

# **CONSTRUCTION 4.0**



Karim **BEDDIAR** | Christian **GRELLIER** | Edward **WOODS**

# **CONSTRUCTION**

# **4.0**

**Réinventer le bâtiment  
grâce au numérique :  
BIM, DfMA,  
Lean Management...**

**DUNOD**

Crédit photo de couverture : © Agence d'Architecture  
Anthony Béchu & Associés,  
pour Bouygues Immobilier et Primonial  
Mise en page : Belle Page  
Cet ouvrage a été réalisé avec le soutien de Bouygues Immobilier  
et de Cesi.

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<sup>er</sup> 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

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, 2019

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-079050-0

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.

# Table des matières

<b>Préface</b>	IX
<b>Remerciements</b>	XI
<b>Abréviations</b>	XIII
<b>Introduction générale</b>	1
<b>Chapitre 1 ■ Éléments introductifs au bâtiment du futur</b>	7
1.1 Évolution de l'industrie	7
1.1.1 Mutations numérique et énergétique	8
1.1.2 Industrie du futur	17
1.2 Économie circulaire et immobilier	20
1.2.1 Retour sur le concept de l'économie circulaire	20
1.2.2 L'économie circulaire dans l'immobilier	23
1.3 La construction : une industrie en profonde mutation	29
1.3.1 Industrie de la construction : chiffres clés	30
1.3.2 Enjeux de la mutation	33
1.3.3 Défis à relever	38
1.3.4 Potentiels du secteur	42
1.3.5 De l'industrialisation du bâtiment au « bâtiment du futur »	43
1.3.6 « Bâtiment du futur » : tentative de définition	46
<b>Chapitre 2 ■ Bâtiment 4.0</b>	55
2.1 Introduction, contexte	55
2.2 « Bâtiment 4.0 » ?	59
2.3 La conception d'un bâtiment flexible à l'architecture simplifiée	61
2.3.1 Un principe : le plafond pour l'exploitant et le plancher pour le preneur	61
2.3.2 Le réseau du bâtiment : IP via fibre optique	61
2.3.3 Une architecture cellulaire sur une trame pour la gestion du confort à la place	64
2.3.4 Vers la garantie de confort à la place	65

2.3.5	La dérogation possible par l'utilisateur, via le NFC à la fenêtre	65
2.3.6	Le vitrage actif autonome et la suppression des stores et des BSO	66
2.4	Le principe constructif d'un bâtiment réversible	67
2.4.1	Pourquoi nos bâtiments doivent être de plus en plus évolutifs ?	67
2.4.2	La situation du marché	70
2.4.3	La mise en œuvre poussée de la réversibilité via des modules préfabriqués	70
2.4.4	Les choix constructifs	72
2.4.5	Penser à l'après grâce à l'approche plateforme	73
2.5	Un bâtiment <i>smart multipreneur</i> , simplifié pour les utilisateurs	74
2.5.1	Rappel sur les critères du bâtiment <i>smart</i>	74
2.5.2	Quatre poches de valeur dans les bâtiments tertiaires	75
2.5.3	Une couverture 4G/5G omniprésente et un WifiGuest simple d'accès	76
2.5.4	Des lieux où on se sent bien : la mise en œuvre des principes de la biophilie	77
2.5.5	Une application dédiée au bâtiment et sécurisée	77
2.5.6	La disponibilité d'espaces adaptés à mes besoins, grâce à la mutualisation	79
2.5.7	La sécurité des personnes via un portillon numérique	79
2.6	Un bâtiment intelligent avec garantie de performance	80
2.7	Un bâtiment intelligent avec de nouveaux services pour le promoteur	82
2.7.1	Une conception qui respecte le Ready2Services	82
2.7.2	Concevoir la plateforme logicielle du bâtiment : vers un OS du bâtiment	82
2.7.3	Une suite d'outils numériques pour le promoteur	84
2.7.4	De nouveaux services à destination des investisseurs	84
2.8	Un bâtiment à « économie positive » pour une meilleure valorisation	85
2.8.1	La production locale des ressources nécessaires	86
2.8.2	L'ouverture vers le quartier pour des services complémentaires	88
2.8.3	La blockchain comme carburant possible de cette économie locale	88
2.8.4	Valoriser un tel bâtiment auprès des investisseurs	89

2.9 Des bâtiments à énergie positive vers des quartiers à impact positif	90
2.9.1 Un enjeu clé de développement et d'attractivité	90
2.9.2 Les tendances de la ville durable	91
2.9.3 Un sujet majeur : l'optimisation de la dépense publique	92
2.9.4 Exemple : UrbanEra® une démarche sur mesure au service des collectivités	93
<b>Chapitre 3 ■ Concepts, outils et technologie</b>	<b>95</b>
3.1 Nouveaux modes constructifs	95
3.1.1 Construction modulaire et hors-site	96
3.1.2 Fabrication additive et impression 3D	100
3.1.3 Matériaux durables et innovants	108
3.2 Nouveaux outils de management de projet	113
3.2.1 PLM (Product Life-cycle Management)	113
3.2.2 BIM (Building Information Management)	119
3.2.3 BLM (Building Life-cycle Management)	123
3.3 Nouvelles technologies	126
<b>Chapitre 4 ■ Stratégies et déploiement</b>	<b>143</b>
4.1 Rôle de la recherche et de l'innovation	143
4.1.1 Contexte de la recherche dans l'UE	143
4.1.2 Contexte de la recherche en France	145
4.1.3 Quelle recherche et innovation pour le Bâtiment 4.0 ?	148
4.1.4 Formes et modalités de la recherche	155
4.2 Formation et montée en compétences	157
4.2.1 Les mutations numérique et énergétique : quel impact sur le travail et les métiers ?	157
4.2.2 Évolution des métiers et des compétences dans le bâtiment	158
4.2.3 Nature des futurs postes et métiers	159
4.2.4 Les métiers liés à la gestion de l'énergie	161
4.2.5 Métiers liés au bâtiment intelligent	168
4.2.6 Métiers liés au BIM	170
4.2.7 Autres métiers	173
4.2.8 Les organismes de formation face à la mutation numérique et énergétique	174
4.3 Outils juridiques à déployer	178
4.3.1 Le droit ne précède pas l'innovation	178
4.3.2 Le droit évolue en permanence	179

4.3.3 Le droit peut organiser le temps long	180
4.3.4 Le droit peut simplifier des relations pluripartites complexes	181
<b>Chapitre 5 ■ Études de cas</b>	<b>183</b>
5.1 The Black Swans (Strasbourg)	183
5.1.1 Introduction	183
5.1.2 Genèse du projet	183
5.1.3 Acteurs du projet	186
5.1.4 Description du projet	186
5.1.5 Le projet final	190
5.2 La maison YHNOVA (Nantes)	190
5.2.1 Acteurs du projet	191
5.2.2 Le projet	192
5.2.3 La suite...	195
5.3 Écoquartier Confluence (Lyon)	195
5.3.1 Présentation générale de l'écoquartier Confluence	195
5.3.2 Quelques données sur le projet immobilier Sollys	196
5.3.3 Les acteurs du projet Eurêka Confluence	196
5.3.4 Objectifs visés de l'écoquartier	197
5.3.5 Contexte de l'étude : l'expérience blockchain pour <i>smart grids</i>	198
<b>Conclusion générale</b>	<b>203</b>
<b>Glossaire</b>	<b>207</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>215</b>
<b>Webographie</b>	<b>218</b>
<b>Index</b>	<b>221</b>

# Préface

Parce que la ville se transforme rapidement, parce que l'évolution des usages devient la norme, parce que l'économie collaborative pourrait devenir le modèle de performance dans une Europe qui cherche la croissance, le secteur immobilier doit aujourd'hui évoluer.

Cette mutation doit reposer sur une nouvelle valeur immobilière, indexée sur la qualité d'usage et de services, et non plus simplement sur l'emplacement. La valeur globale du bâtiment trouve, en effet, désormais ses sources dans la gestion locative à distance, le pilotage des consommations d'énergie, l'optimisation des espaces et des équipements.

Dans un contexte où les parcours de vie professionnels et privés s'interpénètrent de plus en plus, les acteurs du marché travaillent dans le sens d'une mobilité urbaine renforcée, liée aux transports et à la fluidité des parcours résidentiels. Ils œuvrent, par exemple, à une plus grande multifonctionnalité des bâtiments, à l'instar de l'immobilier tertiaire vacant qui trouve de nouveaux usages dans le besoin de logement des particuliers.

L'immobilier monofonctionnel se transforme ainsi, à l'échelle des quartiers et des villes, au profit d'un rééquilibrage de l'offre et de la demande et d'une diversification des biens et des services de proximité. L'avènement de cet immobilier « serviciel » transforme la chaîne de valeur du logement et du tertiaire sous l'effet de la transition digitale, et nous invite à repenser nos modèles en faveur d'un immobilier plus adapté aux nouveaux besoins des individus et des entreprises.

Dans ce contexte, le moment est donc venu de repenser nos modèles en faveur d'un immobilier plus adapté aux nouveaux besoins des individus et des entreprises. En effet, la construction voit depuis plusieurs décennies sa productivité horaire baisser dans les pays aux économies avancées, en raison notamment du fonctionnement en silos — avec une faible intégration des sous-traitants dans la réflexion des donneurs d'ordres — à la différence de l'automobile ou de l'aéronautique, mais aussi du fait du sous-investissement du secteur dans les nouvelles technologies. Cette baisse de la productivité, à la différence du reste de l'économie, expose le secteur au risque de ne plus savoir répondre aux besoins des états développés. Et, ainsi, de courir le risque d'être disrupté, remplacé par d'autres acteurs légitimes... ou inattendus, venant d'autres filières.

Il s'agit de développer un nouvel écosystème qui proposera un modèle de ville intelligente tourné vers l'avenir. Les capteurs de données, les systèmes de performance énergétique et de pilotage des immeubles, la construction hors-site, les drones, sont autant d'outils qui nous permettent à présent d'économiser l'énergie consommée, mais aussi d'accélérer la chaîne de construction, tout en faisant des économies d'échelle pour une ville plus responsable et préparée aux enjeux climatiques et démographiques auxquels nous devons d'ores et déjà faire face.

Le *Building Information Modeling* (BIM) permet, par exemple, d'optimiser les coûts sur l'ensemble de la chaîne de construction et d'aménagement et de concevoir un bâti davantage évolutif, optimisé et durable. L'intelligence artificielle devient également un outil pour établir des projections de modèles économiques plus flexibles, grâce à l'analyse et l'exploitation des données, comme les flux d'activités des usagers.

Outre la révolution du BIM, de très nombreuses opportunités technologiques, issues de l'« industrie 4.0 », émergent et s'installent progressivement dans les processus de la construction, annonçant les bases de la « construction 4.0 ».

Cette dynamique va radicalement améliorer la productivité de cette filière, doper la compétitivité de la France dans ce domaine et apporter une meilleure expérience client, grâce notamment à la construction hors-site.

Cet ouvrage propose une grille de lecture complète permettant à l'ensemble des acteurs — ingénierie, entreprises du BTP, aménageurs publics, grandes écoles — d'appréhender les enjeux, les concepts, les technologies ainsi que les impacts de cette révolution industrielle sur le bâtiment et la ville.

La révolution digitale ouvre des perspectives de modernisation pour notre industrie. Elle constitue une opportunité de réduction des coûts et d'accélération de la construction de logements. Elle fournit des réponses à la demande d'économie du partage, de réseaux collaboratifs et de création de communautés. Elle nous permet de faire face aux enjeux d'une ville plus ouverte, plus durable, plus inclusive, qui génère du lien social, de nouvelles solidarités, du bien-être pour les habitants.

Je vous encourage à lire, comme moi, cet ouvrage qui apporte vraiment toutes les clés de compréhension de la construction 4.0, qui pourrait contribuer à faire émerger de nouveaux modèles économiques, donc de nouveaux emplois, en particulier dans le domaine de la transition écologique, enjeu majeur des prochaines années.

**Bernard MICHEL**

Président de VIPARIS

Président de l'association Real Estech Europe

# Remerciements

Cet ouvrage est le fruit de plusieurs mois de recherches sur un sujet émergent et complexe.

Merci à Bernard MICHEL, Président de VIPARIS et de Real Estech Europe d'avoir accepté de préfacier cet ouvrage.

Merci à Gonçalo DUCLA SOARES, référent BIM de Bouygues Immobilier, pour son appui et pour sa grande valeur ajoutée dans le cadre de la rédaction de ce livre notamment sur la partie BIM et nouvelles technologies.

Merci à Olivier SELLES, anciennement Responsable de Programme, pour ses contributions dans le cadre de son étude sur le bâtiment 4.0 chez Bouygues Immobilier.

Merci à Julien BRISEBOURG, référent Bois et Construction Modulaire de Bouygues Immobilier, pour sa contribution dans le cadre de l'étude de cas des tours Black Swan à Strasbourg.

Merci à Maître Olivier ORTEGA, avocat associé au cabinet LexCity® pour sa contribution sur la partie juridique pour la ville durable.

Merci à Monsieur Emmanuel DI GIACOMO, responsable Europe développement des écosystèmes BIM d'Autodesk, pour ses contributions sur la partie BIM et nouvelles technologies.

Enfin, nous souhaitons particulièrement remercier nos familles pour leur patience et leur compréhension.



# Abréviations

- BaaS : *Building as a Service*.
- BIM : *Building Information Modeling*.
- BLM : *Building Life-cycle Management*.
- BSO : brise-soleil orientable (stores extérieurs orientables).
- CAO : conception assistée par ordinateur.
- CFA : courants faibles.
- CFO : courants forts.
- DEFI&Co : projet « Développer l'expertise future pour l'industrie et la construction ».
- DfMA : *Design for Manufacturing and Assembly*.
- IA : intelligence artificielle.
- IDI : immeuble à destination indéterminée.
- IHM : *Interface Homme Machine*.
- IP : *Internet Protocol*.
- FTTO : *Fiber to the Office*.
- GTB : gestion technique du bâtiment.
- GPON : *Gigabit Passive Optical Network*.
- HaaS : *Hardware as a Service*.
- NFC : *Near Field Contact*.
- OLT : *Optical Line Termination*.
- ONT : *Optical Network Termination*.
- ONU : *Optical Network Unit*.
- OS : *Operating System*.
- OSH : *Office Switch Home*.
- PoE : *Power over Ethernet*.
- PLM : *Product Life-cycle Management*.
- RFID : *Radio Frequency Identification*.
- SBA : *Smart Building Alliance*.
- TIC : technologies de l'information et de la communication.
- VDI : voix, données, images.



# Introduction générale

Le monde change plus vite que jamais. Prenons l'une des grandes tendances mondiales qui bouleverse le BTP : selon l'ONU, la population mondiale devrait passer de 7,3 milliards en 2015 à 11,2 milliards d'ici la fin du siècle, soit une augmentation d'environ 53 %. En considérant une moyenne de trois personnes par ménage, soit 1,2 milliard de ménages, associé à un facteur démographique de 8 % de la population totale, il faudrait construire 2 milliards de nouveaux logements avant la fin du siècle, c'est-à-dire environ 100 000 nouveaux logements par jour ouvré à l'échelle du monde jusqu'à la fin du siècle pour satisfaire à la demande<sup>1</sup>.

En plus de logements abordables, cette population supplémentaire aura besoin d'infrastructures sociales, de transports et de services publics.

Toute amélioration de la productivité du BTP et l'adoption réussie de processus novateurs modernes auront un impact majeur. Par exemple, une augmentation de 1 % de la productivité du BTP à l'échelle du monde pourrait faire économiser 100 milliards de dollars par an<sup>2</sup>.

Alors que la plupart des autres industries ont subi d'énormes changements au cours des dernières décennies et ont tiré parti des innovations apportées aux procédés et aux produits, le BTP a hésité à exploiter pleinement les dernières opportunités technologiques et, par conséquent, sa productivité a stagné voire baissé. Ce bilan peu satisfaisant peut être attribué à plusieurs problèmes internes et externes : une industrie très peu capitalistique, une fragmentation importante et persistante, une collaboration insuffisante entre acteurs, une main-d'œuvre qualifiée vieillissante, des enjeux de santé et de sécurité, les difficultés à attirer des nouveaux talents, le transfert de connaissances insuffisant d'un projet à l'autre, un niveau de non-qualité significatif, un taux de sinistralité croissant pour n'en nommer que quelques-uns.

Face à de tels défis, le BTP a une obligation de se transformer. Sa transformation aura d'autres impacts :

- sur la société au sens large, en réduisant les coûts de construction ;

---

1. World Economic Forum, « The world needs to build 2 billion new homes over the next 80 years », mars 2018.

2. World Economic Forum, « Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology », 2016.

- sur l’environnement, en minimisant voire supprimant l’utilisation de la matière première dite « non durable » et en rendant les bâtiments plus écologiques ;
- et sur l’économie, en réduisant le déficit en infrastructures mondiales et en stimulant le développement économique en général.

Cette transformation passe nécessairement par l’industrialisation du BTP permettant une forte amélioration de la productivité et de l’efficacité de la filière grâce à la numérisation, aux technologies innovantes et aux nouvelles techniques de conception, de construction et d’exploitation de l’environnement bâti.

La filière française de la construction rassemble 409 500 entreprises (dont 93 100 sous le régime de la microentreprise) et emploie 1 427 000 actifs (dont 1 038 000 salariés et 389 000 artisans). Ses activités recouvrent un champ très large de métiers qui se répartissent sur toutes les phases de la chaîne de valeur : définition du projet, conception, exécution<sup>1</sup>.

La filière française de la construction fait face aujourd’hui à plusieurs défis majeurs. En premier lieu, construire suffisamment de logements au regard de la demande française. En second lieu, maîtriser les coûts dans le but d’offrir des bâtiments abordables à des usagers dont la solvabilité, déjà fragile, risque de se réduire davantage avec la remontée prévisible des taux d’intérêt dans la zone euro. Ce défi impose aux acteurs de la filière de réussir à maîtriser les coûts (de prestations intellectuelles, de main-d’œuvre, des matériaux, etc.) sans pour autant perdre leur marge de manœuvre en termes de créativité, d’innovation et d’analyses. En troisième lieu, répondre aux nouvelles exigences des clients (maîtres d’ouvrage), et surtout des clients finals (usagers), qui attendent des prestations de qualité dans un univers fortement concurrentiel. Ce défi de taille pousse les acteurs de la filière à l’interdisciplinarité et à l’échange. En quatrième lieu, s’adapter à la profusion réglementaire, enfin, est vital pour les acteurs. Il s’agit pour eux de développer les outils permettant de maîtriser la complexification de la réglementation pour ne pas avoir à la subir<sup>2</sup>.

Troisième pourvoyeur d’emplois en France, le secteur de la construction français a su maintenir son niveau d’emploi ainsi que celui de sa marge nette malgré la conjoncture morose. Les grands groupes français du secteur ont accru leurs investissements depuis quelques années pour se moderniser et lancer leur révolution industrielle et numérique. Néanmoins,

---

1. COPREC, « Livre Blanc – Amélioration la gestion du risque dans la construction », février 2018.

2. COPREC, « Livre Blanc – Amélioration la gestion du risque dans la construction », février 2018.

la construction accuse un net retard par rapport aux autres secteurs de l'industrie.

La filière construction doit donc faire face aujourd'hui à des enjeux stratégiques majeurs pour maintenir une croissance rentable, i.e. proposer des produits et des services technologiques innovants, améliorer la productivité et accélérer la réalisation des projets.

Le numérique peut donner une longueur d'avance décisive dans le bâtiment. Selon des études, à l'heure actuelle, plus de la moitié des projets de construction demeurent non créateurs de valeur, en raison d'erreurs et de défauts, de délais d'attente et de recherche, de processus de construction non interopérables, non coordonnés et d'un manque de communication entre les différents acteurs. Grâce à la numérisation, il sera possible, à l'avenir, de mettre à profit ces potentiels de création de valeur.

La quatrième révolution industrielle, ou l'Industrie 4.0, est marquée par le développement d'un ensemble de technologies issues du numérique : Big Data, intelligence artificielle, Cloud, robotique, Internet industriel des objets, simulations numériques, BIM, réalité augmentée, impression 3D, fabrication additive, intégration horizontale et verticale des systèmes, cybersécurité... De nouvelles opportunités s'offrent à toutes les entreprises qui entendent accroître leur compétitivité, la qualité de leurs travaux et le respect des délais. Le cloisonnement des métiers de la construction pénalise en effet l'échange d'informations (autrement dit « interopérabilité »<sup>1</sup>) et la collaboration, freinant ainsi une industrialisation plus forte du processus constructif.

Il n'y a qu'à considérer l'émergence rapide du « BIM Connecté » (c'est-à-dire la modélisation collaborative des données du bâtiment interopérable et embarquée dans le Cloud en interaction et en temps réel

---

1. Les coûts associés à l'interopérabilité sont essentiellement définis en comparant un environnement fragmenté, non collaboratif et dépendant du papier à un environnement digital, collaboratif où une donnée est saisie une seule fois pour être exploitée ensuite à plusieurs reprises, sans effort complémentaire. En 2004, l'Institut national des standards et technologie (NIST) a publié une étude intitulée « Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the US Capital Facilities Industry » sur le coût des dysfonctionnements de communication et interopérabilité, dans le cadre d'un segment des marchés publics aux États-Unis d'un coût de construction de 374 milliards de dollars (Value of Construction Set in Place (OO) – US Census Bureau 2004b « Annual Value of Construction Set In Place » publié le 1<sup>er</sup> avril). Sans marginaliser une problématique complexe, le rapport NIST cherchait à répondre à la question suivante : « Combien coûte à l'industrie de construction la ressaisie de données ? ». Il a quantifié une perte annuelle de 15,8 milliards de dollars (soit entre 1 et 2 % du coût de construction du secteur), liée directement à l'échange fragmenté d'informations et de données.

avec l'Internet des Objets), la simulation numérique, la réalité virtuelle et augmentée, la conception générative, les drones, l'impression 3D, la préfabrication semi-automatisée et automatisée de composants en usine, les équipements autonomes, la fabrication additive, l'intégration verticale et horizontale des systèmes, les nouveaux matériaux de construction avancés, la plupart ayant maintenant atteint la maturité du marché...

De telles innovations permettent de nouvelles fonctionnalités tout au long de la chaîne de valeur, de la phase esquisse à la toute fin du cycle de vie d'un bien, en phase de démolition ou restructuration. À savoir :

- l'utilisation du Big Data et de l'analyse de données : les algorithmes génèrent de nouveaux indicateurs de performance à partir des énormes « lacs de données » créés à la fois pendant les phases de conception et de construction et pendant toute la durée de la phase exploitation assurant un retour d'expérience en temps réel ;
- la collaboration en temps réel entre tous les acteurs depuis l'amont vers l'aval en utilisant la puissance embarquée du Cloud ;
- la simulation virtuelle, la conception générative, le prototypage et la réalité virtuelle aident les concepteurs afin d'identifier les interdépendances en amont et de savoir précisément et optimiser en temps réel la performance environnementale, le confort thermique et énergétique et le coût global de leurs projets ;
- la réalité augmentée permet au maître d'ouvrage, à l'administration, aux investisseurs et aux utilisateurs finaux de rapidement comprendre le projet et d'y apporter leurs commentaires et de valider leurs projets en temps réel ;
- la validation en temps réel en amont du projet permet à des composants d'être préfabriqués « hors-site » en amont dans des usines modernes semi-robotisées ou robotisées améliorant des conditions de travail des ouvriers ;
- le suivi de tous les composants préfabriqués en temps réel grâce aux objets connectés via l'Internet des Objets ;
- la livraison juste-à-temps de composants préfabriqués hors-site pour mise en œuvre immédiate dès leur arrivée sur site ;
- les outils avancés de planification de projet à base d'algorithmes pour optimiser l'affectation du personnel et l'ordonnancement des tâches ;
- la connectivité mobile et la réalité augmentée permettant aux entreprises d'établir une communication et une coordination en temps réel ;

- la maintenance prédictive permettant à l'exploitant d'optimiser les interventions de maintenance et de pérenniser les installations dans le temps ;
- les simulations énergétiques dynamiques de l'avatar stimulées en temps réel par des data issues des objets connectés du bien physique permettant à l'exploitant la conduite et le pilotage des installations et une garantie de performance énergétique.

Le « BIM Connecté » fournit à toutes les parties prenantes une représentation numérique de toutes les caractéristiques d'un ouvrage, non seulement pendant la phase de conception, mais aussi tout au long de son cycle de vie. Pour la première fois de l'histoire du BTP, tous les acteurs ont la possibilité de rassembler en temps réel les données conceptuelles, temporelles, financières, environnementales, énergétiques, etc. dans une seule et même base de données dynamique et vivante.

Cette base de données dynamique et vivante permettant du *Better Information Management* (autrement dit une meilleure gestion des informations) assure que les bonnes informations sont disponibles au bon moment afin de toujours prendre de bonnes décisions.

Ce progrès impacte notre vision du bâtiment et de la ville de demain. La révolution numérique ouvre de nouvelles perspectives pour la conception et la réalisation des projets urbains : ils s(er)ont beaucoup plus connectés, industrialisés et automatisés. Nous rentrons résolument dans l'ère de la « Construction 4.0 ».

Cet ouvrage a pour ambition d'aider les lecteurs, s'intéressant au concept de la Construction 4.0, à avoir une grille de lecture la plus complète possible leur permettant d'appréhender les enjeux, les concepts, les technologies ainsi que les impacts de cette révolution industrielle sur le bâtiment et la ville.

Cet ouvrage pourra servir ainsi de point d'appui méthodologique pour les différents acteurs de la chaîne de construction qui s'intéressent de près ou de loin à la construction de demain. Il servira également aux acteurs de la formation : enseignants, formateurs et étudiants.

Cet ouvrage est construit en cinq parties complémentaires :

- La première partie se veut introductive. On y explique les défis liés aux transitions numériques et énergétiques actuels auxquels le secteur de la construction fait face, on y définit également les concepts de base nécessaires à la compréhension des parties suivantes.
- La deuxième partie, à visée technique et technologique, propose notre vision du concept du Bâtiment 4.0.