

# Préface

**Arto KIVINIEMI**

*School of Architecture, University of Liverpool, Liverpool, Royaume-Uni*

Bien qu'il existe de nombreux ouvrages sur le BIM, c'est toujours un plaisir de voir un nouvel ouvrage, surtout lorsqu'il est écrit par un groupe d'auteurs aussi compétents que celui-ci. Comme toute technologie en évolution rapide, la question du BIM est complexe et il n'existe pas de définition communément acceptée de ce qu'est le BIM ou de la manière dont nous devrions l'enseigner dans les universités ou l'utiliser dans l'industrie. Il est donc important de présenter différents points de vue sur le sujet. Personnellement, je pense qu'il y a encore beaucoup de malentendus, tant dans le secteur de la construction que dans le monde universitaire, sur la nature et l'impact du BIM. Il est souvent perçu comme un simple logiciel ou une question technique et, dans les universités, il est encore trop souvent absent des cursus ou alors est une formation en informatique plutôt qu'une partie intégrante de l'enseignement. Par ailleurs, l'accent est trop souvent mis sur la modélisation, alors qu'il devrait être mis sur le contenu de l'information, sa gestion et son partage.

La CAO n'a que très peu modifié les processus, puisqu'elle s'est contentée d'automatiser le dessin, mais le BIM change fondamentalement la façon dont nous concevons, construisons, gérons nos bâtiments et notre environnement bâti, ainsi que la manière dont nous collaborons aux projets. Le BIM affecte les tâches et les processus des nombreuses professions impliquées dans les différentes phases du cycle de vie des bâtiments et des autres parties de notre environnement bâti. Bien qu'aujourd'hui le BIM soit principale-

ment utilisé pour la conception et la construction, il s'agit bien d'un outil de gestion de l'information et d'une plateforme de partage pour l'ensemble du cycle de vie, de la définition des exigences du client à la démolition du bâtiment.

Je recommande vivement cet ouvrage à tous les professionnels du secteur de la construction et aux universitaires qui forment les nouveaux professionnels ainsi qu'aux étudiants qui ont besoin de comprendre l'avenir de notre secteur.

# Avant-propos

## Bilan et perspectives

**Christophe CASTAING**

*buildingSMART International, Paris, France*

*Groupe Egis, Paris, France*

*Projet MINnD, Paris, France*

*À la mémoire de Richard Petrie  
Chief Executive Officer (CEO) de buildingSmart International*

### L'histoire de ce volume

Ce volume BIM de l'encyclopédie « SCIENCES », a une histoire. Il a été en grande partie écrit par des rédacteurs issus du domaine de la construction et d'universitaires travaillant avec eux dans le cadre du projet national<sup>1</sup> (PN) MINnD (Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables)<sup>2</sup>. La démarche retranscrite ici reprend une expression des besoins, liée à la pratique de l'ingénierie concourante dans les contrats d'infrastructures pour les grandes infrastructures routières, ferroviaires ou industrielles, développée dans un premier temps dans le projet de recherche ANR COMMUNIC<sup>3</sup> (2007-2011).

On peut résumer les besoins issus de cette pratique de l'ingénierie concourante comme constitués autour de la recherche de gains :

- 
1. Un projet national est un projet de recherche, spécifique au ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, français, labellisé et conventionné par celui-ci et qui implique que plusieurs entreprises du secteur s'engagent fortement.
  2. Voir : <https://www.minnd.fr/livrables>.
  3. Voir : <https://www.minnd.fr/livrables-anr-communic>.

- de productivité dans les échanges de données entre les différents intervenants, au-delà des contraintes imposées par l'organisation traditionnelle des contrats ;
- de productivité dans les processus de validation des livrables à chaque étape du cycle de vie ;
- dans la vérification des performances atteintes, au regard de l'importance grandissante des exigences, notamment dans le champ environnemental.

Il faut constater que la mise en évidence de ces besoins s'accompagnait du constat que l'évolution de l'industrie du numérique n'offrait pas les réponses techniques correspondantes. En particulier, elle n'offrait pas de réponse à ce double objectif : représentation des ouvrages à construire, représentation des processus pour assurer la continuité de la donnée.

## Une heuristique

L'introduction du BIM dans ce secteur de la construction a généré l'heuristique suivante : une longue étude dans le cadre du projet de recherche COMMUNIC sur les besoins en modélisation pour les processus de l'ingénierie concourante qui a conduit à s'engager sur la modélisation des processus avec initialement les PAS 1192 des standards britanniques puis, naturellement, à participer aux travaux de l'ISO 19650. La modélisation des processus s'est accompagnée, avec la création du PN MINnD, d'un choix d'appropriation de la modélisation des ouvrages et de la participation au développement et l'extension des modèles conceptuels issus des IFC ou de GML. Pour les besoins de l'ingénierie concourante, modéliser un projet d'infrastructure, plutôt qu'un ouvrage simple isolé, nécessitait de poser un constat fondateur. Il fallait introduire les connaissances de l'ingénierie système pour comprendre comment décomposer correctement les ouvrages et les processus avec deux concepts-clés : celui de système de systèmes appliqué à un projet d'infrastructure et celui introduisant la dichotomie entre le système « à faire » et le système « pour faire ». Cependant, il est apparu que l'ingénierie système ne résolvait pas deux problématiques propres à la description des infrastructures et du territoire :

- le besoin d'introduire une décomposition nouvelle et supplémentaire avec la décomposition spatiale comprise comme un système ou non ;
- l'imbrication de la décomposition en systèmes d'objets qui n'entrent pas dans la représentation systémique (géologie par exemple), mais concomitante au concept de système de systèmes.

Puis, il est apparu que l'ingénierie système rendait nécessaire l'appropriation de l'ingénierie des modèles pour construire un environnement stable de représentation des modèles conceptuels, au-delà du BIM lui-même (système d'information géographique,

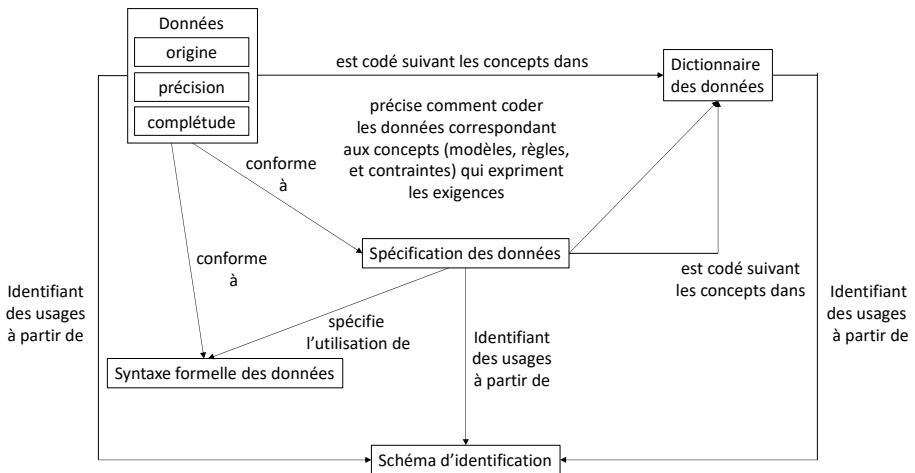
décomposition des tâches (WBS)) posant le besoin d'une appropriation de STEP 239. Enfin, en avançant dans les phases d'appropriation et d'implémentation de la modélisation des données, afin de compléter la démarche globale, il a fallu entrer dans le chemin de la modélisation de la connaissance, autour des normes ISO 12006 et 23386 pour rendre aux métiers les modèles conceptuels en vérifiant leur capacité à porter la sémantique liée aux usages. Il serait intéressant d'étudier combien cette approche (ISO 8000) doit aux connaissances développées par le structuralisme sur l'apprentissage des langages.

### Les chemins de la connaissance...

L'exploration collective du thème de recherche formulé dans COMMUNIC, puis dans MINnD, a suivi deux voies qui ont permis d'accumuler des connaissances.

La première, par l'appropriation des connaissances antérieures autour de l'ISO 8000 et des travaux de normalisation dans le cadre de buildingSMART International.

Comme le montre la figure 1, issue du site ISO, l'ISO 8000 dégage trois étapes-clés dans la modélisation de l'échange de l'information : la description de la sémantique avec la constitution de dictionnaires de données, la description des besoins d'échanges d'informations et l'application à des usages à partir d'un schéma global. En partant de la modélisation de la connaissance, les dictionnaires de données définissant la sémantique attachée aux objets à construire, il se dégage la description de schéma conceptuel des ouvrages à construire ou à maintenir.



**Figure 1.** Les trois étapes de l'échange de l'information (site ISO)

La seconde voie est celle passant par l'appropriation de connaissances académiques mises à disposition par l'ingénierie des modèles et l'ingénierie système et issues des besoins d'autres industries. Il a été nécessaire de comprendre les concepts de l'ingénierie système pour s'échapper de la représentation intuitive par arborescence des ouvrages et parvenir à la double compréhension d'un système de systèmes *versus* un système complexe, mais aussi pour répondre à la nécessité de faire la distinction entre la modélisation du système à livrer *versus* la modélisation du système nécessaire à la production du système à livrer. Il se dégage alors les voies de la continuité numérique pour décrire une connaissance hétérogène et non continue (un système de systèmes), qui n'a que peu d'équivalents dans les autres industries, mais qui permet de dialoguer voire d'offrir une solution aux autres industries.

Il faut également ajouter l'imbrication de nouvelles méthodologies et technologies de la modélisation venant de l'univers de l'information géographique, avec le Web sémantique<sup>4</sup>.

Le secteur de la construction était vu comme un secteur archaïque dans sa transformation numérique. Grâce à ces travaux et à la mobilisation des experts sur ces terrains, il se positionne au centre de la problématique d'un jumeau numérique du territoire permettant de représenter non seulement l'univers du bâti (construit), mais aussi son environnement fait d'objets qui interfèrent avec l'activité humaine, même s'ils n'en sont pas issus.

## Les enjeux actuels...

La maturité acquise par l'industrie de la construction dans l'appropriation des acquis scientifiques du numérique s'épanouit au moment où les besoins de modification profonde de l'environnement construit et de sa protection (sauvegarde de l'environnement construit) émergent comme des enjeux majeurs de ce siècle. On peut formuler les enjeux techniques de la façon suivante :

a) est-ce que le jumeau numérique capable de représenter ces deux environnements pourra faire partie de la solution de la trajectoire bas-carbone ?

b) alors que ces enjeux vont obliger les pays et les filières à produire des efforts financiers très importants, le secteur de la construction va-t-il pouvoir garder la maîtrise des outils de transformation de cet environnement construit pour offrir des solutions au travers de ces nouveaux outils ?

---

4. Voir : [www.w3.org](http://www.w3.org).

Ce second volet de la question n'est pas du tout secondaire. L'ère du numérique, qui s'étend avec la crise sanitaire, entraîne inexorablement une transformation de l'organisation des processus. De nouvelles pratiques sont engendrées, et de nouvelles sources de revenus seront convoitées au-delà du cercle traditionnel des acteurs directs de la construction. Les infrastructures connectées vont se trouver au centre d'un immense marché de l'Internet des objets.

L'acquisition de la maîtrise des outils de modélisation de l'univers du construit et du bâti dans son environnement a permis de mettre à jour un potentiel d'économie numérique ouverte<sup>5</sup>, maîtrisée par les acteurs traditionnels. Cet écosystème, regroupant acteurs traditionnels et économie numérique ouverte, devrait permettre d'agrèger les technologies émergentes de l'industrie 4.0.

L'enjeu est donc double :

- d'une part la construction garde la main sur les spécifications techniques de cet écosystème, participe à sa conception et à sa maîtrise et alors prend toute sa place dans le contrôle de la continuité numérique sur tout le cycle de vie des ouvrages et de la donnée ;
- d'autre part les industriels du numérique entrent dans cet écosystème de type ouvert en acceptant de ne pas devenir les maîtres de la donnée et de son cycle de vie.

## **Les constructions interorganisationnelles...**

Un projet comme MINnD permet à la filière française de la construction, qui pèse, en termes de revenus, 310 milliards d'euros par an (part du PIB), d'exprimer un besoin commun autour de la continuité numérique autour de ses données et de ses processus mais aussi, grâce à la mutualisation de moyens et de ressources, d'avancer dans la réalisation d'un certain nombre de ces objectifs par :

- une action commune dans les comités de normalisation de l'AFNOR, en passant par les syndicats professionnels ou fédérations comme FNTP et Syntec- Ingénierie ;
- une action commune dans les sociétés savantes comme buildingSMART France et buildingSMART International, pour faire avancer les parties les plus techniques de ces travaux et tisser des liens avec des acteurs internationaux.

La construction est une filière-clé de la trajectoire bas-carbone, qui va se jouer aussi sur les spécifications techniques sur les objets construits, les matériaux, les processus et

---

5. « Ouverte » fait allusion aux développements de l'OpenBIM autour de buildingSMART International, de l'Open GIS autour de l'OGC et de l'*open source*.

surtout leur fonctionnement et leurs usages. Lors des forums économiques internationaux, en Europe ou en Asie, s'expriment très clairement les objectifs stratégiques et les intérêts des uns et des autres : il n'est pas exagéré de dire que le développement de normes de type OpenBIM, telles que les IFC pour les infrastructures, entre dans les objectifs stratégiques de certains pays.



# Introduction

**Régine TEULIER<sup>1,2</sup> et Marie BAGIEU<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> CNRS, CRG, Institut polytechnique, Paris, France

<sup>2</sup> Projet MINnD, Paris, France

<sup>3</sup> ESITC Caen, Caen, France

## I.1. Genèse du BIM

L'évolution de la conception assistée par ordinateur (CAO) et le développement de la capacité des ordinateurs aboutissent à la modélisation 3D, dans les années 1970 (Baba et Nobeoka 1998). Les outils de modélisation paramétrique, basés sur la programmation orientée objet, se répandent dès lors dans l'industrie, mais leur adaptation au secteur de l'architecture, ingénierie et construction (AIC) prend plusieurs décennies (Penttilä *et al.* 2007).

### I.1.1. Concept

Eastman *et al.* (1975) introduisent, dans les années 1970, le concept de *Building Description Systems* (BDS), et proposent un prototype permettant de développer un système général de description de bâtiments. Le BDS a été, depuis, reconnu comme le précurseur des outils BIM, plusieurs étapes intermédiaires ayant permis d'aboutir au processus BIM tel que nous le connaissons aujourd'hui (Latiffi *et al.* 2014) dans la succession suivante :

- GLIDE : *Graphical Language for Interactive Design* (Eastman et Henrion 1977) ;
- BPM : *Building Product Model* (Bjork 1989) ;
- GBM : *Generic Building Model* (Eastman et Siabiris 1995).

### 1.1.2. Acronyme

Aish (1986) fut le premier à décrire une CAO dans laquelle les informations relatives à l'ouvrage à construire seraient intégrées au dessin de façon cohérente et coordonnée par l'ensemble de l'équipe multidisciplinaire de conception. Il parle alors de *Building Modelling*. Plus tard, Van Nederveen et Tolman (1992) proposent de stocker les informations utiles dans une modélisation de l'ouvrage et introduisent le *Building Information Model*. Ils veulent ainsi remédier à une pratique de la construction caractérisée par une organisation peu structurée des différents acteurs de l'acte de construire, chacun jouant un rôle spécifique et ne disposant que d'une vue spécifique des données du projet.

Plus récemment, le National BIM Standard – United States® (NBIMS) a décliné l'acronyme BIM suivant trois acceptions : *Building Information Modelling*, *Model* ou *Management* (BIM3) (NBIMS 2015).

### 1.1.3. Définition

Dans cet ouvrage, nous avons choisi comme unique acception « Building Information Modelling », et nous référons à la définition qui en est faite dans la norme ISO 19650 (2018). Le BIM y est entendu comme l'utilisation d'une représentation numérique partagée d'un actif bâti<sup>1</sup> pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation et former une base fiable permettant les prises de décision.

## 1.2. Présentation des chapitres de cet ouvrage

Dans le chapitre 1, Régine Teulier et Marie Bagieu s'intéressent aux enjeux économiques du BIM, elles proposent de caractériser la nature du BIM comme innovation pour le secteur de la construction et examinent méthodiquement ce qu'est une rupture technologique et les conséquences d'une telle rupture. Elles proposent de retenir l'hypothèse de qualifier le BIM comme rupture technologique. Ensuite elles considèrent les différentes évaluations qui ont proposées pour évaluer les niveaux de maturité du BIM dans les entreprises, et montrent aussi que ce type d'évaluation de la maturité sont maintenant relativisées avec les nouvelles normes et avec l'adoption de l'OpenBIM.

Dans le chapitre 2, Benoît Eynard, Matthieu Bricogne, Alexandre Durupt et Julien Le Duigou retracent, pour le génie mécanique et l'industrie manufacturière, ce qu'a été l'évolution de la conception multidisciplinaire numérisée, évolution qui s'est produite

---

1. Les actifs bâtis comprennent, mais sans s'y limiter, les bâtiments, les ponts, les routes et les usines.

avec environ deux décennies d'avance sur celle que connaît le génie civil et urbain et qui en éclaire les fondamentaux et permet de l'interroger avec recul. Les auteurs précisent chaque concept, outil ou méthode et donnent des définitions précises et stabilisées en les situant les uns par rapport aux autres. Ils soulignent le rôle central de la modélisation qui détermine les enjeux autour de la conception multidisciplinaire.

Dans l'industrie manufacturière, la conception et le développement sont centrés sur le produit et le cycle de vie du produit. Le *Product Lifecycle Management* (PLM) touche l'ensemble des objets, du cycle de vie, la gestion des évolutions des solutions et vise à réduire le cycle de développement et son coût total. L'ingénierie concourante et l'ingénierie intégrée, corollaires de l'introduction de la maquette numérique, sont définies. Les ontologies, surtout des ontologies produit, sont utilisées pour développer le niveau sémantique, le plus souvent au niveau d'un métier, un des enjeux actuels étant de les intégrer dans la conception multidisciplinaire.

Du point de vue des méthodes, le cycle de vie, exploré par le génie mécanique et l'industrie manufacturière, s'est aussi avéré central dans l'évolution de l'ouvrage. Le cycle en V, l'informatisation de l'assistance des méthodes de modélisation et de simulation ont permis de mettre au point ces concepts. La stabilisation et la généralisation d'outils comme STEP, standard le plus utilisé pour l'échange de données sur l'ensemble du cycle de vie des produits, ont outillé ces concepts. Enfin, Benoît Eynard, Matthieu Bricogne, Alexandre Durupt et Julien Le Duigou illustrent, à travers la façon dont le génie mécanique est passé de la recherche à l'établissement de la norme comme un des aboutissements, un accord largement partagé suivi d'un passage dans les pratiques qui s'impose ensuite à tous. Cette évolution dans l'industrie manufacturière conforte ce qui se passe dans le génie civil à travers le BIM, les débats en cours se rejoignent comme ceux sur l'ingénierie système, les ontologies, les méthodes agiles, la prise en compte des exigences de l'exploitant et/ou de l'utilisateur/client.

Dans le chapitre 3, Pierre Benning et Claude Dumoulin traitent du difficile problème de l'interopérabilité. Ils en rappellent les raisons et les principes. Dans une démarche BIM, et *a fortiori* OpenBIM, aucun logiciel ne couvre l'ensemble des fonctions nécessaires pour concevoir et réaliser une construction, il est inévitable d'utiliser des logiciels métiers spécialisés et d'échanger des informations entre logiciels, afin d'éviter, outre les ressaisies, sources d'erreurs, des discontinuités numériques. Les besoins d'échanges fiables et pérennes sont donc immenses. La difficulté réside dans le fait que ces informations doivent rester stables dans leurs formats et leurs propriétés, à l'export comme à l'import de tous les logiciels.

Pierre Benning et Claude Dumoulin introduisent les mécanismes concrets de l'interopérabilité par les standards en nous présentant clairement le fonctionnement de ces standards. Le standard IFC est maintenant une norme ISO, il est basé sur le format de fichier

STEP, et utilise des classes d'objets, les relations entre les objets et les propriétés des objets – les IFC, format neutre d'échange, préparé et évoluant depuis 1996 par des alliances internationales, d'abord IAI, puis bSI. La création de ce standard ISO est un exemple de la capacité d'innovation et d'organisation de la filière à travers les comités de normalisation internationaux. Pierre Benning et Claude Dumoulin, acteurs de MINnD, qui participent aux différents comités d'élaboration des normes, font un point très synthétique et actuel de méthodologies de développement, des nouvelles classes développées, ainsi que des enjeux actuels concernant les IFC pour les infrastructures. Ils rappellent que si la démarche BIM exige une description du monde, très précise et opérationnelle, dans un monde d'objets, ayant des propriétés, et de relations entre les objets, cela ne doit pas faire oublier que l'essentiel de la démarche collaborative du BIM est basé sur des processus et des évolutions dynamiques.

Dans le chapitre 4, Ana Roxin, Christophe Castaing et Charles-Édouard Tolmer montrent comment la structuration de l'information à travers le BIM est orientée par l'objectif global de construire le jumeau numérique de l'ouvrage. Le système d'information qu'est le jumeau numérique, ou asset numérique, a pour but de transformer la donnée non structurée en information structurée autour de laquelle se développent des services permettant son exploitation. Le jumeau numérique repose sur l'interopérabilité, qui elle-même repose sur la normalisation. Le jumeau numérique est la représentation dynamique d'un ouvrage : dès son origine la représentation numérique doit intégrer les marqueurs du suivi de sa progression dans le cycle de vie. Le premier service est le partage des données tel que le définit la norme ISO 19650 (2018). Voir le BIM comme point de départ de la création du jumeau numérique implique aussi de penser le jumeau numérique dans sa dynamique, imaginer l'objet à construire dans son évolution tout au long de son cycle de vie : comprendre l'interaction et les impacts des processus de conception, construction et d'exploitation sur le jumeau numérique, nécessite non seulement de modéliser les données, mais aussi les processus.

La norme ISO 19650 du jumeau numérique répond à deux objectifs : représenter l'asset et celui de le faire vivre. Elle décrit deux types d'exigences : celles sur les performances du produit, et celles sur les performances des processus du projet. Elle structure d'une part l'objet à réaliser, c'est-à-dire le produit ou système « à faire » et d'autre part les processus, garantissant le cycle de vie, c'est-à-dire le projet ou système « pour faire ». L'utilisation de l'ingénierie système et celle de l'ingénierie des exigences sont renforcées par l'utilisation de formalismes communs de modélisation.

La transition numérique du secteur de la construction introduit dans la gestion de projet la question de la valorisation de l'information. On passe des arborescences de dossiers, des dictionnaires de données et des catalogues produits à une structuration en graphes avec métadonnées. De nouvelles méthodes, issues d'autres industries comme la gestion des exigences, l'ingénierie système, la gestion des connaissances, le PLM (Codohinto

et Kiviniemi 2014 ; Jupp et Singh 2016), viennent s'intégrer au BIM et contribuent à le restructurer.

Dans le chapitre 5, Ana Roxin et Christophe Castaing détaillent deux approches à base d'UML utilisées pour la modélisation des systèmes complexes, comme les projets de construction d'infrastructures. L'objectif de ce type de modélisation est la prise de décision dans un espace de problème complexe suivant différentes étapes de conception et de mise en œuvre des processus. Les auteurs situent cette approche dans le cadre global de la modélisation de données, et prennent comme cadre de référence la série de normes ISO 8000.

L'analyse orientée-objet, issue de la programmation orientée-objet, répondait au besoin de mieux gérer l'héritage. Un « objet » était alors défini comme une abstraction dans l'espace du problème, gardant les informations et propriétés de cet objet. Une analyse orientée-objet visait alors la description de l'espace du problème. Une décennie après, UML consacre une nouvelle définition de l'objet en mettant le focus sur les aspects informatiques. Une classe devient alors un descripteur pour un ensemble d'objets partageant les mêmes caractéristiques. Avec la modélisation UML, tout est objet et l'analyse vise l'espace des solutions.

Les auteurs situent l'utilisation des ontologies dans l'évolution de la pensée objet et de l'approche entité relation. Les ontologies décrivent un univers à travers des classes, propriétés et des instances de classes (ou individus). Pour définir qu'un individu appartient à une classe, celle-ci doit être décrite de façon formelle, en spécifiant des conditions nécessaires ou des conditions nécessaires et suffisantes. Mais les ontologies sont aussi utilisées pour la définition des dictionnaires et autres ressources intégrées dans un projet BIM (glossaires et hiérarchies de termes), ne nécessitant pas un langage formel.

Dans le chapitre 6, Lauri Koskela, Saeed Talebi, Algan Tezel et Patricia Tzortzopoulos analysent la synergie récemment mise en évidence entre les processus BIM et *Lean*. Une mise en perspective réciproque des contributions du BIM au *Lean* et du *Lean* au BIM y sont présentées respectivement dans la conception, la construction et la maintenance des ouvrages.

Le BIM est un processus collaboratif, cohérent avec une gestion flexible et économe de la conception de l'ouvrage, permettant de conserver ouverts les choix de concepts, au bénéfice des critères de performance. Il permet également d'optimiser la planification des travaux, en phase construction, en facilitant l'identification des contraintes, en réduisant les déchets, les erreurs et les conflits et en optimisant la vérification et la validation des processus de mise en œuvre. Dans les phases d'exploitation et de maintenance, les apports du BIM devraient aussi permettre la mise en œuvre d'une gestion économe des ouvrages construits.

Réciproquement, le *Lean* implique une approche proactive basée sur la rigueur, la collaboration, l'expérimentation et l'amélioration continue, qui sont des valeurs indispensables à la mise en œuvre d'un processus BIM mature. Pour Lauri Koskela, Saeed Talebi, Algan Tezel et Patricia Tzortzopoulos, les synergies entre les processus BIM et *Lean* sont en constante évolution et vouées à se développer.

Dans le chapitre 7, Rebekka Volk fait un état des lieux des techniques de génération des données des bâtiments, des méthodes de *Scan-to-BIM* aux techniques de *Design-for-Deconstruction* (DfD). Elle en donne les avantages comme les exigences et les perspectives de recherche. La gestion centralisée et structurée des informations de l'ouvrage doit permettre l'application des principes de l'économie circulaire, et une planification optimisée de la déconstruction. La modélisation *as-built* représente un enjeu fort dans l'optimisation de la fin de vie d'un ouvrage de construction.

Pour les ouvrages déjà construits, il n'existe pas encore de solutions commerciales complètes, universelles, satisfaisantes, basées sur le BIM. Les technologies les plus avancées parviennent à convertir les nuages de points en maquettes numériques, mais la conversion en modèles adaptés au processus BIM est encore souvent imprécise et difficilement exploitable, en particulier pour les ouvrages complexes et irréguliers tels que les bâtiments historiques. Le processus de déconstruction BIM souffre du manque actuel de normalisation.

Pour autant, pour Rebekka Volk, l'utilisation et l'intégration d'autres techniques numériques, liées à l'exploitation des données de l'ouvrage, de sa situation géographique et de ses composants dans le processus de déconstruction BIM, pourraient donner naissance à un processus de déconstruction automatisé et industrialisé, davantage propice à l'économie circulaire et à l'optimisation de la déconstruction.

Dans le chapitre 8, Hervé Halbout, François Robida et Mojgan A. Jadidi présentent les complémentarités et la convergence du BIM et du SIG. Les fondements et l'histoire de chacun des concepts sont exposés, ainsi que l'évolution des normes, les convergences, longtemps souhaitées, qui commencent à se concrétiser, notamment depuis l'accord entre buildingSMART et l'OGC en 2014. Les formats les plus répandus étant CityGML pour le SIG et les IFC pour le BIM, l'interopérabilité se joue, soit *via* des formats intermédiaires, soit par la compatibilité de chacun des formats avec un format RDBMS. La continuité digitale est l'objectif à rechercher dans un contexte où les données sont de plus en plus acquises par des capteurs, où l'IoT lie un ouvrage à son territoire.

Le contexte des travaux des différentes institutions est largement décrit et permet d'éclairer l'évolution des normes et des formats d'échanges, qui sont la concrétisation de ces convergences et complémentarité du SIG et du BIM.

L'ensemble de ces chapitres couvre un champ de sujets très large sur le BIM, à la fois sur le plan théorique et sur des applications, l'originalité de l'ouvrage étant d'exposer les fondements théoriques des modélisations et représentations des données qui sont utilisées dans le BIM, tout en intégrant le point de vue industriel, qui développe non seulement des considérations sur l'applicabilité des concepts et modèles conceptuels, mais situe cette approche dans des perspectives suscitées par les besoins des industriels. Nous sommes bien dans l'exposé des résultats d'une recherche scientifique sur une ingénierie qui propose les concepts et les méthodes qui seront utilisables. Le lecteur trouvera donc, dans cet ouvrage, des apports théoriques assez complets et un descriptif de l'ensemble des problématiques, tels que les ingénieurs des firmes du secteur de la construction élaborent leurs méthodes et leurs modèles pour mettre en œuvre une démarche BIM.

### I.3. Bibliographie

- Aish, R. (1986). Building modeling: the key to integrated construction CAD. Dans *International Symposium on the use of computers for environmental engineering related to buildings*. Bath, 55–67.
- Baba, Y., Nobeoka, K. (1998). Towards knowledge-based product development: the 3D CAD model of knowledge creation. *Research Policy*, 26(6), 643–659.
- Bjork, B. (1989). Basic Structure of a Proposed Building Product Model. *Computer Aided Design*, 21(2), 71–78.
- Eastman, C., Henrion, M. (1977). GLIDE: A Language for Design Information Systems. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 11(2), 24–33.
- Eastman, C., Siabiris, A. (1995). A Generic Building Product Model Incorporating Building Type Information. *Automation in Construction*, 3(4), 283–304.
- Latiffi, A.A., Brahim, J., Fathi, M.S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials*, 567, 625–630.
- NBIMS (2015). National BIM Standard – United States Version 3, s.l.: National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance.
- Norme ISO 19650 (2018). Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) – Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction.
- Penttilä, H., Rajala, M., Simo, F. (2007). Building Information Modelling of Modern Historic Buildings. *eCAADe*, 607–613.
- Van Nederveen, G., Tolman, F. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1(3), 215–224.