

Karim Beddiar
Fabien Imbault



BIM ET ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT

De la conception à l'exploitation

EDITIONS
LE MONITEUR

DUNOD

Graphisme des illustrations 1.2, 2.8, 2.16, 2.17, 5.6 et 5.7 :

Rachid Marai

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage. Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements	 DANGER LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE	d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).
--	---	--

© Dunod, 2017
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-077228-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Préface

La lutte contre le changement climatique est un défi majeur, qui résulte principalement de l'exploitation linéaire et extensive des ressources naturelles, en particulier des énergies fossiles. Ses impacts sont désormais reconnus. Le modèle actuel n'est ni durable ni écologique sur les plans économique et social, d'autant que nous vivons dans un siècle marqué par une démographie et une urbanisation galopantes.

Après la COP 21 de Paris sur le climat, la COP 22 de Marrakech vise la réduction sensible du taux du CO₂, notamment la consommation d'énergie carbonée. La transition vers des énergies renouvelables s'engage. L'atteinte de ces objectifs nous invite à revisiter nos modes de consommation, à repenser la manière dont nous construisons nos villes et bâtiments et à reconsidérer la manière dont nous utilisons globalement l'énergie en phase construction comme en phase exploitation.

Le secteur du bâtiment représente aujourd'hui le premier levier d'action d'optimisation de l'efficacité énergétique. Pour réduire son empreinte carbone, le secteur s'est engagé dans une transition énergétique à la fois pour réduire ses émissions de CO₂, sa consommation énergétique et augmenter la part des énergies renouvelables.

En parallèle, le secteur vit sa transition numérique : le BIM (*Building Information Modeling*), lancé en France début 2015 dans le cadre de la feuille de route du Plan de transition numérique du bâtiment, représente un outil collaboratif puissant d'amélioration de la gestion de projet et de productivité : gain en temps et en qualité, détection précoce des erreurs et des conflits, partage des données et travail collaboratif tout au long du cycle de vie du bâtiment, de sa conception à sa déconstruction en passant par sa construction, son exploitation et sa maintenance.

Cet outil technologique participe fortement à l'atteinte des objectifs énergétiques et environnementaux, de manière durable, tout en respectant les politiques d'environnement. Il contribue à la création du bâtiment de demain, un bâtiment

intelligent capable de gérer ses flux, d'économiser l'énergie, d'être un lieu de vie, de confort et de santé pour ses occupants.

Il est temps désormais d'accélérer le développement et la diffusion des technologies à chaque stade de la construction et de l'exploitation, de favoriser la formation, la recherche et l'innovation. C'est une des missions que se fixe la Chaire d'enseignement et de recherche Cisco-Cesi-VINCI Energies « Industries et service de demain ».

L'innovation technologique, dont le BIM est une concrétisation, permet ainsi de bâtir la ville de demain, intelligente et humaine. VINCI Energies, avec notamment l'appui de ses entreprises d'ingénierie et travaux et de sa marque VINCI Facilities, accélère depuis des années le déploiement de ces innovations pour rendre tangible la transition énergétique et la transformation digitale au service de la ville et du citoyen.

Hervé Adam, directeur général VINCI Energies France

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier le CESI. En particulier Monsieur Vincent Cohas, directeur général du Cesi et Monsieur Stéphane Degrés, directeur régional du Cesi Ouest, pour leur soutien et leurs encouragements.

Merci à Monsieur Hervé Adam, directeur général VINCI Energies France, d'avoir accepté de préfacer cet ouvrage.

Merci aux entreprises et aux organismes ayant accepté de nous fournir des études de cas et des illustrations, parmi eux : VINCI Energies, Evolution Energie, Smart Use, Stereograph et Emerton.

Rédiger un livre est un travail de longue haleine, nous devons, enfin, remercier nos familles pour leur patience et leur compréhension.

Table des matières

Préface	III
Remerciements	V
Introduction générale	IX
1 Le BIM dans la construction	1
1.1 Définitions	2
1.2 Les acteurs de la transition numérique dans la construction	4
1.3 Environnement du BIM	6
1.4 Éléments juridiques sur le BIM	17
1.5 Le BIM en France et à l'international	20
1.6 BIM, PLM et BLM	24
1.7 Conclusion	26
2 Les performances énergétiques et environnementales du bâtiment	27
2.1 L'industrie du bâtiment et l'énergie	27
2.2 L'énergie dans le bâtiment	30
2.3 Optimisation des consommations énergétiques des bâtiments	55
2.4 Conclusion	67
3 La gestion patrimoniale du bâtiment à la ville	69
3.1 Gestion patrimoniale et aménagement du territoire	69
3.2 L'aménagement du territoire	72
3.3 L'échelle urbaine	74
3.4 Conclusion	89
4 Le BIM et les performances énergétiques et environnementales	91
4.1 Le BIM et le projet de construction	91
4.2 Le BIM et le bâtiment (intelligent)	100

4.3 Évaluation des résultats	106
4.4 Le BIM et l'existant	111
4.5 Penser et « modéliser » la ville de demain	117
4.6 Le BIM et la ville	122
4.7 Outils, critères, standards et indicateurs	127
4.8 Conclusion	139
5 BIM et enjeux du futur	141
5.1 Évolution du contexte	141
5.2 BIM et les nouveaux métiers	164
5.3 Les nouveaux contrats : ESCO, CREM, REM	173
5.4 Conclusion et perspectives	178
6 Études de cas	181
6.1 Le BIM pour le facilities management – Expérimentation de l'usage du BIM en exploitation sur le site Hélios à Vélizy-Villacoublay	181
6.2 Un modèle de transformation de la ville : l'écoquartier durable du Perray-en-Yvelines	191
6.3 Une solution BIM d'exploitation et gestion d'une infrastructure : hypervision de parkings	198
Conclusion générale	203
Glossaire	207
Bibliographie	217
Webographie	221
Index	223

Introduction générale

Le secteur de la construction fait actuellement face à de nombreux enjeux. D'abord, et ce depuis plusieurs années, des difficultés récurrentes sont générées par un déséquilibre entre l'offre et la demande : entre 300 000 et 350 000 logements sont mis en chantier chaque année alors que l'objectif visé se situe autour de 500 000 logements neufs/an.

Ensuite, l'acte de construire devient de plus en plus complexe, surtout lorsqu'on prend en considération les nombreuses normes et réglementations applicables et la collaboration malaisée entre les différentes parties prenantes impliquées (client, architecte, BET [bureau d'études techniques], entreprises, etc.).

Enfin, la France s'est fortement engagée en matière d'efficacité énergétique, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de déploiement des énergies renouvelables pour 2020, 2030 et 2050. Ces objectifs ne pourront être atteints que si les secteurs du bâtiment et de l'énergie démontrent leur capacité à construire mieux, plus rapidement et de manière moins coûteuse. Le consommateur doit de plus devenir, grâce à la fourniture de solutions simples de calcul et d'optimisation de sa consommation, un véritable acteur de la transition énergétique.

Cette équation complexe trouve une solution dans l'innovation. Elle représente un des facteurs clés pour sortir de cette situation délicate en apportant de nouvelles réponses à des problématiques réelles, tout en prenant compte de l'état du secteur. En cela, le numérique a été identifié comme une opportunité de rupture permettant d'améliorer l'efficacité de la construction et de la rénovation ainsi que la gestion, l'exploitation et la maintenance des ouvrages... il s'agit d'un axe de modernisation incontournable pour la filière de la construction. À titre d'illustration, nous pouvons citer le rôle prégnant des NTIC (nouvelles technologies d'information et de communication) dans l'optimisation énergétique et environnementale¹ : avec l'arrivée à maturité de technologies numériques (smart building, smart grids, etc.) qui permettent d'optimiser le processus de construction et rendent le consommateur acteur de l'optimisation de ses usages énergétiques.

1. Beddiar K., Lemale J. (2016), *Bâtiment intelligent et efficacité énergétique – Optimisation, nouvelles technologies et BIM*, éditions Dunod, 256 p.

De la conception à la maintenance, en passant par la réalisation, la fabrication des équipements et produits, la pose, la gestion et l'entretien, à toutes ces étapes le numérique peut améliorer l'efficacité des acteurs et faire progresser la qualité des ouvrages tout en impactant sensiblement la chaîne de valeur. Si la complémentarité des métiers est un fait avéré, la transversalité l'est un peu moins. Pourtant, diffuser les usages du numérique va nécessiter de développer une dimension transversale réunissant différents intervenants et corps de métiers pour tendre vers un mode collaboratif efficace, où chaque acteur joue un rôle et apporte une valeur spécifique. Certains utilisent déjà le numérique et sont convaincus de sa plus-value, d'autres sont méfiants voire réticents. Pourtant de nombreux travaux, par exemple celui du cabinet McKinsey France¹, soulignent que le numérique pourrait représenter une gigantesque valeur économique, estimée à près de 1 000 milliards d'euros en France d'ici 2025. Cette valeur proviendrait à la fois de la valeur ajoutée générée par les entreprises et du « surplus » capté par les consommateurs.

Dans ce domaine un des programmes les plus ambitieux et novateurs dans le domaine de la construction est « Plan transition numérique dans le bâtiment » (PTNB) dans le cadre du plan de relance de la construction lancé en décembre 2014. Ce programme fait suite au rapport² de Bertrand Delcambre remis en décembre 2014.

L'objectif est de convaincre les maîtres d'ouvrage, de moderniser la conception/réalisation et surtout d'entraîner et d'accompagner les entreprises et artisans. Pour embarquer dans le numérique tous les acteurs du bâtiment, notamment les entreprises artisanales du secteur qui représentent la quasi-totalité des entreprises, des efforts importants de communication, à différents niveaux, sont à mettre en place. Le PTNB a pour ambition de déployer une série d'actions structurantes répondant aux différents axes retenus dans le rapport de décembre 2014.

Le numérique est donc clairement identifié comme une opportunité majeure pour améliorer et moderniser les méthodes comme la qualité de construction ainsi que la communication/collaboration entre tous les acteurs, pour plus de logements à des coûts maîtrisés.

Le PTNB a identifié certains travaux comme étant prioritaires et indispensables à la réussite de la transition numérique pour les acteurs du bâtiment. En ce sens, une attention particulière a été portée sur l'emploi du (BIM) et de la maquette numérique dans tout le cycle de la construction (de la conception à la main-

1. McKinsey France (2014), « Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France », 134 p.

2. Delcambre B. (2014), rapport « Mission numérique bâtiment », 54 p.

tenance), notamment à destination des petites entreprises. Cet outil constitue aujourd'hui un moyen essentiel dans l'optimisation de l'acte de construire, mais plusieurs aspects demeurent encore mal maîtrisés, notamment s'agissant des cibles « énergie » et « environnement » à l'échelle du bâtiment mais aussi à l'échelle urbaine.

C'est à partir de cette réalité complexe et pour répondre à ces attentes que nous avons décidé de mener dans cet ouvrage une réflexion sur le BIM flux et l'optimisation des deux cibles citées plus haut.

Ce travail pourra servir de point d'appui méthodologique aux différents acteurs qui interviennent dans la conception et la gestion d'un projet de construction : étudiants, architectes, urbanistes, BET, maîtres d'ouvrage, etc.

Cet ouvrage est construit en six chapitres :

- ▶ Le premier chapitre introduit le BIM, définit les concepts et explicite son écosystème en France et à l'international.
- ▶ Le deuxième chapitre, à visée technique, a pour objectif de donner les éléments principaux liés à l'efficacité énergétique et environnementale du bâtiment pour mieux comprendre les concepts, pouvoir alimenter correctement en données la maquette numérique et savoir interpréter les résultats issus de cette dernière.
- ▶ Le troisième chapitre vise à mieux comprendre la gestion du patrimoine du bâtiment à la ville et l'apport du BIM dans cette phase qui représente les trois quarts du cycle de vie d'un ouvrage de construction.
- ▶ Le quatrième chapitre repose sur les chapitres précédents pour traiter des aspects liant le BIM aux performances énergétique et environnementale que ce soit à l'échelle du bâtiment ou à l'échelle urbaine.
- ▶ Le cinquième chapitre traite des innovations et des enjeux du futur en lien avec l'utilisation du BIM dans l'optimisation des performances du bâtiment.
- ▶ Enfin, le dernier chapitre est consacré à la présentation d'opérations réelles. Ces opérations sont décrites sous diverses facettes. Un zoom sera fait sur les volets énergétiques et environnementaux, sujets principaux de l'ouvrage. Ainsi, l'objectif est de montrer l'étendue de l'utilisation du BIM et la maquette numérique sur le terrain et de donner un aperçu de la grande variété des projets et des enjeux actuels.

Le BIM représente aujourd'hui une réalité. C'est également un enjeu d'avenir et un objet d'innovation et de progrès formidable. Il est par ailleurs un outil puissant au service du bâtiment de demain. En somme, une solution pertinente