

Karim Beddiar | Aurélie Cléaux | Pascal Chazal

# CONSTRUCTION HORS-SITE

**DfMA, modulaire, BIM :  
l'industrialisation du bâtiment**

**DUNOD**

Cet ouvrage a été réalisé avec le soutien de Bouygues Batiment International, CESI et Hors-site.

Direction artistique : Élisabeth Hébert

Illustration de couverture : HTA, Greystar, Tide Construction

Mise en pages : Nord Compo

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, 2021

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-081133-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> 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>	1
<b>Remerciements</b>	3
<b>Abréviations</b>	5
<b>Introduction générale</b>	7
<b>Chapitre 1 ■ Éléments introductifs</b>	11
1.1 La construction face aux mutations actuelles	11
1.1.1 Un nécessaire changement de paradigme	11
1.1.2 L'économie circulaire dans la construction	13
1.1.3 Mutation du secteur de la construction	16
1.2 De la construction traditionnelle à la construction industrialisée	22
1.2.1 Une formidable passerelle entre l'industrie et la construction	23
1.2.2 Vers les nouveaux modèles du bâtiment	24
1.3 Conclusion	37
<b>Chapitre 2 ■ Modes constructifs hors-site</b>	39
2.1 Définition	39
2.2 Les différents modes constructifs hors-site	40
2.2.1 Structure 2D et construction en panneaux	41
2.2.2 Composants et assemblages techniques	48
2.2.3 Construction modulaire et volumétrie	53
2.2.4 Système de composants ( <i>kit of parts</i> )	60
2.2.5 Impression 3D	61
2.3 Avantages et inconvénients de la construction hors-site	62
2.3.1 Avantages	62
2.3.2 Inconvénients et idées préconçues	72
2.4 Coûts et économie d'échelle	78
2.4.1 Design	79
2.4.2 Matériaux	80
2.4.3 Main-d'œuvre	81
2.4.4 Transport et logistique	82

2.4.5 Leviers d'optimisation	84
2.4.6 Impact du planning sur le business model des investisseurs	85
2.5 Conclusion	87
<b>Chapitre 3 ■ Industrialisation et digitalisation</b>	
<b>de la construction hors-site</b>	<b>89</b>
3.1 Le « hors-site » : une nouvelle approche de construction	89
3.1.1 La fin d'un modèle de construction ?	89
3.1.2 Rôle des parties prenantes dans la construction hors-site	93
3.2 Nouveaux modes de management de projet mobilisés	95
3.2.1 Lean management	96
3.2.2 PLM ( <i>Product Lifecycle Management</i> )	98
3.2.3 BIM ( <i>Building Information Management</i> )	103
3.2.4 Jumeaux numériques	106
3.2.5 BLM ( <i>Building Lifecycle Management</i> )	107
3.3 Technologies mobilisées	108
3.3.1 Intelligence artificielle, conception paramétrique et générative	108
3.3.2 Robotique	108
3.3.3 Réalité augmentée et réalité virtuelle	110
3.3.4 Blockchain	112
3.4 Plateformes numériques pour la construction hors-site	113
3.4.1 Contexte	114
3.4.2 Plateformes numériques en planification et conception	115
3.4.3 Plateformes numériques pour les activités de construction	121
3.4.4 Possibilités d'optimisation dans les écosystèmes numériques	132
3.4.5 Plateforme numérique pour la mise en service et l'exploitation	134
<b>Chapitre 4 ■ Stratégies et leviers du déploiement</b>	<b>139</b>
4.1 Introduction	139
4.2 Recherche et innovation	142
4.2.1 Recherche et innovation en Europe	142
4.2.2 Contexte de la recherche en France	144
4.2.3 Recherche et innovation dans la construction hors-site	145
4.3 Formation et montée en compétences	148
4.3.1 Mutation numérique et évolution des métiers dans la construction	149
4.3.2 Les organismes de formation face à la construction hors-site	151
4.3.3 Les architectes face au défi de la construction hors-site	153
4.3.4 Nouvelles compétences et métiers dans la construction hors-site	155
4.4 Outils juridiques à déployer	167

<b>Chapitre 5 ■ Études de cas</b>	<b>171</b>
5.1 George Street – Royaume-Uni	171
5.1.1 Fiche de renseignement du projet	171
5.1.2 Une nouvelle référence de tour modulaire	172
5.1.3 La valeur ajoutée par la conception	174
5.1.4 Sortir du sol !	176
5.1.5 Installation et levage des modules	178
5.2 Tours Clement Canopy – Singapour	184
5.2.1 Fiche de renseignement du projet	184
5.2.2 Contexte singapourien et développement de la construction modulaire	184
5.2.3 Conception et modularisation	186
5.2.4 Fabrication des modules et installation	187
5.2.5 Réduction des nuisances et amélioration de la productivité	188
5.2.6 Défis relevés sur ce projet	188
5.3 Les logements abordables de BoKlok – Suède	189
5.3.1 Introduction	190
5.3.2 Stratégie du logement abordable et durable par BoKlok	190
5.3.3 BoKlok et son approche de la construction industrialisée	195
5.3.4 La R&D chez BoKlok	197
5.4 Les écoles modulaires – Royaume-Uni	197
5.4.1 Introduction	198
5.4.2 Fonctionnement et raisons du succès du modèle	199
5.4.3 En synthèse	205
5.5 Cougnaud Campus – France	206
5.5.1 Un projet orienté « usage »	206
5.5.2 Démarche BIM et processus collaboratif	208
5.5.3 Processus constructif et enveloppe	209
5.5.4 Un bâtiment labellisé « bâtiments à énergie positive et réduction carbone » (E+C-)	211
5.5.5 Un bâtiment connecté	213
5.5.6 Conclusion	214
<b>Conclusion générale</b>	<b>215</b>
<b>Glossaire</b>	<b>224</b>
<b>Bibliographie et webographie</b>	<b>226</b>
<b>Index</b>	<b>233</b>



# Préface

En 2015, une vidéo marque les esprits : une tour de 57 étages vient d'être édifée dans le Hunan, en Chine, en moins de trois semaines. La préfabrication de modules dans un site fermé, installé à proximité du chantier, associée à une technique très élaborée d'assemblage sur site, a permis l'exploit sur lequel beaucoup d'entre nous avaient d'abord porté un regard amusé, mais distant. Comme si la construction modulaire éprouvée dans des terres lointaines ne nous concernait pas. D'autres exemples similaires firent progressivement prendre conscience des mérites de la construction hors-site : économie de matériaux, chantier propre, bas carbone, délais réduits, contrôle qualité efficace...

Mais, dans le même temps, l'idée de favoriser ainsi une industrialisation de la construction heurtait nos schémas de pensée les mieux établis : les Français accepteraient-ils un mode constructif pouvant entraver leur désir de personnaliser les lieux d'habitat ? pouvait-on imaginer de favoriser le déclin des professions artisanales du bâtiment – qui constituent une vraie richesse pour notre pays en participant grandement à la vitalité de nos territoires ?

Désormais, chacun a pu faire litière de ces freins supposés. On a compris combien la construction hors-site permettait de varier à l'envie les modules préfabriqués, un peu comme l'industrie automobile a développé une variété presque infinie d'équipements conférant à chaque véhicule un caractère propre. Quant au risque de perte d'activité artisanale, il doit être résolument écarté tant les besoins de main-d'œuvre vont peser durablement sur les filières du bâtiment. Celles-ci sont appelées à prendre toute leur part dans l'accélération et l'amplification massives de la rénovation environnementale des bâtiments, laquelle devrait assurer le plein-emploi du secteur pour les trente prochaines années.

En somme, en décrivant la construction hors-site et les espoirs qu'elle rassemble, cet ouvrage vient à point nommé : il nous montre en termes accessibles et nourris d'exemples comment la filière du bâtiment peut rapidement investir ce mode constructif pour améliorer la productivité de l'acte de construire, valoriser la qualification de l'emploi, préserver l'environnement et, à terme, diminuer significativement les coûts de construction. N'est-ce pas ce qu'un grand pays bâtisseur comme le nôtre doit espérer de son industrie immobilière : qu'à l'instar des autres branches de l'industrie, elle réalise la mue qui la fera radicalement basculer dans le XXI<sup>e</sup> siècle ?

Philippe Pelletier  
Président du Plan Bâtiment durable



# Remerciements

Cet ouvrage est le fruit de plusieurs mois de recherche, de veille et de beaucoup d'efforts sur un sujet émergent et interdisciplinaire.

Notre reconnaissance et nos remerciements vont d'abord à Monsieur Philippe Pelletier, président du Plan Bâtiment durable, pour avoir accepté de préfacer cet ouvrage.

Merci également à Monsieur Alain Waha, dirigeant de Cogital, pour sa disponibilité et sa contribution précieuse sur la partie « Plateformes digitales appliquées à la construction hors-site », qui a permis d'enrichir et d'illustrer les concepts présentés dans le chapitre 3.

Merci à Maître Stephan Lesage-Mathieu, avocat au barreau de Paris, LPA-CGR, pour sa contribution sur la partie juridique du chapitre 4.

Enfin, merci à Madame Emna Attouri, ingénieure de recherche chez Bouygues Construction Grand Est, pour sa contribution sur la démarche DfMA.

Merci aux entreprises ayant accepté de nous fournir des études de cas et des illustrations ; parmi elles : HTA Architects, Cougnaud, Bouygues, BoKlok, BeSteel, Ossabois, Laing O'Rourke, DMD Modular, Mac Avoy...

Cet ouvrage a été rédigé en grande partie durant la pandémie de la COVID-19 (printemps/été 2020), aussi nous n'oublions pas de remercier particulièrement nos familles pour leur patience et leur compréhension.



# Abréviations

- ACIM : Association des constructions industrialisées et modulaires.
- ACV : analyse du cycle de vie.
- AIM : *Asset Information Model*.
- BBC : bâtiment basse consommation.
- BePOS : bâtiment à énergie positive.
- BIM : *Building Information Management, Modeling* ou *Model*.
- BLM : *Building Lifecycle Management*.
- BOM : *Bill of Materials*.
- CAFM : *Computer Aided Facility Management*.
- CAPEX : Capital Expenditure.
- CIFE : Centre of Integrated Facility Engineering (à l'université de Stanford – Californie).
- CLT : *Cross Laminated Timber*.
- CORELIAS : conception – réalisation – livraison – assemblage.
- DCE : dossier des ouvrages exécutés.
- DfMA : *Design for Manufacturing and Assembly*.
- EnR : énergie renouvelable.
- EPDM : éthylène – propylène – diène monomère.
- HQE : haute qualité environnementale.
- ICF : *Insulated Concrete Formwork*.
- IoT : *Internet of Things*.
- IPD : *Integrated Project Delivery*.
- LGSF : *Light Gauge Steel Frame*.
- LPS : *Last Planner System*.
- MES : *Manufacturing Execution System*.
- MIC : *Modular Integrated Construction*.
- MMC : *Modern Methods of Construction*.
- NTIC : nouvelles technologies information et communication.
- OPEX : *Operational Expenditure*.
- OSB : *Oriented Strand Board*.

## Abréviations

- OSC : *Offsite Construction*.
- OSM : *Offsite Manufacturing*.
- OSP : *Offsite Production*.
- PLM : *Product Lifecycle Management*.
- PPVC : *Prefabricated Prefinished Volumetric Construction*.
- RE 2020 : Réglementation environnementale 2020.
- SBA : *Smart Buildings Alliance*.
- VDC : *Virtual Design and Construction* (i.e. BIM 4D).

# Introduction générale

*« Nous devons changer en profondeur notre manière de produire et de consommer [...] L'objectif est de passer d'une économie de cow-boy à une économie de cosmonaute. Notre planète, c'est un peu notre vaisseau ! »*

Nicolas Hulot, 2016

Nous le savons tous, nous devrions améliorer notre hygiène de vie et faire du sport ; pourtant, nous ne changeons pas véritablement nos habitudes... la construction, qui n'est pas le moindre de nos problèmes, souffre d'un immobilisme similaire ! **La construction utilise plus de la moitié des ressources de la planète, et génère le flux de déchets le plus important au monde.** Elle est inscrite dans une économie linéaire : on identifie un besoin, puis on conçoit le bâtiment, avec une vision somme toute assez définitive. Les adages suivants sont toujours d'actualité : « Investir dans la pierre. », « Construire en dur. »... Mais faut-il encore penser la construction comme au XIX<sup>e</sup> siècle ? La population mondiale était alors de 1,5 milliard, contre 7,5 milliards aujourd'hui et plus de 10 milliards annoncés en 2050. Demande grandissante, ressources limitées, nous devons apprendre à faire plus avec moins : **entrer dans une économie circulaire est une nécessité absolue.**

Depuis des millénaires, l'être humain utilisait pour construire son habitat les matériaux trouvés à proximité du lieu de construction, dans une économie parfaitement circulaire, utilisant de la pierre ou du bois. Quand le bâtiment devenait trop vieux, on réemployait les matériaux de manière très vertueuse à une nouvelle construction.

Après la Seconde Guerre mondiale, il a fallu reconstruire beaucoup et rapidement. Le béton s'est imposé dans la plupart des pays occidentaux comme le matériau de construction par excellence. La culture ancestrale de la pierre, du bois et de la terre, est devenue celle du béton, mais **l'organisation est restée centrée sur le chantier.**

Pendant les Trente Glorieuses, la construction a plutôt bien répondu aux besoins, sans se préoccuper beaucoup de l'environnement de l'architecture et des usages. Mais, depuis vingt ans, les enjeux environnementaux conjugués aux exigences de qualité ont imposé de très fortes contraintes. Au fil du temps, les opérations immobilières et les bâtiments sont devenus complexes,

**pourtant l'organisation des métiers n'a pas évolué.** Elle fonctionne toujours en silo (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, BET, entreprises...), comme il y a cinquante ans, lorsque les bâtiments étaient simples.

**Les résultats en sont une productivité en baisse.** Là où les autres industries ont fait des progrès remarquables, nous proposant des produits, automobiles, mobilier, électroménager, etc. de plus en plus qualitatifs et de plus en plus accessibles financièrement, **la construction fait le contraire : la qualité se dégrade et les bâtiments sont de plus en plus coûteux !** Pour le client, public ou privé et surtout pour l'utilisateur final, les constructions ne sont plus à la hauteur des attentes, ni en qualité, ni en délais de réalisation, ni en prix, laissant sur la touche de nombreuses familles qui ne peuvent avoir accès à un logement digne.

Les entreprises de construction dégagent des marges bien insuffisantes pour investir ou faire de la R&D et reposent sur **une organisation de chantier très dépendante de la bonne qualité de la main-d'œuvre.** Malheureusement nous observons, dans tous les métiers du bâtiment, une raréfaction de la main-d'œuvre qualifiée ; les départs à la retraite ne sont pas compensés par l'arrivée de jeunes travailleurs, peu enclins à se tourner vers ces métiers difficiles ; la crise de 2008 a masqué un peu ce phénomène, mais le petit redémarrage des dernières années montre déjà que **les ouvriers qualifiés ne sont plus là et que les difficultés vont s'accélérer.**

La crise de la COVID-19 va sans aucun doute encore accélérer le mouvement et les difficultés : comment créer de bonnes conditions sanitaires sur le chantier ? Les ouvriers étrangers vont-ils pouvoir continuer à venir y travailler ?

Pour résumer, les ressources se raréfient, les bâtiments deviennent de plus en plus complexes, la main-d'œuvre qualifiée se raréfie et nos usages ne changent pas ou très peu. Il est logique que **notre productivité ne réponde plus aux enjeux du XIX<sup>e</sup> siècle !**

**Et si la solution venait de la construction hors-site ?** En tout cas, hors de nos frontières, tout porte à croire que ce mode constructif est une alternative très efficace pour relever le défi à venir en matière de construction. Construire hors-site, c'est réaliser en deux temps. En premier lieu, on prépare efficacement les éléments dans un atelier ou une usine : on utilise pour cela une main-d'œuvre qui n'est pas nécessairement une main-d'œuvre bâtiment, plus facile à trouver. Dans un deuxième temps, on livre sur le chantier où l'on assemble les éléments qui seront ensuite parachevés sur place. C'est un changement complet de paradigme : l'industrialisation du processus de production prédomine, le sacro-saint « chantier » devient un « site d'assemblage

du bâtiment », les outils numériques prennent toute leur place dans l'optimisation et la rationalisation de la conception à l'exécution. C'est ce que nous allons essayer d'expliquer dans ce livre.

Cet ouvrage ambitionne d'aider les lecteurs s'intéressant à la construction hors-site et de leur fournir la grille de lecture la plus complète possible leur permettant d'appréhender les concepts, la pratique et les impacts de ce mode constructif sur le bâtiment et la ville. Il pourra servir de point d'appui méthodologique aux différents acteurs de la chaîne de construction qui s'intéressent de près ou de loin à la construction hors-site. Il servira également aux acteurs de la formation : enseignants, formateurs et étudiants.

Il est construit en cinq chapitres complémentaires :

- Le premier chapitre se veut introductif. On y explique les défis (énergétiques, environnementaux, sanitaires, économiques...) auxquels le secteur de la construction fait face. On y définit également les concepts de base nécessaires à la compréhension des chapitres suivants.
- Le second chapitre, à visée technique et technologique, décrit les différents modes constructifs hors-site et explicite notre vision du concept du bâtiment hors-site.
- Le troisième chapitre présente quelques concepts, outils et technologies numériques permettant de concevoir, construire et exploiter le bâtiment hors-site.
- Le quatrième chapitre traite des concepts, des méthodologies et des stratégies permettant de mettre sur pied le bâtiment hors-site.
- Enfin, le cinquième chapitre est consacré à la présentation de plusieurs cas réels illustrant la diversité de la construction hors-site. Ces études de cas sont décrites sous diverses facettes, afin de permettre au lecteur d'apprécier l'étendue de ce concept constructif.

La construction hors-site représente une solution pragmatique et pertinente permettant de relever le défi de la productivité et de réussir la transition environnementale et numérique de notre secteur. Notre objectif est de mieux faire comprendre au lecteur cette révolution en cours, notamment en France. Le sujet étant vaste et complexe, la vision présentée ici sera, bien entendu, non exhaustive et ne couvrira pas tous les champs mobilisés par ce sujet pluridisciplinaire.



# Chapitre 1

# Éléments introductifs

Le bâtiment sera façonné à l'aune des transitions écologique, énergétique et numérique. L'ambition de ce chapitre introductif est d'apporter les connaissances nécessaires pour bien appréhender les chapitres suivants. Nous présenterons ainsi les concepts de base, puis nous donnerons quelques clés de compréhension de la genèse de la construction hors-site comme concept.

## 1.1 La construction face aux mutations actuelles

### 1.1.1 Un nécessaire changement de paradigme

L'humanité ne peut ignorer la crise climatique qui la menace. Le secteur de la construction en est complice, par les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dues à l'accroissement de l'urbanisation, de la production de matériaux et de l'utilisation de combustibles fossiles. Si les différents pays, notamment européens, ont exprimé leur engagement commun de prendre des mesures à l'échelle nationale et de lutter contre le changement climatique, ils se concentrent encore principalement sur leurs développements propres.

En 2018, la construction et l'exploitation des bâtiments représentaient 38 % de la consommation d'énergie finale mondiale et plus de 40 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie<sup>1</sup>, à l'exclusion de la consommation d'énergie liée au transport des matériaux de construction vers les sites de construction.

L'exploitation de bâtiments (chauffage, refroidissement, éclairage, etc.) représente 28 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> et 11 % sont attribués aux émissions de CO<sub>2</sub> incorporé, c'est-à-dire le carbone libéré pendant le

---

<sup>1</sup> [www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr)

processus de construction et la fabrication des matériaux. L'industrie de la construction utilise 4,2 trillions de kilogrammes (kg) de ciment par an : 1 kg de ciment libère plus de 0,5 kg de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère<sup>1</sup>.

Afin d'atténuer l'impact global de son développement sur l'environnement, le secteur de la construction doit opter pour une solution vertueuse et durable, au sein de laquelle le progrès technologique actuel représente un levier important.

En 2018, lors de la COP24, les dirigeants des nations se sont engagés à ce que les nouveaux bâtiments zéro carbone d'ici 2030. Ce type de bâtiment est efficace sur le plan énergétique et est entièrement alimenté par des sources d'énergies renouvelables. Mais en se concentrant sur le carbone en tant que sous-produit des bâtiments et de la construction, il semble que la préoccupation la plus urgente du secteur soit l'efficacité énergétique. Or, il est important de réduire également les émissions de carbone incorporées dans la construction.

Lors de la Triennale d'architecture d'Oslo 2019, les professionnels du bâtiment ont été invités à explorer une nouvelle façon de penser sous la bannière de la « décroissance », là où l'épanouissement humain et écologique est le plus important. Certains membres de la profession reconsidèrent désormais leur système de valeurs, réfléchissant à ce qui est défini comme bon ou mauvais. Dans le même temps, d'autres acteurs de l'industrie se dressent contre les projets nuisibles.

Outre ces enjeux environnementaux et l'absolue nécessité de construire des bâtiments durables, il apparaît de plus en plus nécessaire d'intégrer la « résilience urbaine », particulièrement à la lumière de la crise sanitaire mondiale actuelle due à la COVID-19. En effet, bien des chocs naturels (tsunami, inondations, tempêtes...), industriels (explosion...) ou d'origine humaine (terrorisme...) nous ont frappés à maintes reprises ces dernières années. La planification « résiliente » et « adaptative »<sup>2</sup> engage des concepts qui devraient devenir les piliers des processus de planification, des politiques, des communautés et du mode de vie. Jusqu'à présent, la « résilience » a été traitée comme un outil « réactionnaire » à des stress chroniques ou aigus. Les mesures « réactives » permettent de faire face à des situations d'urgence qui ont une couverture géographique ou communautaire limitée. De ce fait, la nature accablante de la récente pandémie ne peut être traitée par des mesures réactionnaires. Elle nous devancera dès lors que nous y répondrons par des mesures intermittentes. De plus, les conséquences de ses dommages sociaux et économiques sont impensables. L'urbanisation, le changement climatique et le manque de services et d'infrastructures de base peuvent

---

1 [www.ecologique-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr).

2 Thomas I. et Da Cunha A., 2017.

aggraver la situation. Plus que jamais, il est urgent que nous nous orientions vers une planification « proactive » et « anticipée » pour nos villes et nos infrastructures (services de base, transport, santé, etc.). Les stratégies et les mesures de planification de la résilience doivent être prises aux niveaux mondial, régional, local et individuel et doivent répondre aux besoins.

Il est temps pour nous de réfléchir à certains concepts-clés qui peuvent nous permettre de mieux nous préparer à de telles situations, aussi voici quelques suggestions initiales que nous devrions prendre en considération.

Les modes constructifs actuels, qui n'ont guère évolué depuis des années, doivent s'adapter aux préoccupations du monde actuel : **construite vite et bien**. À ce titre, la construction industrialisée et en particulier hors-site semble une réponse pertinente pour mettre sur pied des bâtiments durables, résilients et frugaux.

À titre d'illustration, durant la crise du COVID-19, le monde de la construction a suivi de près et souvent avec beaucoup d'admiration la construction de l'hôpital de Wuhan (1 000 lits), réalisée en une dizaine de jours seulement pour faire face à l'expansion incontrôlée de la pandémie. Cet exploit n'aurait pas été possible sans une industrialisation forte de l'acte de construire. Cet exemple n'est pas isolé : la Russie a réalisé seize hôpitaux hors-site et, dans nos frontières, le groupe Cougnaud a livré plusieurs modules de consultations et s'est dit prêt à réaliser un hôpital en deux semaines.

Ce mode industrialisé de construction suppose néanmoins de surmonter plusieurs difficultés techniques, culturelles, de formation... C'est ce que nous allons essayer d'expliquer dans cet ouvrage. Mais, au préalable, nous allons nous attarder sur quelques concepts généraux qui nous permettront de mieux saisir la portée des chapitres suivants.

## 1.1.2 L'économie circulaire dans la construction

Le concept d'économie circulaire est très important et embrasse plusieurs disciplines. Nous nous contenterons ici d'en aborder quelques notions en lien avec l'objet de l'ouvrage. Commençons par définir ce concept, avant de voir son lien avec la construction (Figure 1.1).

L'économie sur laquelle se base une grande partie de nos entreprises est linéaire : (1) on prend des ressources, (2) on fait un produit, et (3) on le dépose. Pour nos sociétés, ce modèle n'est pas durable parce que, d'un côté, les ressources ne sont pas infinies et, de l'autre, elles ne se régénèrent pas suffisamment vite pour alimenter nos besoins en matière de qualité de vie. Ce problème a émergé au début du XIX<sup>e</sup> siècle, au commencement de la révolution industrielle, et ne cesse de s'accroître depuis. En effet, c'est cette période qui a par exemple