20etape%20-%20Mars%202017.pdf>
- Quirk, V. (2012, décembre 7). *A Brief History of BIM*. ArchDaily.
<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>
- Sattler, L. (2018, mars 15). L'ère post-BIM – Pour une obsolescence déprogrammée : Une étude de cas de deux projets de Frank Gehry en France, de 2008 à 2016 III/III - DNArchiDNArchi. *Design for Numerical Architecture*.
<https://dnarchi.fr/experimentations/ere-post-bim-pour-une-obsolescence-deprogramme-une-etude-de-cas-de-deux-projets-de-frank-gehry-en-france-de-2008-a-2016-iii-iii/>
- Scoffier, R. (2014, décembre 17). *Babel. École primaire des sciences et de la biodiversité à Boulogne-Billancourt—D'architectures*. d'architectures.
<https://www.darchitectures.com/babel-ecole-primaire-des-sciences-et-de-la-biodiversite-boulogne-billancourt-a2256.html>
- Spies, N. (2013, janvier 28). *Evolution des réglementations thermiques*. L'isolation thermique des façades, Salon Batimoi, Marche-en-Famenne.
https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=nl&dtype=agendapresentations&doc=doc_400_3_N_Spies_Evolution_des_reglementations_thermiques.pdf
- Stals, A. (2020, février 3). Panorama des pratiques numériques dans les bureaux d'architecture belges de petite et moyenne taille. *DNArchi*.
<http://dnarchi.fr/analyses/panorama-des-pratiques-numeriques-dans-les-bureaux-darchitecture-belges-de-petite-et-moyenne-taille/>
- WBDG. (2018, août 3). *Design Objectives : Sustainable*. WBDG - Whole Building Design Guide. <https://www.wbdg.org/design-objectives/sustainable>
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM : A review. *Automation in Construction*, *57*, 156-165.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>