



HAL
open science

Contribution à la mise en œuvre du BIM en rénovation : Proposition d'un Modèle de Maturité BIM spécifique

Laurent Joblot

► To cite this version:

Laurent Joblot. Contribution à la mise en œuvre du BIM en rénovation : Proposition d'un Modèle de Maturité BIM spécifique. Génie des procédés. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2018. Français. NNT : 2018ENAM0039 . tel-02049857

HAL Id: tel-02049857

<https://pastel.hal.science/tel-02049857v1>

Submitted on 26 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Génie industriel"

présentée et soutenue publiquement par

Laurent JOBLOT

le 30 Novembre 2018

Contribution à la mise en œuvre du BIM en rénovation : Proposition d'un Modèle de Maturité BIM spécifique

Directeur de thèse : **Samir Lamouri**
Co-Directeur de la thèse : **Dominique Deneux**

Jury

M. Dimitrios Kyritsis (EPFL)
M. Robert Pellerin (Polytechnique Montréal)
Mme Hind Bril-El Haouzi (Université de Lorraine)
M. Kary Främling (Aalto)
M. Samir Lamouri (ENSAM/LAMIH)
M. Dominique Deneux (LAMIH)
M. Thomas Paviot (ENSAM/LAMIH)

Président du jury
Rapporteur
Rapporteuse
Rapporteur
Examineur
Examineur
Co-encadrant de la thèse

**T
H
È
S
E**



« Patience et longueur de temps font plus que force ni que rage. »

La Fontaine, « Le Lion et le Rat », Fables, Livre II.

REMERCIEMENTS

Le doctorat est parfois perçu comme une épreuve par certains chercheurs, mais il peut aussi constituer un moment privilégié de réflexion et une étape enrichissante dans une carrière ou dans un processus de formation. Ce fut le cas de cette thèse, mais pour cela il convient d'être entouré de personnes de confiance, toujours force de propositions constructives et possédant de grandes valeurs humaines. Pour toutes ces qualités, ainsi que pour leur disponibilité, les moyens et les encouragements qu'ils ont su m'apporter, je tiens donc à remercier très chaleureusement et très sincèrement, mes directeurs de thèse Samir Lamouri et Dominique Deneux, grâce à qui ce travail a toujours pu se dérouler très sereinement. Ce dernier n'aurait, par ailleurs, pas pu être aussi abouti sans Thomas Paviot, co-encadrant de cette thèse. Il a été l'un des initiateurs de la Recherche en BIM à l'ENSAM et a su me conseiller de manière très avisée. Je suis également reconnaissant envers ce même établissement qui m'a accordé sa confiance en acceptant d'aménager mon service d'enseignement, me fournissant ainsi des conditions de travail en cohérence avec l'ampleur de la tâche à relever. Merci par conséquent aux collègues de Cluny qui ont pallié à certaines de mes indisponibilités, ainsi que pour leurs nombreux encouragements.

Les membres du jury m'ont, de plus, comblé en acceptant de traverser la France, l'Europe ou l'Atlantique et en formulant nombre de conseils et remarques qui me seront utiles pour la suite de ce travail. Merci également à mon collègue Thibaud Marcel pour son aide précieuse lors de l'élaboration du site internet ou encore à la quarantaine d'entreprises qui ont répondu à mon enquête ou qui m'ont plus particulièrement ouvert leurs portes comme le Beteg Léon Grosse (69), Architecture Studio (75) ou l'entreprise Bruno SAS (71).

D'un point de vue plus personnel, j'aimerais souligner que je ne me serais pas attelé à ce défi sans mes parents qui m'ont transmis l'idée que par le biais du travail, d'une préparation et d'un entourage bien choisi, aucune difficulté n'est, après tout, infranchissable. Je n'oublie pas non plus l'intérêt que mon beau-père a toujours accordé à mon travail ni le soutien qu'il a pu m'apporter dans cette entreprise. Enfin et surtout, au terme de ce parcours, je remercie plus que tout Céline et Romane que j'ai quelque peu délaissées ces 36 derniers mois et qui ont pourtant toujours été à mes côtés. Leur patience, leur écoute constructive et stimulante mais aussi leurs conseils m'ont été extrêmement précieux pour réussir et parfois aussi pour "sortir" de ce travail très riche mais aussi très prenant.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre 1. Positionnement et enjeux : Le BIM en rénovation.....	7
1.1 Le BIM	7
1.1.1 Vocabulaire.....	7
1.1.2 Historique du BIM.....	9
1.1.3 Principes généraux et enjeux	12
1.2 Le secteur de la rénovation.....	15
1.2.1 Éléments de vocabulaire	15
1.2.1.1 Spécificités françaises	16
1.2.1.2 Vocabulaire dans la littérature scientifique	16
1.2.2 Enjeu économique : le marché en France et à l'étranger	18
1.2.3 Enjeu sociétal.....	21
1.2.3.1 Typologie des entreprises.....	21
1.2.3.2 Caractéristiques et comportements des acteurs principaux de ce secteur.....	21
1.3 Problématique de la thèse.....	23
Chapitre 2. Etat de l'art : Adéquation BIM/Rénovation ? Niveau d'avancement du secteur pour l'implantation et l'utilisation du BIM ?	25
2.1 Littérature scientifique du BIM pour la rénovation.....	25
2.2 Nature et conséquences des investissements liés au numérique.....	28
2.3 Pertinence du BIM en rénovation ? Analyse SWOT.....	30
2.4 Influence des processus métiers du secteur	34
2.5 Aides à l'implantation du BIM.....	35
2.5.1 Bases de management de projet.....	36
2.5.2 BIM Project Execution Planning (BEP), ou <i>Conventions BIM</i>	38
2.5.2.1 Définition d'une <i>Convention BIM</i>	38
2.5.2.2 Références.....	38
2.5.2.3 Contenu	39
2.5.2.4 Niveaux et nivellement des maturités BIM des contributeurs.....	42
2.5.3 Facteurs Clés de Succès (FCS)	43

2.5.4 Le Lean Construction	47
2.5.5 Approche IPD	49
2.5.6 Mise en place d'un modèle coopératif	52
2.5.7 Modèles de Maturité (MM)	53
2.5.7.1 Concepts et définitions	53
2.5.7.2 Attendus liés à l'utilisation d'un modèle de maturité	57
2.5.7.3 Modèles, contenus et sources d'inspiration du BiM ² FR proposé	58
2.6 Synthèse de l'état de l'art	61

Chapitre 3. Observation macroscopique du secteur de la rénovation française : profils, processus et usages des acteurs..... 63

3.1 Enquête / Observation des usages	63
3.1.1 Mise en place d'une enquête.....	64
3.1.1.1 Moyens mis en œuvre	64
3.1.1.2 Représentativité de l'enquête	64
3.1.1.3 Description de l'enquête.....	66
3.1.1.4 Questions retenues	66
3.1.2 Principaux résultats.....	67
3.1.2.1 Le Groupe A (GRA).....	67
3.1.2.2 Vision de la 3D et du BIM par les membres du GRA	69
3.1.2.3 Le Groupe B (GRB).....	69
3.1.2.4 Synthèse de l'enquête.....	70
3.1.2.5 Représentation du processus de rénovation le plus couramment décrit par les entreprises interrogées.....	72
3.1.3 Apports de l'enquête et synthèse partielle	75

Chapitre 4. Proposition d'un Modèle de Maturité 76

4.1 Objectifs	76
4.2 Méthodologie et orientations du MM proposé	77
4.2.1 Principaux choix effectués.....	77
4.2.2 Méthodologie retenue	78
4.2.3 Choix d'orientation : le soutien aux entreprises et interentreprises.....	79
4.3 Thèmes de maturité	79
4.4 Formalisme de présentation, échelles de mesure et restitution.....	82
4.5 Élaboration du questionnaire.....	84

4.5.1	Processus de démarrage (IPro) : Questions 1 à 5.....	84
4.5.2	Index de Maturité de Convention BIM : Questions 6 à 25	85
4.5.3	Vision prospective : Questions 26 à 28.....	90
4.6	Précisions et exploitations des résultats.....	91
4.6.1	Bloc de questions IPro	91
4.6.2	Index de Maturité de Convention BIM	91
4.7	Synthèse et justifications des choix finaux.....	92
4.8	Validation du modèle : trois profils d'entreprises	94
4.8.1	Cas d'une entreprise artisanale	94
4.8.2	Cas d'une entreprise en cours de réflexion	95
4.8.3	Cas d'une entreprise déjà en BIM.....	95
4.9	Bilan détaillé : Exemple d'accompagnement d'une entreprise s'inscrivant dans la démarche BIM.....	96
4.10	Déploiement du modèle.....	99
4.10.1	Développement d'une version web	99
4.10.2	Diffusion restreinte d'une première version	101
4.11	Premiers retours et synthèse	101
	Conclusions générales et perspectives.....	105
	Réponses apportées	105
	Pertinence et forces d'un Modèle de Maturité BIM spécifique à la rénovation : BiM ² FR	106
	Évolutions du modèle	107
	Perspectives de Recherche.....	109
	Bibliographie.....	111
	Index des figures	131
	Index des tableaux	133
	Glossaire	135
	Annexe 1 : La quatrième révolution industrielle : Industrie 4.0	138
	Annexe 2 : Questions retenues pour l'enquête.....	139
	Annexe 3 : Liste des entreprises rencontrées	146

Introduction générale

Les nouvelles technologies ainsi que les outils numériques qui les accompagnent, ont progressivement envahi la sphère privée et bouleversé les habitudes de chacun : les enceintes connectées font actuellement, par exemple, leur apparition dans nombre de foyers et les applications domotiques connaissent une évolution permanente. Elles ont également, et surtout, modifié de façon radicale le monde industriel et le quotidien de ses acteurs. Cette modification se traduit sémantiquement par l'émergence du concept d'«industrie 4.0» qui renvoie à l'idée que l'industrie connaît aujourd'hui sa quatrième révolution depuis sa naissance au XIX^e siècle¹. Apparue initialement en 2011 à la foire d'Hanovre, en Allemagne, l'expression Industrie 4.0 s'est ensuite répandue à travers toute l'Europe dans la lignée du «Final report of Industry4.0 Working Group» (Kagermann, Lukas et Wahlster, 2011),(Kagermann *et al.*, 2013). Depuis, dans de nombreux domaines, *l'IoT² (Internet des Objets ou Objets connectés)* (Dijkman *et al.*, 2015), *l'Usine Intelligente³*, *la Réalité augmentée*, *les algorithmes d'analyse de données massives* (Babiceanu et Seker, 2016) ou encore le *Cloud Computing* (Xu, 2012) sont des concepts utilisés pour décrire les développements industriels à venir ou récemment implantés. Il ne s'agit pas, contrairement aux précédentes révolutions industrielles, de proposer une automatisation plus grande des productions, mais d'améliorer la communication et la coopération entre les hommes, les machines, les systèmes logistiques et les produits. L'industrie 4.0 constitue donc une réponse performante à la nécessité imposée aux entreprises d'être toujours plus réactives, de proposer des solutions toujours plus individualisées et spécifiques pour correspondre aux commandes qu'elles peuvent recevoir. Elle est, par ailleurs, un moyen pour ces mêmes entreprises de se prémunir contre la perte de clients que pourrait engendrer la monopolisation des données et des marchés par les GAFAs⁴.

Depuis quelques années, cette évolution concerne également l'industrie de l'AEC (entreprises d'Architecture, d'Ingénierie et de la Construction). De nombreux cabinets de conseil s'approprient ce vocabulaire, d'une part, pour décrire la transition qui attend ce secteur et, d'autre part, pour présenter les transformations imposées par la mise en œuvre du Building Information Modeling (BIM) (Gerbert *et al.*, 2016), (McKinsey, 2014). Ces derniers prédisent même que les entreprises continuant à ignorer cette vague numérique devront lutter pour survivre. Il devient donc essentiel, pour une entreprise de l'AEC, de prendre conscience

¹ Illustration disponible en Annexe 1 (Kagermann *et al.*, 2013).

² **IoT** : Internet of Things.

³ *Usine Intelligente* : usine avec communication continue et instantanée facilitant l'optimisation des processus et la prise de décision.

⁴ **GAFAs** : acronyme désignant quatre des entreprises les plus puissantes du monde de l'internet à savoir : Google, Apple, Facebook et Amazon.

de ses propres capacités numériques et de faire progressivement évoluer ses pratiques et son organisation. Elle peut, pour cela, s'appuyer sur l'utilisation de Modèles de Maturité, outils contribuant à caractériser, tout au long du processus d'implantation du BIM, ses fragilités et/ou ses progrès. Le secteur de la rénovation française devra donc en toute logique, lui aussi, progressivement prendre part à cette quatrième révolution industrielle. Toutefois, en raison des caractéristiques et des acteurs qui le composent, le processus d'évolution pourrait s'y avérer encore plus long et plus complexe qu'il ne l'est actuellement pour la construction neuve. Il n'en demeure pas moins que ce secteur nous semble des plus porteurs pour plusieurs raisons : il représente 56 % du marché français de la construction. 68 % de ce même secteur (soient près de 48 milliards d'euros de chiffre d'affaires (CA) annuel (CAPEB, 2016)) sont à la charge d'entreprises qui emploient moins de 20 personnes : un paradoxe et une spécificité qui en rendent l'étude particulièrement riche et intéressante. Les *microentreprises* de la construction qui comptent, selon la Commission européenne, moins de 10 employés, sont au nombre de 635 000 en France ; elles réalisent environ 33,5 milliards d'euros de travaux de rénovation chaque année. Dans ce contexte, et face au processus d'adoption des technologies BIM, il peut sembler ambitieux de vouloir proposer un soutien à la fois universel et qui puisse être adapté à chaque situation. Toutefois, dans la mesure où bien peu de travaux ont été consacrés à ce secteur pourtant essentiel, nous tenterons de combler certaines lacunes en apportant une première pierre à l'édifice. Le BIM est, en effet, toujours considéré comme immature « *en raison de complications d'ordre technique, informationnel et organisationnel* » même pour le secteur de la rénovation énergétique des bâtiments pourtant le plus étudié⁵ (Khaddaj et Srouf, 2016). Tout ou presque reste donc encore à faire dans ce domaine.

⁵ Environ 60 % des publications scientifiques concernent la rénovation énergétique alors qu'elle ne représente qu'un tiers de l'ensemble des travaux de rénovation (Joblot, Paviot, *et al.*, 2017), (Ademe, 2014)

Originalité de la thèse

Notre recherche s'intéresse à un des secteurs les plus importants de la construction : la rénovation. Elle a pourtant été laissée à la marge des développements et études scientifiques en raison de sa diversité, mais aussi des réticences qui persistent encore en son sein et qui devront être dépassées. Il apparaît, cependant, qu'à l'image des entreprises manufacturières qui, une trentaine d'années auparavant, ne s'imaginaient pas délaissé leurs tables à dessin pour la Conception 3D Assistée par Ordinateur (CAO), les acteurs du secteur de la rénovation et la majorité des entreprises de petite taille qui l'animent, devront rapidement développer des compétences numériques liées au développement du BIM.

Pour une majeure partie de ces acteurs, d'importants paliers vont devoir être franchis. Pour y contribuer, 3 points nous semblent essentiels :

- pour introduire des concepts innovants et complexes comme ceux du BIM et proposer des outils d'aide à l'implantation, **il est tout d'abord nécessaire de bien connaître et comprendre l'environnement dans lequel ces acteurs évoluent** ;
- il est ensuite indispensable de **clarifier et démystifier l'approche BIM** afin de façonner un environnement favorable facilitant son adoption ;
- pour introduire en rénovation les concepts numériques / digitaux / technologiques innovants et complexes liés au BIM, il sera impératif, enfin, de commencer par l'étude **des basiques du BIM et des métiers de la rénovation**.

Pour toutes ces raisons et pour orienter notre recherche, une expérience professionnelle au sein du Bureau d'étude Beteg SARL (Léon Grosse) de Lyon s'est avérée opportune en amont. Cette immersion de 4 mois a permis diverses observations et interviews en interne et sur le terrain lors d'importants chantiers de rénovation comme celui du Musée d'Histoire de Marseille ou celui du Centre Hospitalier de Bourg-en-Bresse. Elle a été également une source d'échanges privilégiés avec le cabinet AS (Architecture-Studio) au sein de son agence parisienne. Ses membres implantaient alors le BIM, grâce à la solution Revit, en vue de le tester sur un premier chantier pilote : le projet du CHU de Pointe-à-Pitre (Les Abymes). Les données et points de vue échangés au cours de ce premier travail d'analyse, même s'ils ne sont pas explicitement détaillés dans ce mémoire, se sont révélés marquants et ont permis d'affiner les contours de ce qui, quelques mois plus tard, allait devenir notre problématique de recherche.

Nos travaux bibliographiques, scientifiques et l'expérience professionnelle pratique effectuée nous ont donc amenés à faire émerger la problématique suivante :

Dans quelle mesure le BIM, dont l'efficacité est aujourd'hui prouvée dans le domaine de la construction neuve, peut-il être une aide appropriée pour les entreprises de la rénovation ?

Les entreprises engagées en rénovation sont-elles suffisamment caractérisées et comprises pour pouvoir être accompagnées efficacement ? Si tel n'est pas le cas, comment mieux appréhender leurs fonctionnements, usages et capacités ?

Quels peuvent être les facteurs clés, les pratiques innovantes, mais également les freins à la mise en œuvre du BIM au sein de ces petites structures ?

Dans quelle mesure l'élaboration d'un Modèle de Maturité à destination des entreprises pratiquant la rénovation est-elle envisageable et pertinente ?

Apports de la thèse

Pour répondre à toutes ces interrogations, ce travail de recherche a nécessité de s'appropriier encore davantage un milieu peu décrit et peu caractérisé dans la littérature scientifique. Une première contribution aura donc été d'interviewer les acteurs, de capturer et formaliser l'approche, les outils, les habitudes et les besoins actuels de ce public faiblement impliqué dans des approches numériques. Une étude a donc été conduite auprès de 34 acteurs «représentatifs» des métiers de la rénovation. À l'issue de cette analyse et cartographie des processus métiers en place, cette thèse a également permis d'élaborer un outil de diagnostic et de proposer, «en avance de phase», un support d'aide à l'implantation ainsi qu'à la caractérisation/quantification des efforts entrepris et restant à fournir : un Modèle de Maturité intitulé BiM²FR. De plus, en raison de l'ensemble des thèmes abordés et des questions soulevées, notre Modèle de Maturité met au jour un grand nombre de bonnes pratiques et de principes qu'il convient d'aborder au cours de la mise en œuvre du BIM. Ces derniers ont été retenus car leur caractère indispensable a été au préalable démontré par de nombreux leaders de la construction et de l'architecture et validé par une large communauté scientifique.

Structuration de la thèse

Afin de répondre aux problématiques énoncées précédemment, nous analyserons, dans un **premier chapitre**, les principes généraux du BIM dans le secteur de la construction, tout en ciblant particulièrement les domaines de la rénovation. Nous procéderons pour cela à une analyse lexicale et à un historique du BIM, puis nous dégagerons les enjeux économique et sociétal du secteur de la rénovation et ses spécificités en France.

Dans un **deuxième chapitre**, après avoir réalisé un état de l'art, nous mettrons en évidence les impératifs et les fondamentaux nécessaires pour implanter et utiliser le BIM en rénovation. Ce chapitre proposera, d'une part, une analyse de la littérature scientifique consacrée au BIM, et d'autre part, une réflexion sur la nature et les conséquences des investissements liés au numérique. Il comportera également une analyse SWOT (de l'anglais Strengths (forces), Weaknesses (faiblesses), Opportunities (opportunités), Threats (menaces)) justifiant la pertinence du BIM pour la rénovation, ainsi qu'une étude précise des aides à l'implantation.

Dans un **troisième chapitre**, pour être en mesure d'exploiter les conclusions de notre analyse scientifique, les résultats d'une enquête effectuée auprès de 34 professionnels seront présentés. Les interviews réalisées enrichiront la connaissance et la description des acteurs engagés en rénovation. Ce travail permettra ainsi de mieux cerner l'environnement dans lequel nous souhaitons évoluer en apportant une aide à l'adoption du BIM.

Dans un **quatrième chapitre**, nous proposerons un Modèle de Maturité. Les objectifs poursuivis, les sources d'inspirations ainsi que les questions qui constituent ce modèle seront, dans un premier temps, présentés et justifiés. Son développement, à travers une exploitation web permettant de faciliter son déploiement, sera dans un deuxième temps décrit. Nous nous interrogerons enfin, et dans un dernier temps, sur la pertinence de ce modèle et sur les évolutions qu'il pourrait connaître. Nous présenterons pour cela les premiers retours d'entreprises et notamment 3 cas emblématiques, avant de proposer un **bilan détaillé**.

La méthodologie déployée dans le cadre de ce travail et qui a conduit à élaborer notre proposition de recherche : un Modèle de Maturité destiné à la rénovation (**BiM²FR** pour **BIM Maturity Model For Renovation**) est synthétisée dans la Figure 1.

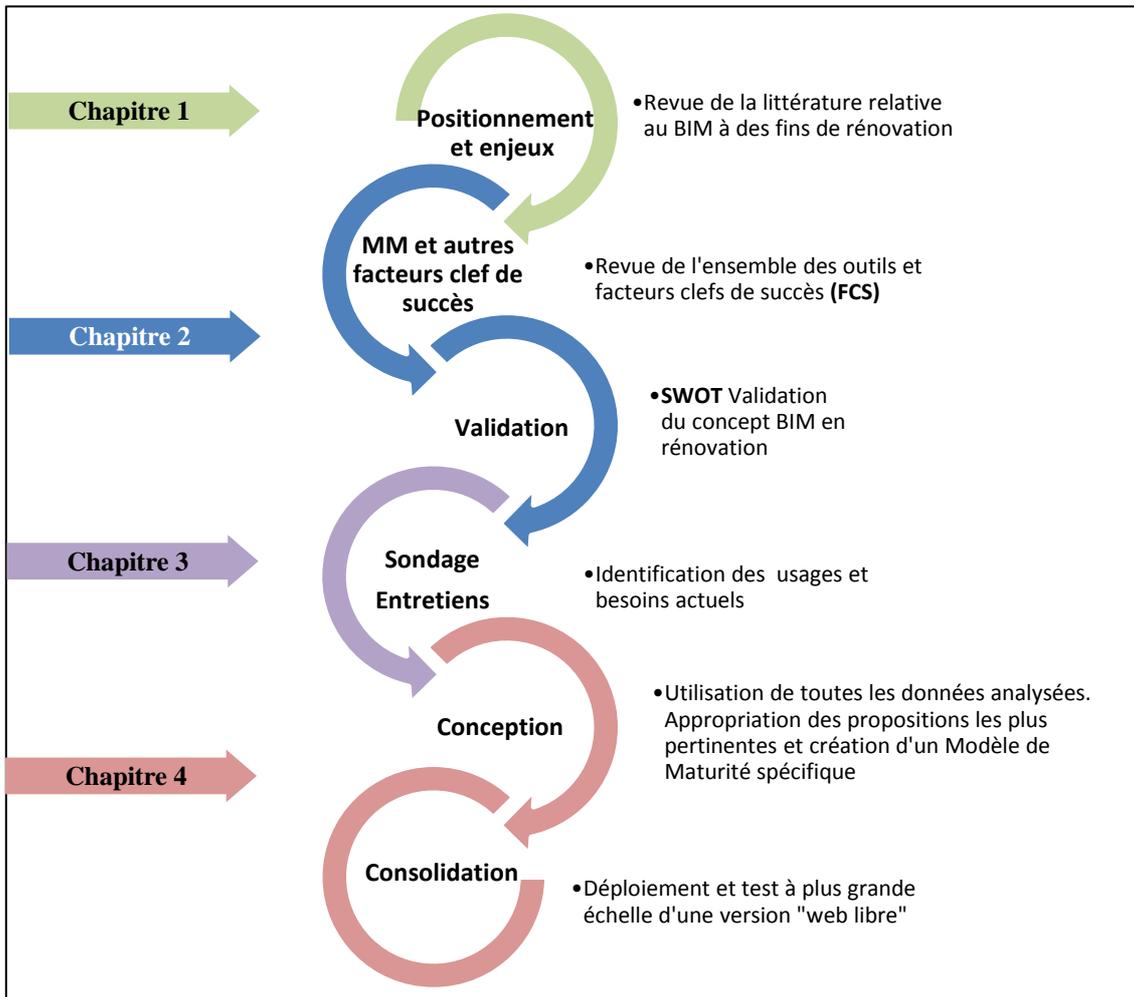


Figure 1: Approche du travail

Chapitre 1. Positionnement et enjeux : Le BIM en rénovation

De nombreux acteurs sont impliqués dans la construction d'un édifice, de la conception à la démolition, en passant par l'exécution, l'exploitation, la maintenance et la rénovation. Ils ont chacun des spécialités et des missions spécifiques au projet, rarement indépendantes de celles des autres contributeurs. Du fait de la multitude de domaines, de compétences et de participants, le projet de construction prend généralement la forme d'un millefeuille d'informations complexes à échanger ou à optimiser. C'est un processus fragmenté générant presque autant de bases de données que d'acteurs impliqués. Ce phénomène se traduit alors par l'utilisation permanente de documents papier qui rendent le travail collaboratif assez limité et génèrent d'importants risques d'oublis, d'erreurs et de reprises.

Cependant, l'ère du numérique entraîne les acteurs du secteur du bâtiment sur la voie d'une mutation majeure. Le développement des systèmes d'information, l'émergence de l'IoT, les demandes accrues - et généralisées - pour davantage de traçabilité et de travail collaboratif, ou enfin l'amélioration du triptyque Coût/Qualité/Délais sont, à présent, pris en considération par une partie de la profession. Cette révolution majoritairement digitale est alors régulièrement désignée par l'acronyme BIM.

1.1 Le BIM

1.1.1 Vocabulaire

Selon l'association francophone Mediaconstruct (<http://www.mediaconstruct.fr>) et une large majorité de chercheurs, deux définitions font consensus au sujet du BIM. Il est parfois question de « Building Information Model » ou Maquette Numérique (MN), en tant que « *représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. Le BIM sert alors de ressource de la connaissance partagée des informations sur le bâtiment, et forme une base fiable pour prendre des décisions au cours de sa vie dès la création. C'est aussi une représentation 3D qui va plus loin que la simple modélisation d'un bâtiment. C'est une sorte de base de données techniques, un ensemble structuré d'informations sur un bâtiment, existant ou en projet. Cette base est standardisée, partagée, capable de contenir toutes les informations techniques de l'ouvrage bâti, depuis la conception jusqu'à l'exploitation. Elle contient les objets composant le bâtiment, leurs caractéristiques et les relations entre ces objets. Ainsi, la composition détaillée d'un mur, la localisation d'un équipement ou d'un élément de mobilier dans une pièce, font partie du BIM. Ces informations complètent la description purement géométrique de la forme du bâtiment produite par des logiciels de CAO pour le bâtiment.* »

De manière complémentaire, il peut également s'agir de « Building Information Modeling » en tant que « processus métier de génération et d'utilisation des données du bâtiment pour le concevoir, le construire et l'exploiter durant tout son cycle de vie. Dans ce cadre, le BIM est un processus d'échanges autour de maquettes numériques dans un esprit de travail collaboratif interne à une entreprise ou interprofessionnel. »

De manière plus générale, au regard de la littérature scientifique et des travaux de Succar, cet acronyme peut également prendre, comme l'illustre la Figure 2, une multitude de sens et être utilisé pour décrire de nombreuses intentions (Succar, 2009a).

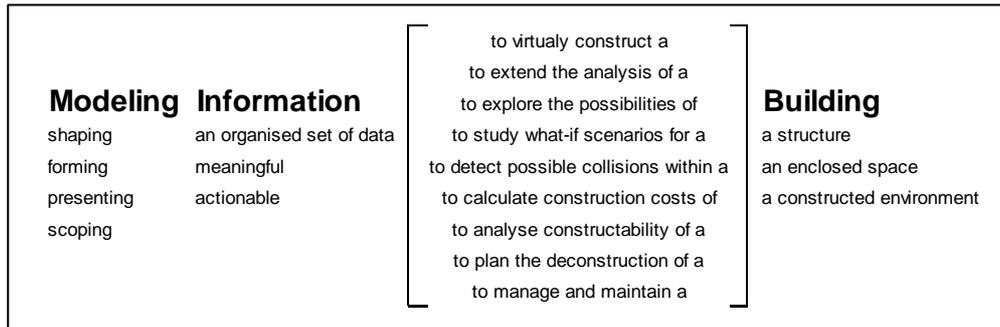


Figure 2 : Synthèse des connotations des termes Building Information Modeling selon Succar

À l'image du Product Lifecycle Management (PLM) répandu dans l'industrie manufacturière, il est attendu du BIM qu'il facilite la gestion du cycle de vie du bâtiment (Figure 3) en s'appuyant sur un ensemble de méthodes de travail et la MN paramétrique 3D qui contient des données intelligentes et structurées.

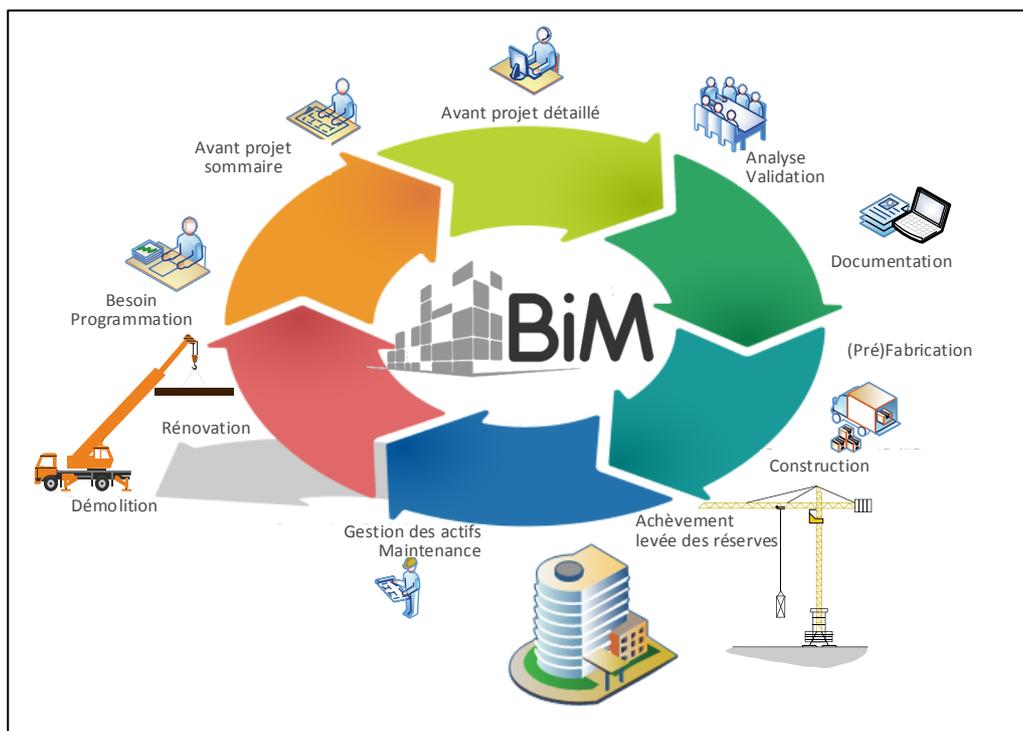


Figure 3 : La gestion du cycle de vie à l'aide du BIM

Cette MN permet ainsi d'effectuer des analyses et simulations (énergétiques, calculs structurels, détections des conflits, etc.), des contrôles (respect des normes, du budget, etc.) ou des visualisations. L'ensemble de ces vérifications est effectué très tôt dans l'étude d'un projet, offrant ainsi la possibilité d'envisager une conception de meilleure qualité et la détection des problèmes en amont du chantier.

1.1.2 Historique du BIM

Cette recherche d'idéal appliqué au projet de construction n'est pas récente. Le projet GLIDE (Graphical Language for Interactive Design), créé à l'université de Carnegie Mellon (Eastman et Henrion, 1977), peut être vu comme les prémisses du concept BIM puisqu'il s'agit du premier développement CAO pour bâtiment avec variables paramétriques. Au travers des travaux qui ont suivi, Eastman est d'ailleurs présenté comme étant l'initiateur de l'acronyme BIM en tant que tel (Eastman, 1999). D'un point de vue plus « commercial », et parallèlement à ces travaux, le premier logiciel BIM, ArchiCAD (version Radar), a progressivement pu être déployé et utilisé sur ordinateurs personnels à partir de 1984. Depuis, à l'image des marchés en forte croissance, de nombreux éditeurs développent des solutions concurrentes comme, bien sûr, Revit (Autodesk) ou la suite BIM Digital Project (Gehry Technologies).

L'ambition première du BIM est d'éditer un modèle de référence contenant des informations uniques disponibles en lecture et en écriture par tous les acteurs d'un projet. La collaboration est donc un des piliers du BIM. On parle alors d'interopérabilité : ce terme décrit la capacité d'échanger des informations entre différents logiciels. Il est indispensable de limiter et, dans l'idéal, d'éliminer complètement les interventions manuelles chronophages et sources d'erreurs inhérentes à l'exploitation ou au transfert de données entre logiciels et utilisateurs.

C'est dans cette optique que l'International Alliance for Interoperability (IAI) a été créée en 1995 (pour ensuite devenir BuildingSMART). Il s'agit d'une association d'entreprises du secteur de la construction et des éditeurs de logiciels. Elle est à l'origine du format IFC (Industry Foundation Classes), standard ouvert garant de cette interopérabilité. Ce format est depuis peu régi par la norme ISO 16739:2013 et sert de référentiel et de langage d'échange commun aux éditeurs de logiciels (ISO, 2016). L'IFC doit contribuer à ce que l'ensemble des acteurs d'un projet - quels que soient leurs cœurs de métiers, activités, applications logicielles, etc.- puissent tous travailler de concert sur une seule et unique MN « à jour » (Figure 4).

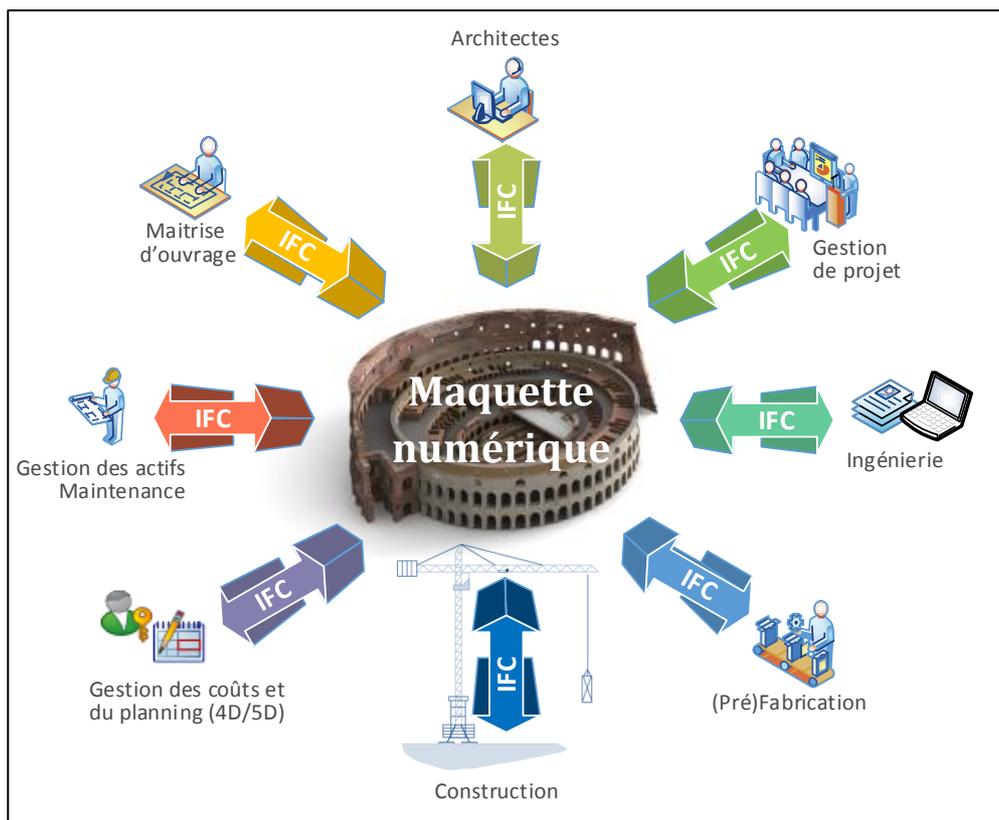


Figure 4 : L'interopérabilité facilitée par les IFC

Ainsi, du démarrage du projet jusqu'à la toute fin de vie du bâtiment, de nombreux avantages apparaissent. Sans être exhaustif⁶, grâce à la MN constamment tenue à jour, les informations sont disponibles pour tous et la qualité des bâtiments s'en trouve globalement améliorée grâce aux échanges, aux différentes analyses et aux simulations possibles à un stade précoce du projet, avant que les coûts des modifications n'aient trop d'incidences. La MN du bâtiment « tel que construit » constituera, *in fine*, à elle seule, l'équivalent du DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) et sera effectivement exploitable et utile par la suite : amélioration des phases de rénovation, de maintenance, de gestion des actifs (qui correspond à la notion anglaise de Facility Management (FM)) et en dernier ressort de démolition et d'aide au recyclage des matériaux.

Les nombreux gains énoncés ici et les déjà nombreuses années d'existence pourraient laisser croire que le BIM est déjà bien implanté et qu'il ne fait aucun doute que les états et les entreprises misent sur cette approche pour réduire les délais, les incertitudes ou les dettes. Or, une récente étude menée en Irlande pour définir une feuille de route gouvernementale révèle qu'il reste encore en la matière beaucoup à faire (McAuley, Hore et West, 2017, p. 9). La présentation générale des stratégies en vigueur dans différents pays du monde indique qu'il existe 5 cas de figure :

- Le BIM est obligatoire,
- Un échéancier est en place pour rendre le BIM obligatoire,
- Le BIM est à l'étude,

⁶ Des compléments seront apportés notamment en partie 2.3

- Il n'y a aucune exigence BIM particulière,
- L'open BIM est normalisé et obligatoire.

Ces 5 propositions résument la diversité des approches et l'hétérogénéité forte qui existent encore à travers et à l'intérieur des continents comme l'indique la Figure 5.

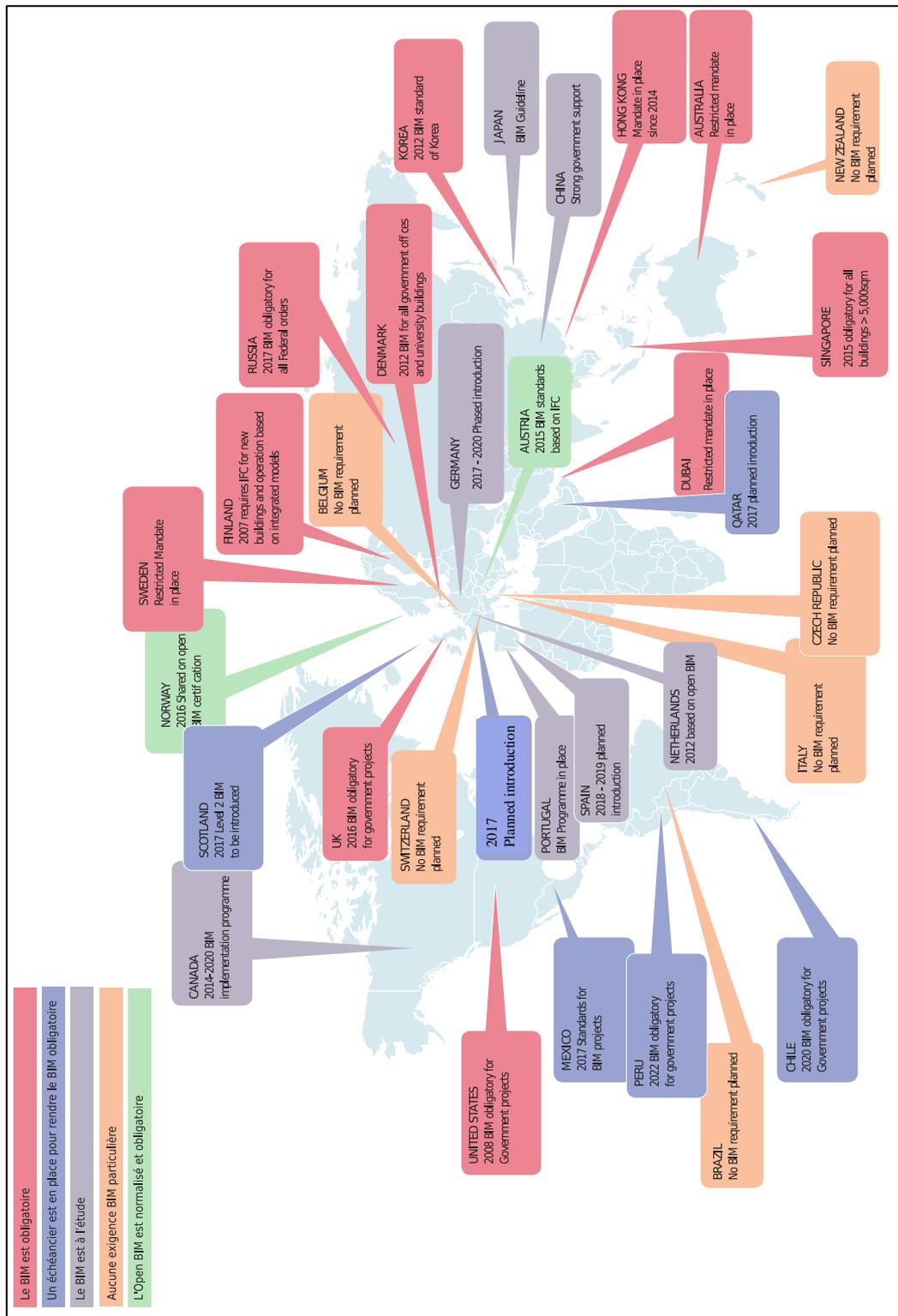


Figure 5 : Stratégies en vigueur dans différents pays selon McAuley, Hore et West

L'étude met également l'accent sur une longue liste de tâches qui attendent le secteur de la construction avant l'obtention d'un consensus, en dehors même du contexte de la rénovation. Les auteurs ont identifié différents thèmes ou piliers qui doivent être approfondis pour élaborer leur feuille de route : *la problématique des approvisionnements, l'élaboration de guide BIM, la formation et l'éducation, les processus d'échanges de données, le cadre réglementaire, le déploiement de projets pilotes*, et plus encore. Ces éléments sont, dans l'ensemble, ceux que nous abordons en partie 2.5.

De plus la course à l'innovation étant forte, de nombreux développements BIM voient le jour constamment. D'importants efforts et une certaine remise en question de la part des utilisateurs/acteurs sont nécessaires pour s'équiper et suivre de telles technologies. Ces efforts ne seront consentis que s'ils permettent de répondre à des attentes et se justifient d'un point de vue économique ou contextuel. C'est à ces questions que la partie suivante sera consacrée.

1.1.3 Principes généraux et enjeux

Pourquoi s'intéresser au domaine de la construction et du BIM en particulier ? En premier lieu, les données INSEE les plus récentes présentées en Figure 6 indiquent clairement qu'il s'agit d'un secteur porteur pour l'économie française, assez loin devant la fabrication de matériel de transport (bateaux et navires, matériel ferroviaire, aéronautique et spatial et industrie automobile confondus) ou la production d'énergie, d'eau... en termes de Valeur Ajoutée⁷ (VA) annuelle (INSEE, 2017a).

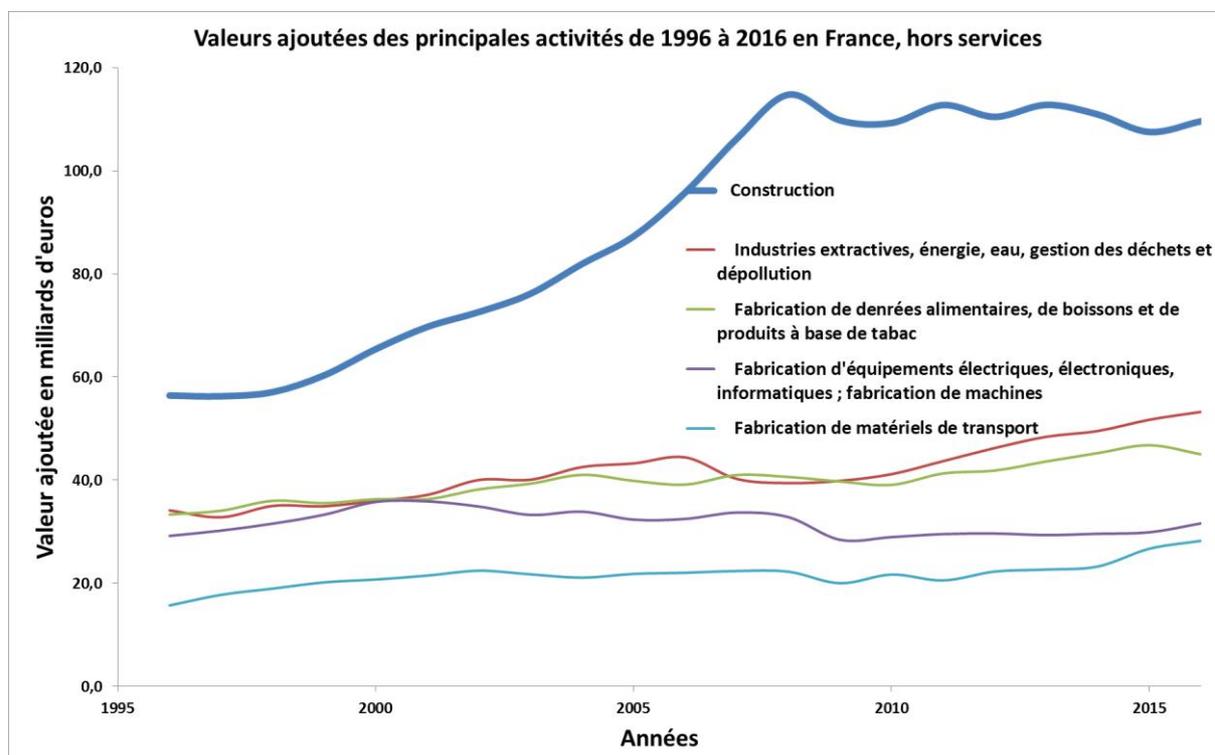


Figure 6 : Importance de différents secteurs de l'industrie dans l'économie française

⁷ **Valeur Ajoutée** : Accroissement de valeur générée, du fait des activités courantes. La VA est une traduction de l'activité de l'entreprise ; il s'agit de la différence entre le chiffre d'affaires et les consommations intermédiaires.

Par conséquent, ce secteur représente, au moins en France, un domaine prometteur pour les travaux de recherche et développement. Ces derniers pourraient l'aider à croître encore davantage ou à progresser sur des terrains tels que les conditions et méthodologies de travail, d'amélioration de la productivité et de la qualité... À l'échelle internationale, l'importance relative de la construction face aux autres secteurs d'activité et l'intérêt qu'elle peut représenter est également élevée (Barbosa *et al.*, 2017, p. 5). Ce rapport, s'intéressant à la productivité du secteur de la construction, alerte cependant sur l'indice de productivité observé au sein de ses entreprises. Cet indicateur fait souvent débat et présente assez systématiquement la construction comme un domaine évoluant de manière empirique et économiquement peu rentable. D'après cette étude menée sur une base de 41 pays, et prenant pour référence l'année 1995, le secteur connaît une augmentation moyenne de productivité de 1 % par an contre 3,6 % pour le secteur manufacturier dans son ensemble. Pour la France, l'INSEE confirme ces valeurs et souligne l'écart toujours plus important qui se creuse entre ces deux secteurs (INSEE, 2017b). Ce point, repris par McKinsey, est présenté en Figure 7 (McKinsey France, 2014).

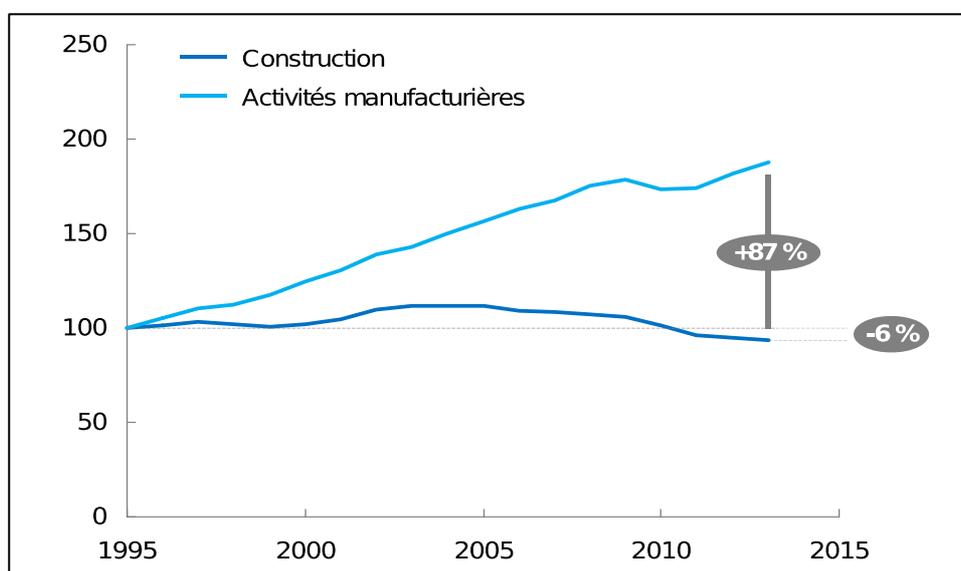


Figure 7 : Indice de productivité du travail en construction et activités manufacturières selon McKinsey (Valeur ajoutée par heure de travail productive relativement à l'année 1995)

Pour bien s'entendre sur cet indicateur, l'INSEE définit la productivité apparente du travail comme le rapport entre la richesse créée et le facteur travail. « *La richesse créée est mesurée par la valeur ajoutée (évaluée en volume) et seul le volume de travail mis en œuvre dans le processus de production est pris en compte. Elle ne tient compte que du facteur travail comme ressource mise en œuvre. Le terme « apparente » rappelle que la productivité dépend de l'ensemble des facteurs de production (capital et travail) et de la façon dont ils sont combinés.* » Plusieurs mesures sont possibles :

- si le volume de travail est mesuré par le nombre d'heures travaillées, on parle de « *productivité horaire apparente du travail* » ;
- si le volume de travail est mesuré par le nombre de personnes en emploi (personnes physiques), on parle de « *productivité par tête* ».

Pour rendre l'analyse peut-être plus marquante, il est possible de la compléter par un calcul de la valeur ajoutée par heure travaillée (VAH) observée en France. Les valeurs annuelles

étant assez stables, le Tableau 1 propose une valeur moyenne de la VAH sur les 5 dernières années mises à disposition par l'INSEE (2012-2016) pour 5 secteurs d'activité.

	Fabrication de matériels de transport	Information et communication	Activités financières et d'assurance	Fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac	Construction
Volume total d'heures travaillées des salariés déclarés (en millions) Moyenne de 2012 à 2016	302	1172	1181	868	2337
Valeur ajoutée brute en milliards d'€ Moyenne de 2012 à 2016	25	97	84	44,5	110
VA en € par heure travaillée (VAH)	83	83	71	51	47

Tableau 1 : Comparaison des valeurs ajoutées par heure travaillée de différents secteurs (INSEE, 2017b)

Il est alors facile de constater que le secteur de la construction obtient une VAH jusqu'à 75 % plus faible, par exemple, que celles obtenues pour la *Fabrication de matériels de transport* ou par le secteur *Information et Communication*.

Ces éléments, combinés à la conjoncture, ont des effets non négligeables sur la « fragilité » des entreprises. Ces 10 dernières années en France, on constate, en effet, une augmentation importante du nombre de défaillances d'entreprises de la construction. Ce nombre de cessations d'activité évoluait aux environs de 10 000 par an entre 1990 et 2005 pour se stabiliser aux environs de 15 000 plus récemment (INSEE, 2016a). Ceci souligne bien que des perspectives d'amélioration doivent encore être trouvées pour mieux récompenser les efforts réalisés par les nombreuses entreprises de la construction et pour les rendre plus robustes, durables et pérennes.

Il est également impératif d'avoir conscience que, pour qu'elles soient pertinentes, les améliorations à apporter devront avoir indirectement des effets sur bien des facettes des métiers de la construction qui souffrent là encore face à la concurrence, par exemple en termes d'image et d'attractivité. Les chiffres présentés par Pôle Emploi révèlent que plusieurs métiers du bâtiment ont connu des niveaux de difficulté de recrutement importants en 2017 (Pôle emploi, 2017). L'organisme caractérise ce point à travers la proportion de postes diffusés qui s'avèrent être « difficiles » à pourvoir (selon des critères qui lui sont propres). La moyenne nationale de ce type de postes, tous secteurs confondus, est de 37,5 %. Or, pour le secteur de la construction, on comptabilise un besoin en main-d'œuvre de plus de 103 000 postes dont 50 % sont jugés difficiles. Certainement pour les raisons évoquées précédemment, et à la suite d'un nombre de projets en progression dans cette branche, des pics sont observables pour des métiers comme charpentier (80 % sont difficiles à pourvoir), couvreurs-zingueurs qualifiés (74,1 %), plombiers-chauffagistes (60,6 %), suivis de près par menuisiers et ouvriers de l'agencement et de l'isolation à plus de 60 %. Pour justifier ces difficultés, Pôle Emploi ajoute que les établissements de la construction mettent fréquemment en avant la pénurie de candidats (neuf fois sur dix contre trois sur quatre dans le secteur du commerce) ou les conditions de travail.

Ces données, dans leur ensemble, révèlent donc de nombreux paradoxes et sont autant de raisons stimulantes pour tenter de mieux cerner puis accompagner ces entreprises dans les évolutions techniques et organisationnelles qui semblent se dessiner. Au cours de cette dernière décennie, le secteur de la construction neuve - les grands groupes en tête - a redoublé d'efforts pour tenter d'inverser la tendance en adoptant la maquette numérique et en misant sur l'interopérabilité du BIM. L'ensemble des fonctionnalités présentées ici et complétées en partie

2.3 sont autant de promesses qu'il conviendra de concrétiser le plus largement possible, si tant est qu'il y ait un intérêt industriel et économique avéré, et qu'une transition - adaptée au plus grand nombre - puisse être envisagée.

Cela nécessite donc à présent une analyse détaillée des parts de marché du secteur de la construction, et une caractérisation des entreprises formant le noyau dur des sociétés qui seront à accompagner dans les années à venir.

1.2 Le secteur de la rénovation

Pourquoi s'intéresser à ce secteur ? Ces dernières années, le BIM s'est répandu à travers les industries de l'AEC et a contribué à « digitaliser » ces domaines. Ces évolutions sont-elles générales ou des secteurs comme celui de la rénovation en sont-ils exclus ? La question se pose finalement en raison de la part de marché qu'il représente dans la plupart des pays, ainsi que pour les diversités et spécificités des professionnels impliqués, en général, dans un projet de rénovation. Selon EUROSTAT, 75 % des acteurs de l'industrie du bâtiment travaillent, en Europe, dans des entreprises comptant moins de 50 employés, et ces entreprises génèrent plus de 65 % de la valeur ajoutée de l'ensemble du marché européen⁸ (Commission européenne, 2017). Une autre donnée a également son importance : le fait que « 80 % des coûts d'exploitation, de maintenance et de remplacement d'un bâtiment sont déterminés dans les premiers 20 % du processus de conception » est souvent évoqué (ISO, 2008). En d'autres termes, la maintenance et la rénovation d'un bâtiment reviennent, sur son cycle de vie, à 4 fois son prix initial⁹. L'optimisation possible de ces étapes successives à l'aide d'outils tels que le BIM justifie, selon nous, le fait de s'intéresser au triptyque BIM/Rénovation/Acteurs.

Au regard de toutes ces données, des enjeux et des défis qui se dessinent, se concentrer spécifiquement sur le secteur de la rénovation semble être un parti pris stratégique et riche en promesses pour les années à venir. Pour plus de justesse et définir avec précision les contours de notre recherche, il est important de préciser ce que l'on entend par secteur et activité de rénovation et de procéder à une analyse sémantique et technique de ce que cette notion peut contenir.

1.2.1 Éléments de vocabulaire

La littérature scientifique et les professionnels de la construction utilisent différents concepts et formules pour évoquer la rénovation d'une construction. Ce terme générique couvre, en réalité, bien des domaines et possède de nombreux niveaux d'action.

⁸ Ces données seront approfondies en partie 1.2.3.

⁹ Les spécialistes du secteur immobilier évaluent, en moyenne, le coût d'entretien annuel d'un bâtiment à 5 % de son coût de construction. Il est toutefois difficile de trouver la source « scientifique » de cette affirmation. La seule étude complète validant ces données - légèrement à la baisse - provient d'un organisme suisse (Office fédéral des questions conjoncturelles, 1995). Le coût moyen de maintenance y est évalué à environ 1 % de la valeur (d'assurance) du bâtiment, auquel s'ajoute un coût de remise en état annuel moyen de 1,6 à 2,6 %. Sur une durée d'utilisation de cent ans, on peut donc confirmer que les frais pour un bâtiment même bien entretenu représenteront plus du triple du montant investi initialement.

1.2.1.1 Spécificités françaises

À l'échelle de la France, quelques ouvrages institutionnels ou normatifs permettent de clarifier certaines pratiques, notamment un guide publié le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche en 2001 (Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2001). D'après ce dernier, **Conserver** correspond à veiller, essentiellement par des mesures préventives, à ce que le patrimoine ne se dégrade pas. **Sauvegarder** revient à prendre des mesures comme l'étalement d'un bâtiment menaçant ruine, etc., le plus souvent dans l'urgence et à titre provisoire, pour éviter la progression d'une dégradation. **Restaurer** signifie rétablir, remettre en bon état, sans pour autant vouloir effacer les traces des interventions ultérieures (idéalement, la restauration impliquerait la remise en état d'usage : un moulin devrait pouvoir moudre, un four à pain devrait pouvoir cuire.) Lorsque certains éléments du patrimoine doivent être remplacés, seuls les matériaux, les techniques et les façons de faire traditionnels sont légitimes. **Réaffecter** désigne le fait de donner une nouvelle fonction. **Rénover** consiste à remettre à neuf un bâtiment ou un objet jugé vétuste. La rénovation peut aller (de façon assez surprenante) jusqu'à la destruction complète de l'objet et sa **Reconstruction**. **Réhabiliter** correspond à remettre aux normes de confort, d'hygiène et de sécurité des habitats jugés trop anciens au regard des exigences contemporaines. **Restituer**, c'est rétablir, remettre dans son état premier. Ce mode d'intervention aboutit souvent à une reconstruction dans un état originel qui n'a jamais existé entraînant la destruction de toutes les parties postérieures à la date de construction. Ces activités peuvent être complétées ensuite par les définitions fournies par l'AFNOR (AFNOR, 2007, p. 50), (AFNOR, 2010) : à savoir que **Moderniser** correspond à modifier ou améliorer en prenant en compte les avancées technologiques tandis qu'**Améliorer** représente l'ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction. Les aspects **Dépannage**, **Maintenance** ou **Entretien** seront considérés comme hors du périmètre de notre recherche, car ils représentent, à eux seuls, un secteur d'activité à part entière.

1.2.1.2 Vocabulaire dans la littérature scientifique

Après l'analyse d'une centaine de références scientifiques ou émanant d'industriels, il s'avère, en revanche, que les notions, les nuances et les contours sont moins tranchés à l'échelle internationale et d'un point de vue scientifique. La majorité des notions précédentes sont reprises à l'échelle européenne dans le contexte de la Conservation des biens culturels (European Committee for Standardization, 2011). Par ailleurs, les termes **Rehabilitation**, **Restoration**, **Upgrading**, **Renovation** sont explicités dans les normes internationales ISO (ISO, 2010), (ISO, 2013). Pour les systèmes de canalisations en plastique, cette dernière précise, par exemple, que **Renovation** s'apparente à une amélioration et **Rehabilitation** à une remise en état ou à une amélioration. Les définitions citées en 1.2.1.1 sont proches de celles utilisées par Rosenfeld et Shohet qui rappellent cependant qu'il existe une forte imbrication des concepts (Rosenfeld et Shohet, 1999). Cette étude résume la « complexité » de ce secteur à travers la Figure 8.

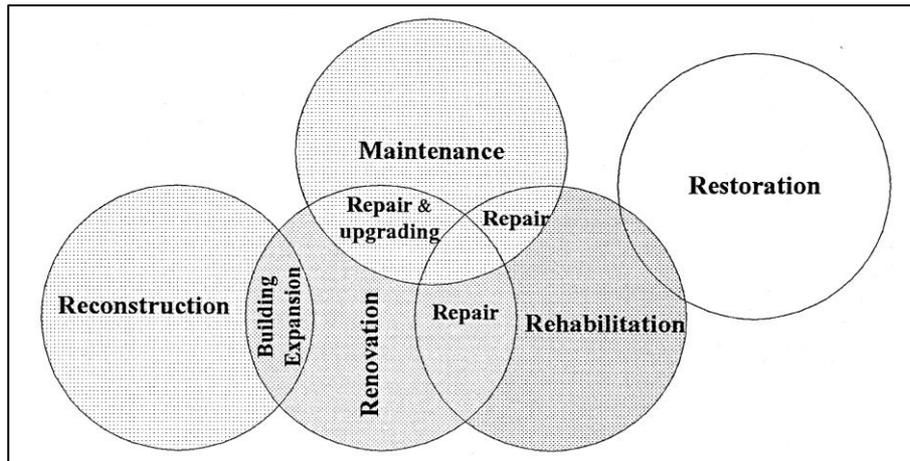


Figure 8 : Imbrication des termes utilisés en rénovation selon Rosenfeld et Shohet

D'autres études (comme celles de (Teo et Lin, 2011)) tentent de relier les termes au degré d'obsolescence de la construction (voir Figure 9) et proposent ainsi une vision différente du sens des concepts évoqués précédemment.

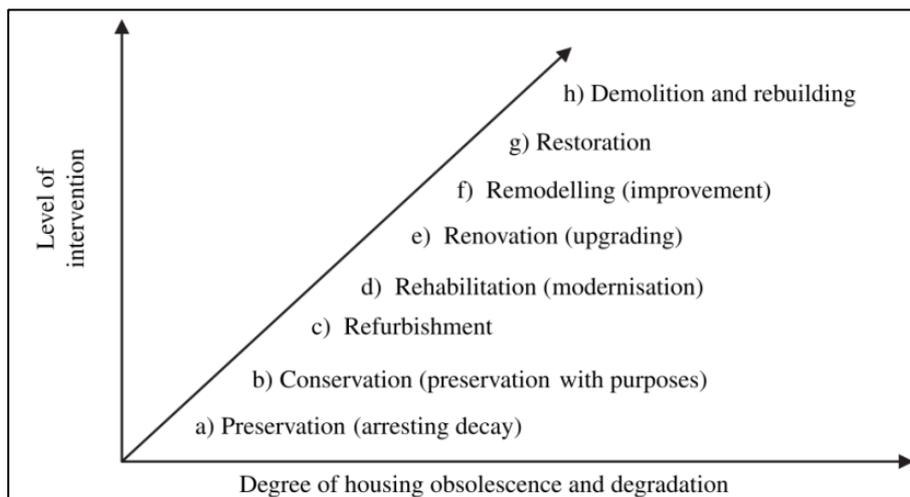


Figure 9 : Proposition de hiérarchisation des concepts en fonction du degré d'obsolescence d'après Teo et Lin

La notion de **Refurbishment** est considérée ici comme une amélioration des performances, alors qu'elle est synonyme de **Renovation** selon l'Oxford Dictionary (Oxford Dictionary, 2013). Enfin, la notion **Retrofit** utilisée dans certaines publications scientifiques est définie, quant à elle, par l'ISO pour les applications sismiques, comme étant l'action de remettre l'édifice dans un état fonctionnel identique à ce qu'il était avant l'incident (ISO, 2015). Cependant on peut constater que dans un contexte sismique, d'autres auteurs préféreront le terme **Rehabilitation** (Georgiou, Christodoulou et Vamvatsikos, 2014), (Charalambos et Dimitrios, 2014).

Les utilisations lexicales sont donc parfois multiples. Il a été ainsi décidé, dans ce travail de recherche, de considérer que le terme « **rénovation** » englobe **Retrofit**, **Rehabilitation**, **Renovation**, **Restoration** et **Refurbishment** et qu'il est donc important d'analyser les

publications et travaux scientifiques utilisant l'ensemble de ces termes (sans qu'aucune hiérarchisation entre eux ne soit opérée).

Les activités, les concepts et le vocabulaire à considérer étant définis, la partie suivante va maintenant présenter les spécificités de la rénovation et les enjeux liés à l'implantation du BIM pour de telles activités.

1.2.2 Enjeu économique : le marché en France et à l'étranger

La simple analyse des nombreuses données statistiques révèle de manière évidente l'intérêt et l'enjeu que représente à lui seul ce secteur : la rénovation de l'habitat australien représente, par exemple, plus de 30 milliards de dollars annuels (HIA, 2016), alors que l'amélioration et la remise en état de l'habitat résidentiel pèsent 10 fois plus encore aux États-Unis (Harvard University, 2017). En France, la rénovation représente 56 % du marché de la construction. 68 % de ces activités de rénovation, soit une valeur ajoutée annuelle proche de 48 milliards d'euros, sont à créditer à des entreprises qui emploient moins de 20 personnes (CAPEB, 2016). Les mêmes proportions peuvent s'observer en Angleterre, puisque 62 % du marché total de la construction se révèlent être des travaux de rénovation (Office for National Statistics, 2016a). En Europe, une étude de 2015, représentée par la Figure 10, souligne que les perspectives et les exigences en matière de rénovation énergétique dépassent de loin les besoins et les volumes des constructions neuves dans les 30 prochaines années (Sandberg *et al.*, 2016).

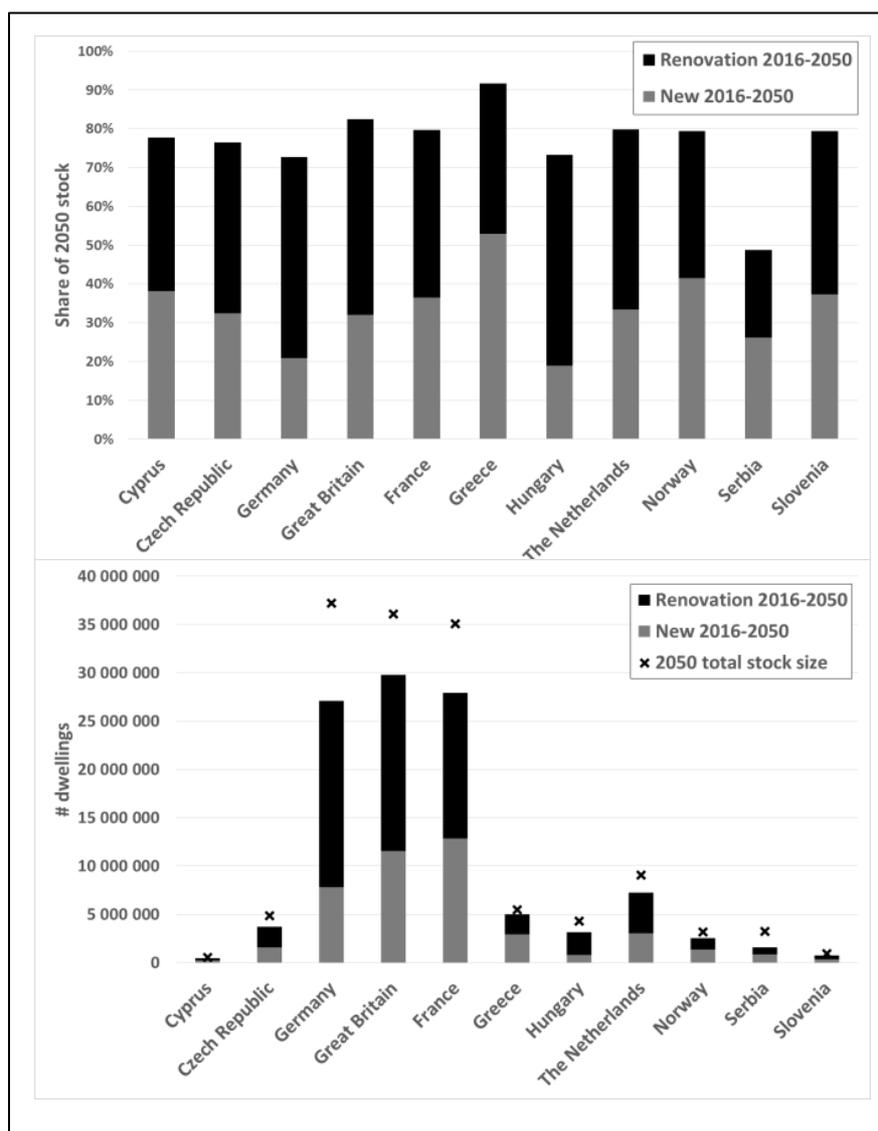


Figure 10: Nombre de logements devant être construits ou rénovés dans la période 2016-2050 en Europe selon Sandberg *et al.* En haut : Le pourcentage de parts de marché par pays. En Bas : Le nombre absolu de logements

Par ailleurs, pour les activités de rénovation, il est bon de rappeler qu'une grande variété de situations existe : le travail peut être basé sur les fichiers contenus dans le Dossier des Ouvrages Exécutés, s'appuyer sur un modèle numérique, sur des plans 2D ; le projet peut nécessiter un permis de construire, la présence d'un géomètre expert, d'un architecte, ou encore avoir recours à un large éventail d'entreprises ou à un seul artisan intervenant en milieu occupé ou non. D'autres facteurs influent sur la prestation comme le niveau d'urgence, le coût ou encore l'ampleur du projet, comme évoqué Figure 9 (Teo et Lin, 2011). De nombreuses études ont également montré l'extrême diversité du domaine de la rénovation (Observatoire des Métiers du BTP, 2016). La Figure 11 révèle à ce titre que le secteur de la rénovation ne peut pas se résumer au simple volet de la rénovation énergétique, activité majoritairement considérée à ce jour dans les publications scientifiques du domaine (cf. Tableau 2, en partie 2.1). En se restreignant à ce seul créneau, les besoins utilisateurs et les développements logiciels à effectuer s'en trouvent trop limités.

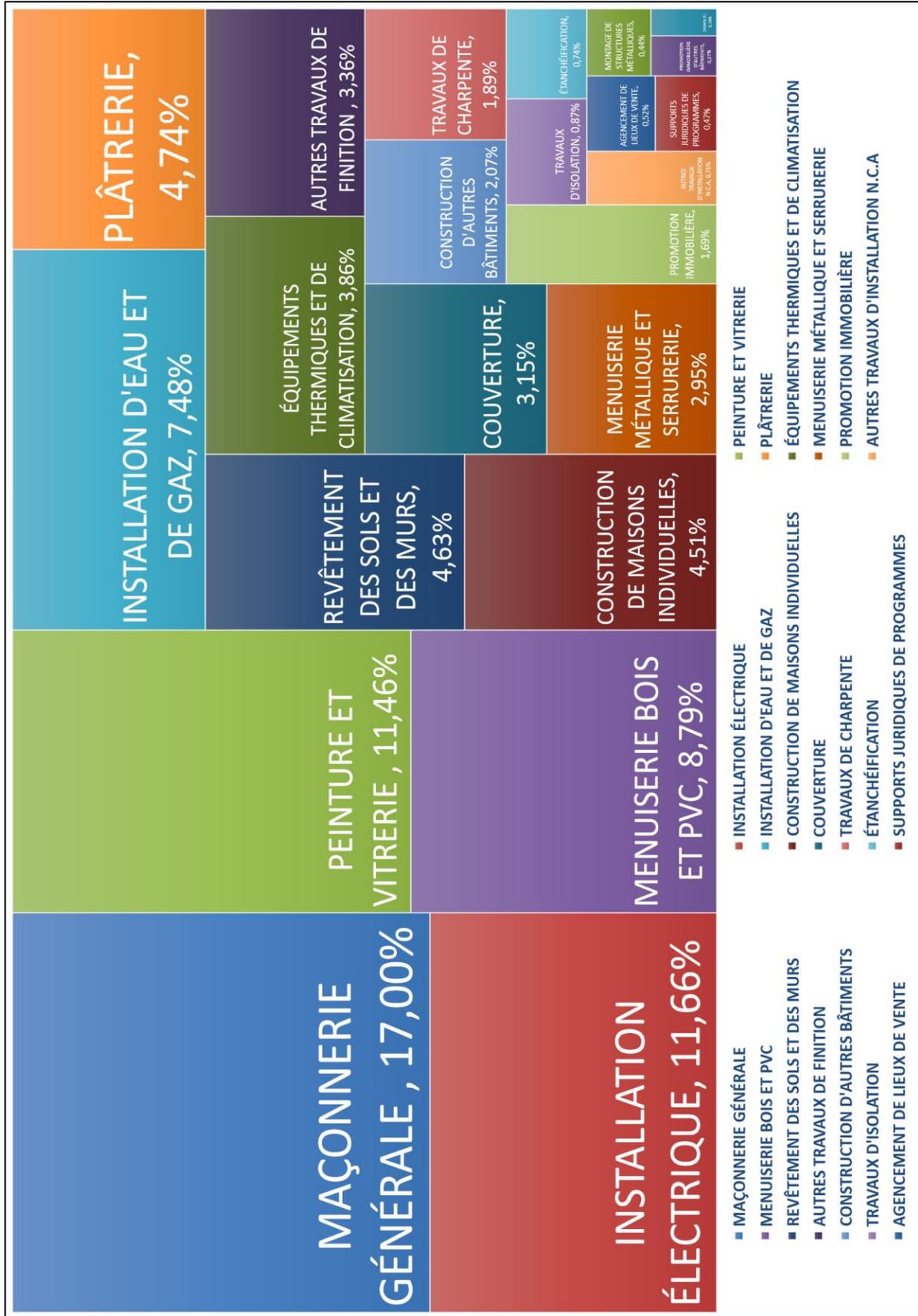


Figure 11 : Répartition des entreprises françaises par corps d'état selon l'Observatoire des Métiers

Enfin, la situation sera différente selon que le contractant est l'utilisateur final ou un tiers (économiste, par exemple). L'ensemble de ces éléments laisse par conséquent présager un champ d'étude particulièrement hétérogène et diversifié, rendant la réflexion dans son ensemble riche et stimulante. Pour toutes ces raisons, la mise en œuvre du BIM nécessite des développements avec et pour les utilisateurs dont les caractéristiques sont encore approfondies dans les parties à suivre.

1.2.3 Enjeu sociétal

1.2.3.1 Typologie des entreprises

D'autres caractéristiques importantes liées à ce secteur peuvent être ajoutées et concernent en particulier la taille des entreprises du secteur. La typologie des entreprises définie par la Commission européenne est considérée comme référence dans cette étude (European commission, 2003) : les *microentreprises* (μ Ent), communément appelées TPE¹⁰ en France, correspondent donc aux entreprises qui comptent moins de 10 employés et qui atteignent un chiffre d'affaires annuel inférieur à 2 millions d'euros. Les *petites entreprises* (PEnt) sont celles qui comptent moins de 50 employés, avec un chiffre d'affaires annuel inférieur à 10 millions d'euros, alors que la catégorie des *petites et moyennes entreprises* (PME) regroupe les entreprises qui emploient moins de 250 personnes. En Espagne, par exemple, les PME sont les principaux employeurs dans le génie civil et la réhabilitation des bâtiments (Segarra Cañamares *et al.*, 2017). Dans son étude, Owen souligne qu'au Royaume-Uni, les trois quarts de toutes les entreprises qui travaillent sur les biens résidentiels emploient trois personnes ou moins (Owen, 2016). En fin de compte, la majeure partie de ce marché est partagée par les entreprises qui emploient moins de 20 personnes ; c'est, par exemple, le cas en France pour les deux tiers des travaux de rénovation (CAPEB, 2016). En outre, les *microentreprises* représentent 93 % ou 95 % du secteur de la construction au Royaume-Uni et en France, et vraisemblablement encore plus dans le secteur de la rénovation, avec une activité importante des entreprises individuelles (Office for National Statistics, 2016b), (CAPEB, 2016). L'INSEE précise même que les entreprises de la construction en France ont en moyenne 2,5 salariés (INSEE, 2015a).

1.2.3.2 Caractéristiques et comportements des acteurs principaux de ce secteur

L'état des lieux présenté précédemment n'est pas sans conséquence. Le rapprochement avec ce que vivent les PME manufacturières à l'heure de l'industrie 4.0 (Kagermann *et al.*, 2013) est assez aisé. Les entreprises de construction devront évoluer vers le BIM et cette évolution ne se fera pas sans certaines difficultés. Comme l'explique Moeuf, la structure organisationnelle des PME, et encore plus celle des *microentreprises*, se caractérise par une gestion de proximité et une forte implication des gestionnaires dans toutes les décisions (Moeuf *et al.*, 2018). Un manque d'expertise dans les fonctions supports de type gestion de la chaîne logistique, dans les technologies de l'information ou en gestion financière y est généralement constaté. Relativement aux grandes entreprises, elles ont une productivité plus faible, des coûts plus élevés et moins de ponctualité lors des livraisons. Les nouvelles technologies numériques, associées à l'industrie 4.0, permettent de simplifier et de mieux maîtriser le flux d'informations et peuvent, par conséquent, sembler attrayantes. Cependant, l'introduction de ces dernières et leurs

¹⁰ TPE : Très Petites Entreprises

exploitations sont toujours risquées dans les PME, en particulier parce que les exigences que cela impose ne sont toujours pas pleinement identifiées. La plupart des PME ont également une stratégie à court terme qui est incompatible avec les investissements à long terme que peuvent nécessiter des Systèmes d'Information (SI) tels que des ERP¹¹ (Enterprise Resource Planning) ou le BIM.

Toutefois, un changement de paradigme semble s'opérer. Moins de 20 ans auparavant, la plupart des PME établissaient des stratégies à court terme incompatibles avec de lourds investissements (Torres, 1999), (Mazzarol, 2004). À présent, de récentes études précisent que l'état d'esprit au sein des PME et l'absence de planification stratégique qui peuvent être observés, sont plus étroitement liés au propriétaire-gestionnaire et à sa motivation, qu'à de réels obstacles liés à l'organisation (Wang, Walker et Redmond, 2007). La rapidité de l'actuelle évolution des attentes formulées par les entreprises, la société et les consommateurs explique ces changements fondamentaux. L'engagement des PME pour davantage de développement durable s'accompagne, par exemple, nécessairement d'une vision à long terme (Jansson *et al.*, 2017). Cette vision apparaît également nécessaire et guidée par un large éventail de décisions managériales liées à différents secteurs ou activités de l'entreprise. Ce sera le cas pour des sociétés tournées vers l'entretien et la maintenance, la recherche et développement, l'innovation, la formation, les services nécessitant la fidélisation de la clientèle, ou enfin la création de joint-ventures et de partenariats (Souder, Reilly et Ranucci, 2015). Cette projection à long terme et les changements qu'elle nécessite inspirent notre recherche aujourd'hui. De profondes modifications doivent voir le jour au sein du secteur de la construction et des investissements sur le long terme semblent donc à prévoir. Ces structures de faible taille doivent par conséquent être accompagnées pour passer un certain nombre de paliers dans les années à venir. Elles souffrent actuellement d'un manque de visibilité et d'un positionnement trop en retrait face aux institutions ou aux donneurs d'ordres. Au Royaume-Uni Kouider et Paterson ont noté à ce sujet, en 2013, que le BIM était accessible et à même d'offrir des avantages concurrentiels aux grandes organisations, mais que, déjà à l'époque, les *microentreprises* avaient été laissées en marge du débat (Kouider et Paterson, 2013). Quelques années plus tard, la situation reste inchangée. De même qu'en France, au Royaume-Uni, pourtant parmi les leaders en termes de déploiement du BIM, environ 75 % des PME de la construction, qui forment l'épine dorsale du marché de la construction, sont non-BIM et préfèrent toujours travailler sur plans 2D (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016). Ce média n'est, bien sûr, pas à opposer au BIM. Il s'agit d'un support traditionnel autour duquel plusieurs acteurs de métiers différents peuvent collaborer. Au lieu de constituer un point d'entrée, la 2D devient avec le BIM l'un des moyens de collaboration de faible niveau, parmi d'autres de plus haut niveau tels que la 3D ou les résultats de simulations numériques. Un parallèle entre l'AEC et l'ingénierie mécanique est possible. Le plan technique 2D n'est aujourd'hui, dans la conception du produit, rien de plus qu'une donnée contenue dans le PLM (Product Lifecycle Management). Par conséquent, l'une des difficultés à surmonter et à dépasser sera, par exemple, le fait que les acteurs de l'AEC, en rénovation, maîtrisent peu la CAO, et encore moins la mise à jour ou les échanges de données numériques et techniques.

¹¹ **ERP** : Système d'information permettant de gérer et de suivre au quotidien l'ensemble des informations et des services opérationnels d'une entreprise.

1.3 Problématique de la thèse

Malgré ses réussites en construction neuve et ses nombreuses promesses, le BIM ne semble pas susciter à l'heure actuelle d'engouement majeur dans le secteur de la rénovation. Il convient de s'interroger sur les raisons de cette méfiance, mais aussi sur les leviers à actionner ou à développer pour accélérer sa diffusion au sein de ce secteur, dont l'importance économique est avérée.

La situation décrite précédemment laisse craindre une diversité et une hétérogénéité fortes parmi les très nombreux acteurs de la rénovation. Le saut technologique et organisationnel qui se dessine n'est vraisemblablement pas à la portée de toutes les *micros, petites ou moyennes entreprises* qui nous intéressent ici. Sans outil adapté, sans support scientifique et institutionnel fort, le risque de voir apparaître un monde et une économie à deux vitesses est probable et semble même déjà effectif. Au-delà des prédictions de grands cabinets de conseil évoquées en introduction, le BIM va devenir à l'avenir une des préoccupations des entreprises encore focalisées aujourd'hui sur les seuls chantiers et techniques liées à leurs métiers.

Ces différents constats nous amènent à faire émerger les questions de recherche suivantes :

Dans quelle mesure le BIM, dont l'efficacité est aujourd'hui prouvée dans le domaine de la construction neuve, peut-il être une aide appropriée pour les entreprises de la rénovation ?

Les entreprises engagées en rénovation sont-elles suffisamment caractérisées et comprises pour pouvoir être accompagnées efficacement ? Si tel n'est pas le cas, comment mieux appréhender leurs fonctionnements, usages et capacités ?

Quels peuvent être les facteurs clés, les pratiques innovantes, mais également les freins à la mise en œuvre du BIM au sein de ces petites structures ?

Dans quelle mesure l'élaboration d'un Modèle de Maturité à destination des entreprises pratiquant la rénovation est-elle envisageable et pertinente ?

Pour être en mesure de répondre à ces questions de recherche, et après avoir clarifié le contexte et les enjeux, nous allons à présent analyser plus précisément encore le milieu de la rénovation, les processus en place, les besoins et les moyens des acteurs qui doivent rester le point central de la réflexion. Il convient également d'approfondir l'analyse des travaux scientifiques mettant l'accent sur les outils et méthodologies d'implantation du BIM, ou de Systèmes d'Information équivalents. Seuls ceux transposables aux entreprises de petite taille dans toutes leurs diversités, et ce malgré d'éventuelles différences d'environnement économique et industriel seront retenus. Enfin, toutes les références collectées évoquant le BIM à des fins de rénovation seront des sources supplémentaires d'informations utiles à notre réflexion dans la suite de ce travail de recherche.

Chapitre 2. Etat de l'art : Adéquation BIM/Rénovation ? Niveau d'avancement du secteur pour l'implantation et l'utilisation du BIM ?

Les exemples industriels vantant les intérêts du BIM se multiplient, et certaines expériences de grande ampleur interpellent. Il est possible de citer, par exemple, son utilisation récente au Centre National d'Art Contemporain de Beaubourg pour la maintenance, la gestion des surfaces, des vitrages (CAD-UC, 2017), ou la mise en place d'une gestion *via* des bases de données numériques BIM du patrimoine immobilier du Conseil Régional de Bourgogne depuis 2002 (Masson, 2016). En vue d'une transposition à notre périmètre d'étude, et pour davantage de pertinence, une étude plus approfondie des données scientifiques disponibles est cependant nécessaire.

2.1 Littérature scientifique du BIM pour la rénovation

La compréhension et l'analyse des données disponibles mettant en évidence le lien ou l'intérêt du BIM pour le secteur de la rénovation sont des éléments clés de ce travail de recherche. Au début de cette thèse, la requête de publications scientifiques comportant BIM (ou Building Information Modelling/Modeling) dans le titre permettait d'obtenir plus de 2500 réponses en lien avec la construction, sur une base de données telle que Google Scholar (GS) et environ 250 pour Science Direct (SD). Ces chiffres soulignent bien l'effervescence scientifique qui accompagne le déploiement progressif de ces nouvelles méthodologies de travail au sein du milieu de la construction. Cependant, en ajoutant dans le titre les mots clés ***Renovation, Refurbishment, Rehabilitation ou Retrofit***, seulement 42 articles étaient identifiés, selon les répartitions présentées en Figure 12.

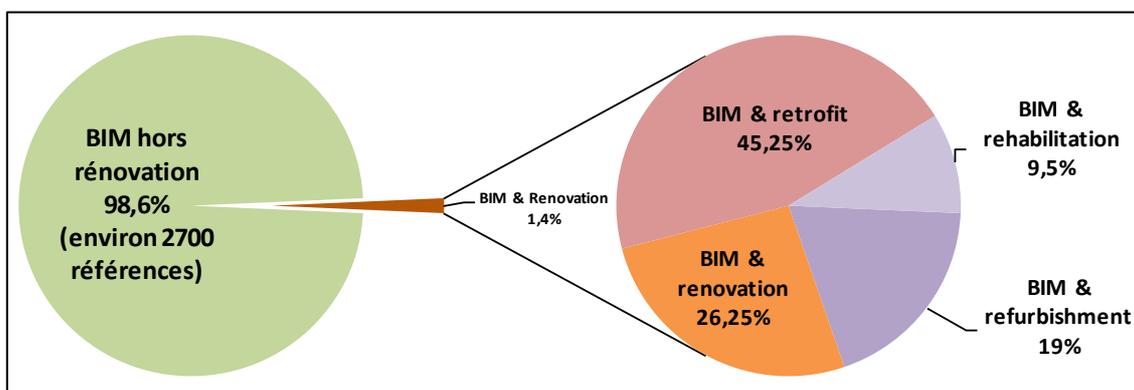


Figure 12 : Répartition des publications issues des bases de données GS et SD comportant BIM et *Renovation, Refurbishment, Rehabilitation* ou *Retrofit* dans le titre

Nous avons conscience qu'il s'agit ici d'une vision légèrement « biaisée » puisque des travaux peuvent évoquer la rénovation sans que le titre ne le mentionne. Toutefois, il n'est pas abusif de penser qu'un auteur voulant mettre l'accent sur ce secteur l'aura évoqué dans l'intitulé même de sa publication. Les thèmes qui ressortent sont présentés de façon synthétique dans le Tableau 2. Certaines caractéristiques des développements ou des chantiers étudiés, utiles pour la suite de notre analyse, ont été également ajoutées dans le tableau. Il apparaît de façon évidente que les spécificités liées aux activités de rénovation, ou aux typologies d'entreprises concernées n'ont pas encore été beaucoup abordées et prises en considération.

La recherche de BIM et *Restoration* dans Science Direct ne donne aucun résultat et seulement 4 sur Google Scholar. Ces derniers se focalisent principalement sur la numérisation et l'acquisition de données relatives au patrimoine au sein de bâtiments historiques (de même que les travaux de (Khodeir, Aly et Tarek, 2016) utilisant le terme *Retrofit*). Ce type de travaux, jugé hors périmètre, ne figure donc pas dans la synthèse (Tableau 2) constituée autour des sujets majeurs suivants :

- [De] Estimation du volume de déchets avant rénovation ou destruction.
- [So] Études et sondages concernant les intérêts et les freins à l'introduction du BIM dans la rénovation.
- [Ge] Vision généraliste des intérêts du BIM et des objectifs de la rénovation (confort, esthétique, énergie, aide au choix...).
- [Bi] Synthèse bibliographique des publications scientifiques ayant pour mot clé « *BIM, Maintenance, Refurbishment, Renovation Facility Management* ou *Retrofit* ».
- [RE] Maquette numérique et rénovation environnementale.
- [WBS] Gains financiers et de planification obtenus en décomposant les tâches selon le principe du Work Breakdown Structure¹² (WBS) défini, par exemple, par le Project Management Institute (Snyder, 2014).
- [4D] Gains liés à la 4D¹³.
- [Pr] Gains liés à la préfabrication.
- [SCo] Études des gains dans le cadre d'un site produisant des semi-conducteurs.
- [St] Standardisation des espaces et des équipements, optimisation Coût-Qualité-Délai (dans le contexte à « budget important » en milieu hospitalier au Royaume-Uni).
- [Se] Estimation des dommages et des coûts de rénovation en cas de séisme.

¹² **WBS** : Décomposition hiérarchique, axée sur les livrables, du travail que l'équipe de projet doit exécuter pour atteindre les objectifs du projet et produire les livrables voulus. Le WBS organise et définit le contenu total du projet.

¹³ **4D** : Ajout d'une donnée de temps aux trois dimensions géométriques des objets. Cela permet de les relier au planning de construction.

Sujets majeurs abordés	BIM et <i>Refurbishment</i>	BIM et <i>Renovation</i>	BIM et <i>Retrofit</i>	BIM et <i>Rehabilitation</i>
[De]		(Cheng et Ma, 2013)		
[So]	(Kim et Park, 2013) (Park et Kim, 2014) → Logements au RU	(Roorda et Liu, 2008) → Galerie d'art de l'Alberta (Keegan, 2010) → Rénovation de campus aux USA.		
[Ge]	(Sheth, Price et Glass, 2010) → Dans un contexte hospitalier	(Lin, 2012) → "open building" à Taipei	(Vital et Cory, 2015) → Après numérisation d'un bâtiment d'environ un siècle	(Oloke, 2016)
[Bi]	(Ilter et Ergen, 2015)			
[RE]	(Alwan, 2015) (Blenkarn, 2015) (Gholami <i>et al.</i> , 2013a)	(Aldanondo <i>et al.</i> , 2014) (Di Mascio et Wang, 2013) (Hammond, Nawari et Walters, 2014) (Lad, Patel et Rathod, 2016) (Rasiulis <i>et al.</i> , 2015)	(Alliata, 2015) (Bu <i>et al.</i> , 2015) (Elmani, 2015) (Guo <i>et al.</i> , 2014) (Miller, 2014) (Ham, 2015) (Giuda, Villa et Piantanida, 2015) (Da Silva, Salgado et Da Silva, 2015) (Göçer, Hua et Göçer, 2016) (Cimino et Colombo, 2015) (Khaddaj et Srour, 2016) (Gholami, Kiviniemi et Sharples, 2015) (Tersigni, 2013) (Gholami <i>et al.</i> , 2015) (Kim, 2015)	(Lagüela <i>et al.</i> , 2013)
[WBS]		(Cha et Lee, 2014) → Budget d'environ 4,7 millions d'€		
[4D]			(Chaves <i>et al.</i> , 2015) → habitat social, ensemble de 7 maisons	
[Pr]		(Peabody et Coffin, 2008) → locaux de l'University of California San Francisco	(Cribbs, 2016) → Projet de 400 millions de \$.	
[SCo]			(Ghosh, 2015) → Projet de 400 millions de \$	
[St]	(Ahmad, 2014)			
[Se]				(Georgiou, Christodoulou et Vamvatsikos, 2014) (Charalambos et Dimitrios, 2014)

Tableau 2 : Synthèse des publications issues des bases de données GS et SD comportant BIM et *Renovation*, *Refurbishment*, *Rehabilitation* ou *Retrofit* dans le titre

Ce bilan, quoique partiel, puisque limité aux publications disponibles sur ces deux bases de données depuis la création du BIM et jusqu'en décembre 2016, a plusieurs vertus. Il justifie le choix de considérer l'ensemble des mots clés de façon assez « ouverte ». Il souligne également que le secteur de la rénovation n'est pas le cœur de cible des réflexions scientifiques liées au BIM avec seulement 42 publications spécifiquement dédiées à ce secteur sur des milliers déjà publiées en 2017 (soit moins de 2 % des publications). Quelques mois avant notre travail de recherche, Ilter et Ergen avaient d'ailleurs obtenu des résultats similaires avec seulement 5 résultats sur 500 articles en interrogeant d'autres bases de données (Ilter et Ergen, 2015). Une récente « Analyse et revue bibliométrique » de 381 documents aboutit aux mêmes conclusions (Santos, Costa et Grilo, 2017). Les termes PME et rénovation ne sont quasiment jamais abordés (à moins de 5 reprises) et ne constituent bien évidemment pas une catégorie spécifique dans les synthèses finales proposées, en dépit des spécificités et des parts de marché qu'elles représentent. Le tableau précédent révèle enfin une vision restreinte du secteur de la rénovation

puisque près de 60 % des publications visent l'optimisation énergétique et une couverture très partielle de l'ensemble du périmètre défini dans les parties 1.2.2 et 1.2.3 (en raison également des échelles ou des coûts des projets "moyens" étudiés).

Signalons enfin que d'intéressants travaux complémentaires, dont le titre n'évoque pas la notion de rénovation, mais qui présentent dans leur contenu des stratégies déployées lors de la mise en œuvre du BIM en rénovation, ont été considérés. Toutefois, les modèles d'entrée ne sont, une fois encore, pas toujours compatibles avec les objectifs de notre travail (Hartmann *et al.*, 2012), (Gledson, Henry et Bleanch, 2012). Dans ces études, on constate en effet :

- des coûts de projet de plusieurs centaines de millions d'euros pour le premier ;
- des typologies d'entreprises non représentatives (une entreprise de 4 000 employés aux Pays-Bas pour l'étude d'Hartmann *et al.* et seulement 23 % de petites entreprises ont été interrogées dans la deuxième étude de cas) ;
- la maîtrise systématique de pratiques élaborées de management de projets, de planification, de découpage du projet (de type WBS) pour estimer la durée ou la structure du projet ;

Ces caractéristiques semblent peu cohérentes avec notre cœur de cible ; la généralisation de ces cas particuliers à l'ensemble des acteurs de la rénovation peut donc s'avérer, en l'état, trop risquée.

Ce premier constat, révélant un manque d'intérêt des chercheurs pour le secteur de la rénovation, n'est certainement pas anodin et peut, en partie, expliquer en retour les réticences de ses acteurs envers le déploiement du BIM. Il est intéressant, cependant, de compléter ce constat en élargissant encore la réflexion : nous nous proposons, pour cela, d'interroger d'autres sources d'informations et de conseils qui pourraient être vecteurs de confiance pour convaincre les responsables d'investir dans le BIM. Selon nos résultats, cette seconde analyse nous aiderait également à appréhender les doutes qui pourraient ralentir encore, voire bloquer les décideurs.

2.2 Nature et conséquences des investissements liés au numérique

En rénovation, la maquette numérique est une technologie trop récente pour être *a priori* disponible. Il conviendra donc de la construire à l'image du bâtiment existant. On parle alors de maquette « *As-Built* ». C'est une tâche complexe en raison des imperfections du bâtiment réel, et cette restitution, souvent chronophage, met en œuvre diverses solutions de numérisation (Landrieu *et al.*, 2013), (Volk, Sevilmis et Schultmann, 2015). De manière générale, la synthèse proposée par Volk *et al.*, proposée en Figure 13, résume bien les scénarii à considérer (Volk, Stengel et Schultmann, 2014).

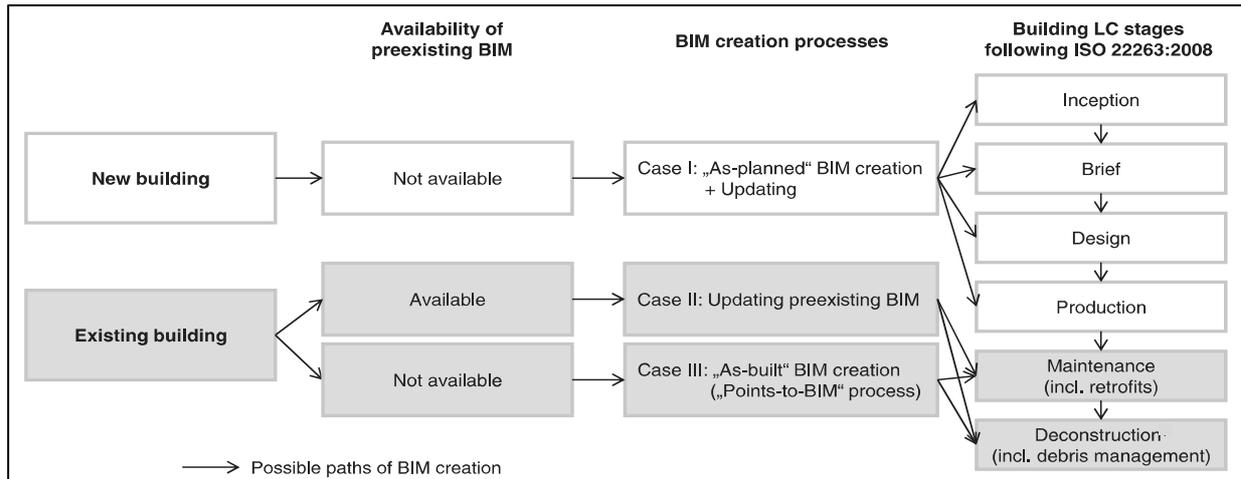


Figure 13 : Synthèse du processus de création de la maquette BIM au regard du cycle de vie d'une construction neuve ou existante d'après Volk *et al.*

Pour améliorer la précision et la rapidité de cette acquisition, de nombreuses solutions tendent, depuis quelques années déjà, à se développer comme la reconnaissance d'objets et l'insertion/prévision automatique des objets invisibles (Tang *et al.*, 2010). Les professionnels développent également des moyens de relevés toujours plus innovants dont ils vantent la performance, l'ergonomie et la précision. Outre des solutions par drones, 3D Laser Mapping, par exemple, propose un procédé original d'acquisition permettant l'obtention de 43 200 points par seconde avec une précision annoncée de $\pm 0,1\%$ et ne nécessitant qu'un simple déplacement, appareil en main, à l'intérieur du bâtiment (3dlasermapping, 2015). La maîtrise de ces solutions de réingénierie n'est toutefois réalisable qu'au prix d'importants investissements financiers (directs ou indirects : main-d'œuvre à former par exemple), et leur intégration au sein de petites structures, encore peu « digitales » engendrera assurément d'importants bouleversements.

Pour promouvoir le BIM, et justifier son déploiement, la FFB (Fédération Française du Bâtiment) évoque dans différents rapports les coûts des défauts d'interopérabilité (Léglise et Ferrière, 2009). Ces derniers seraient au minimum, de 35 €/m² en construction pour les entreprises et de 2,3 €/m²/an en exploitation pour les Maîtres d'Ouvrage ou les gestionnaires de patrimoine. Toutefois rien dans ce rapport n'évoque le contexte de la rénovation. Bien d'autres chiffres attestent de la rentabilité et des gains d'interopérabilité, mais ces derniers sont souvent réalisés dans des contextes éloignés de notre champ de recherche. C'est le cas, par exemple, des travaux d'Eastman *et al.* s'appuyant sur de nouvelles constructions, évoquant la nécessité d'investir dans 13 stations de travail BIM (Eastman *et al.*, 2011, p. 346). Barlish et Sullivan détaillent les gains obtenus dans le cadre de travaux réalisés au sein d'une entreprise de semi-conducteurs et avec une expérience en BIM de plus de 10 ans (Barlish et Sullivan, 2012). Azhar propose 3 cas d'études de rénovation, mais ce sont des projets de plusieurs centaines de milliers de dollars (Azhar, 2011). 6 articles présentés précédemment (Tableau 2) concernent des programmes et des budgets, nous l'avons déjà souligné, « hors du commun » pour une entreprise artisanale caractéristique du secteur de la rénovation.

Au-delà des solutions de numérisation qui, pour des raisons financières et techniques, restent pour l'instant hors de portée de la majorité des *microentreprises* en France, le simple coût des licences BIM et des équipements pour passer de la 2D à la 3D pose question. Une fourchette de 8 000 à 15 000 € est, par exemple, proposée par CINOV (Fédération des Syndicats des

Métiers de la Prestation Intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique), sans parler des heures de formations nécessaires à la maîtrise de ces outils numériques (Delcambre, 2014).

Un chef d'entreprise ou un utilisateur convaincu ne pourra, par ailleurs, que constater, en questionnant le menu « rechercher » de sites tels que buildingsmart.org, nationalbimstandard.org ou mediaconstruct.fr, qu'aucun article, conseil ou recommandation concernant le secteur de la rénovation n'est disponible en réponse aux mots clés « *Refurbishment* », « *Renovation* », « *Restoration* ». Les témoignages dans la presse ou sur Internet émanent pour la plupart de grands groupes et tous font la part belle aux expériences dans le secteur du neuf. Les expériences évoquant la rénovation sont généralement plus mitigées comme celle publiée récemment dans *Les Cahiers Techniques du Bâtiment*, qui confirme nos interrogations et interpelle sur ce monde à deux vitesses et le temps perdu par les *microentreprises* pour se former et tenter de passer au numérique (Rochard, 2015). Pour simplifier certaines démarches de capitalisation, des solutions numériques commencent à voir le jour, comme l'application GISELE, « *mémoire technique de la construction et guide d'information sur le bon usage des équipements* » (QUALITEL, 2015). Cette dernière, développée par l'association QUALITEL en 2010 et mise à l'essai depuis, permet des échanges et du stockage d'informations pour des logements sociaux ou des copropriétés « neuves » ayant obtenu un label énergétique délivré par CERQUAL. Cette base de données pourra ensuite être utilisée à des fins de rénovation ou d'entretien de ces mêmes logements. Cette application ne concerne toutefois que des constructions récentes et elle n'est actuellement pas compatible avec des logiciels BIM. Il est difficile, dans ces conditions, de parler de tremplin vers le BIM. Ce n'est donc qu'une expérience supplémentaire pouvant être perçue comme encourageante par certains acteurs, ou comme incitant à la prudence pour d'autres, selon la « maturité » de leur entreprise.

Conscient du retard pris par le secteur de la rénovation, le Ministère français du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité, tente d'inverser la tendance. Pour faciliter l'accès au numérique pour les *microentreprises*, il a lancé un *Recensement d'Initiatives* concernant le *carnet numérique de suivi et d'entretien du logement*. Il a également édité en juin 2015 sa feuille de route opérationnelle insistant sur la nécessité « *d'embarquer dans le numérique tous les acteurs du bâtiment, et notamment les entreprises artisanales du secteur (moins de 10 salariés)* » (Ministère du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité, 2015). Nous ne sommes donc qu'au début d'un défi organisationnel et technologique majeur.

Par conséquent, il est particulièrement difficile d'affirmer à ce stade de la recherche si l'investissement est à la portée de ces *microentreprises* et doit être rendu systématique. De nombreuses solutions nécessitent de posséder la maquette de l'édifice ou de la reconstruire, mais la question de la faisabilité et de la rentabilité des investissements nécessaires reste encore discutable en rénovation. Des solutions ou des intentions voient le jour, mais on peut s'attendre à ce que seuls quelques précurseurs aient suffisamment d'assurance et de confiance pour se lancer. La partie 2.3 à suivre se veut cependant rassurante sur tous ces points, et propose de « clarifier » ce que le BIM peut apporter à cette profession dont la position actuelle s'avère finalement assez inconfortable.

2.3 Pertinence du BIM en rénovation ? Analyse SWOT

Les avis sont donc encore partagés quant à l'utilisation du BIM en rénovation, et *a fortiori* par de très petites entreprises. Les gains potentiels et les intérêts d'une telle technologie ne sont pas toujours compris ; les supposées faiblesses de ces sociétés et les risques encourus lors de la mise en œuvre du BIM sont encore trop souvent des *a priori* négatifs. Des expériences positives et des études de cas sur la question existent cependant dans la littérature ou peuvent

être rapprochées de nos interrogations. L'approche SWOT qui est un outil heuristique managérial permettant de déterminer les options stratégiques envisageables au niveau d'un domaine d'activité primordial, apparaît ici comme une solution intéressante pour guider notre réflexion comme l'illustrent les Tableaux 3 et 4.

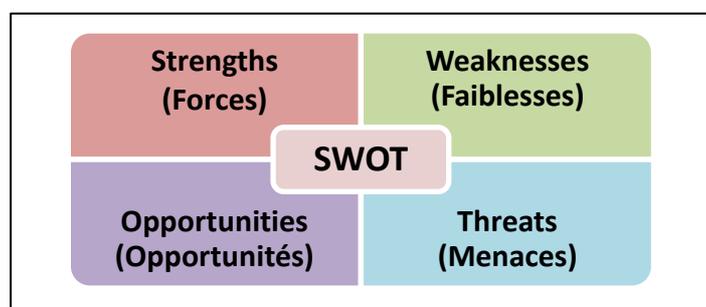


Tableau 3 : Format générique d'une analyse SWOT

Le SWOT nous sert ici de support pour l'analyse non exhaustive de quelques-unes des **forces** et **faiblesses** des entreprises de rénovation pour mettre en œuvre le BIM. Il souligne également des **opportunités** attendues ou apportées par le BIM et décrit les **menaces** actuelles encourues par le secteur. Ces menaces pourraient, selon les circonstances, expliquer la prudence constatée, ou au contraire, aider la profession et les entreprises à prendre la mesure de l'urgence de changer de paradigme. **Les données relatives aux PME ou à la rénovation apparaissent en gras dans le tableau.**

Forces des entreprises
Étude mettant en évidence l'ouverture et le souhait de certaines PME d'acquérir de nouvelles compétences (Mellon et Kouider, 2014)
Compétences métier et parts de marché importantes (Joblot, Deneux, <i>et al.</i> , 2017)
Menaces existantes
Manque de données disponibles sur les gains de productivité et la viabilité financière, mais le BIM devrait être pratiqué pour connaître cette durabilité (Ramanayaka et Venkatachalam, 2015)
Manque d'interopérabilité des logiciels de BIM afin de permettre un échange facilité des données (Folorunso et Uthman, 2015) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011) (Pärn et Edwards, 2017) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Khaddaj et Srour, 2016)
Manque de maturité BIM pour une adoption complète dans des projets de remise à neuf (Khaddaj et Srour, 2016)
Taux élevé de défaillances d'entreprises au sein du secteur (INSEE, 2016a)
Émergence de nouvelles start-up avec le BIM. Pas de réticences et pas de transition BIM puisque ce sont des utilisateurs innés (Joblot, Deneux, <i>et al.</i> , 2017)
Manque d'études sur le BIM dans les microentreprises et en rénovation (Santos, Costa et Grilo, 2017) (Joblot, Paviot, <i>et al.</i> , 2017)
Risque de disparition sans une évolution vers le BIM (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017)
Procédures manuelles laborieuses et coûteuses et risques d'erreurs lors de la modélisation à partir de nuages de points (Pärn et Edwards, 2017)

Opportunités liées au BIM
Utilité du BIM lors d'activités de gestion du patrimoine ou des garanties, du suivi des installations, de l'élaboration des DOE...(Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017) (Pärn, Edwards et Sing, 2017) (Succar, Sher et Williams, 2013)
Apparition de la réalité augmentée, de nouvelles fonctionnalités à n dimensions (coûts, planning...)(Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Abhinav et Varshney, 2017)
<i>Evaluation post occupationnelle</i> (EPO) (Ozturk, Arayici et Coates, 2012)
Création de nouveaux rôles et emplois (BIM manager, responsable de la conception et modélisation 3D, Data Manager, modélisation environnementale...) orientés vers une main-d'œuvre jeune et qualifiée (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Arrivée de jeunes recrues possédant davantage de compétences informatiques et des connaissances en BIM facilitant son introduction (Lindgren et Widén, 2016) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Développement de nouvelles solutions de gestion et d'organisation en raison des Technologies de l'information et de la communication, tablettes, RFID, Building Management System (BMS) ...)(Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Force du travail collectif et intérêt des notions d'alliance (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016) (Owen <i>et al.</i> , 2013)
Nombreuses opportunités offertes aux entreprises, compétences de niche, nouvelles fonctionnalités pour améliorer les services client, apport de croissance aux PME, accès à la sous-traitance...(Takim, Harris et Nawawi, 2013) (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Owen <i>et al.</i> , 2013)
Nécessité de décloisonnement et migration vers de nouveaux projets de construction ou de plus grands marchés. Capacité à rivaliser avec les mêmes outils et les mêmes compétences que les grandes organisations (Owen <i>et al.</i> , 2013)
Augmentation de la productivité et de l'efficacité du travail (des flux de travaux par exemple) Accès à des informations à jour, réduction des erreurs / élimination, diminution des reprises. Capacité de visualiser et de gérer des informations complexes, etc. (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Folorunso et Uthman, 2015) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Constructions actuelles et futures construites en BIM à rénover à terme (Joblot, Deneux, <i>et al.</i> , 2017)
Réduction des coûts, des délais et des dépassements (Badrinath, Hsieh et Kumar, 2016) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Owen <i>et al.</i> , 2013)
Avantages potentiels sur la planification (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017) (Larsen <i>et al.</i> , 2011)
Facilitation de la réalisation intégrée des projets (Integrated Project Delivery) et du contrôle qualité (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017) (Folorunso et Uthman, 2015) (AIA, 2007)
Surveillance / gestion / maintenance des équipements et des installations à l'aide de capteurs intégrés (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017) (Braaksma, 2016) (Motawa et Almarshad, 2013)
Clarification en conception / ingénierie / gestion du périmètre. Réduction des litiges (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017) (Badrinath, Hsieh et Kumar, 2016) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017)
Facilitation d'une prise de décision très en amont lors de la rénovation de logements (Kim et Park, 2016) (Gholami <i>et al.</i> , 2013b)
Facilitation des processus de rénovation durable (Gholami <i>et al.</i> , 2013b)
Optimisation d'éclairage (Larsen <i>et al.</i> , 2011) Optimisation énergétique (Khosrowshahi et Alani, 2011)
Visualisation rapide et revue des problèmes (Khosrowshahi et Arayici, 2012)
Amélioration de la coordination entre les consultants (Folorunso et Uthman, 2015) (Mäkeläinen, Hyvärinen et Rekola, 2017)
Amélioration de la construction et facilitation du Lean Design (Khosrowshahi et Arayici, 2012)
Réduction du gaspillage et meilleure gestion des déchets, de la construction à la démolition (Won et Cheng, 2017) (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Folorunso et Uthman, 2015)
Optimisation de la sécurité des collaborateurs au cours des travaux (Wang, Zhang et Teizer, 2015)
Utilisation de la préfabrication (Won et Cheng, 2017) (Nath <i>et al.</i> , 2015)
« 80 % des coûts d'exploitation, de maintenance et de remplacement d'un bâtiment sont déterminés dans les premiers 20 % du processus de conception » (ISO, 2008)
Développement de « simulateurs » permettant la visualisation et le suivi de travaux sur tablettes (Nicolas <i>et al.</i> , 2013)
Amélioration de la gestion des risques (Khosrowshahi et Arayici, 2012)
Premiers pas vers un « carnet de santé » du bâtiment (Cau et Pouget, 2014) (Hovorka et Mit, 2014)
Optimisation des approvisionnements en matériaux (Ibem et Laryea, 2014)

Les faiblesses des entreprises
Absence de normalisation (Ghosh <i>et al.</i> , 2011) (Mohd <i>et al.</i> , 2016)
Taux de productivité faible stagnant (INSEE, 2017b)
Résistance culturelle au changement (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mohd <i>et al.</i> , 2016) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011)
Importance du coût de la formation BIM (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mohd <i>et al.</i> , 2016) (Folorunso et Uthman, 2015) (Mellon et Kouider, 2014) (Pärn et Edwards, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
Ascendant psychologique des coûts de mise en œuvre immédiats sur les avantages (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
Manque de capitaux pour investir et utiliser le matériel et les logiciels appropriés (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mohd <i>et al.</i> , 2016) (Folorunso et Uthman, 2015) (Takim, Harris et Nawawi, 2013) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011) (Mellon et Kouider, 2014) (Pärn et Edwards, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
BIM jugé trop risqué d'un point de vue de la responsabilité pour justifier son utilisation (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011) (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Mellon et Kouider, 2014)
Déficit et complexité de relations interorganisationnelles (Succar, Sher et Williams, 2013) (Papadonikolaki, 2016)
Gestion de la propriété, de la sécurité/confidentialité des données, et réticences à les partager (Beach <i>et al.</i> , 2017) (Folorunso et Uthman, 2015) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011)
Difficultés de diffusion des innovations interorganisationnelles (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Lindgren et Widén, 2016) (Sackey et Akotia, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016) (Dalla Valle, Lavagna et Campioli, 2016)
Manque de connaissances ou de ligne directrice BIM (Mohd <i>et al.</i> , 2016) (Folorunso et Uthman, 2015) (Ghosh <i>et al.</i> , 2011)
Forte implication des architectes : nouveaux rôles et nouvelles rétributions à prendre en considération (Joblot, Deneux, <i>et al.</i> , 2017)
Besoin de solutions plus faciles à installer et à mettre en œuvre (Lindgren et Widén, 2016)
Peu de demandes client en BIM (Khosrowshahi et Arayici, 2012)
Efforts requis difficiles pour les microentreprises (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Khaddaj et Srouf, 2016)
Absence d'une stratégie BIM nationale ou professionnelle claire et cohérente (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Très peu d'indicateurs, de standards ou de procédures normalisées. Besoins de mise à niveau des systèmes d'assurance qualité (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
Peu de plans 2D et des logiciels de dessin dédiés (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Cuš Babic et Danijel Rebolj, 2016)
Préoccupations juridiques liées à la propriété du modèle. Questions de droit d'auteur sur les informations relatives aux projets (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Pärn et Edwards, 2017) (Dalla Valle, Lavagna et Campioli, 2016)
Risques d'erreurs de conception et de plans défectueux ; conflits en raison de modifications de la conception et des informations de conception inexactes. Interventions régulières dans des environnements occupés (Noori <i>et al.</i> , 2016)
Difficultés à gérer de nombreux imprévus lors des chantiers (Noori <i>et al.</i> , 2016) (Gholami <i>et al.</i> , 2013b)
Besoin de mise à niveau du personnel (Pärn et Edwards, 2017) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Difficultés à se projeter dans un contexte économique difficile où la survie des entreprises est parfois la seule priorité (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
Pas de stratégie de mise en œuvre pour les PME (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
Assimilation du BIM à la modélisation 3D par les <i>petites entreprises</i> , alors que les grandes le perçoivent comme une façon de gérer la conception et la construction (4D, 5D, échange d'informations) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017)
Apparition de nouvelles solutions de gestion et d'organisation (trop complexes ?) grâce aux Technologies de l'Information de la Communication (TIC) : tablettes, RFID, système de gestion du bâtiment (Redwood <i>et al.</i> , 2017)
Génération de bénéfices grâce au BIM uniquement auprès des grands groupes qui en sont les principaux utilisateurs (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017)
Pas de familiarité avec le BIM pour la plupart des personnes interrogées (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016) (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Mohd <i>et al.</i> , 2016)

Tableau 4 : Analyse SWOT par rapport au choix de l'implant, ou non, du BIM à des fins de rénovation

La réalisation d'une telle synthèse s'avère parfois complexe quant au positionnement de certains travaux scientifiques. Pour compléter cette analyse, il aurait été possible d'évoquer les travaux de Helaner et Singh ou de Kim et Park (Helander et Singh, 2016), (Kim et Park, 2016).

Ces derniers ont étudié et listé les informations initiales nécessaires au démarrage d'un projet de rénovation, fonctionnelle pour la première étude, et de remise à neuf d'une habitation pour la seconde. Les différents éléments évoqués comme les propriétés structurales, les espaces, l'ensemble CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation) en place, l'année de construction, les caractéristiques des éléments d'enveloppe (mur, toiture, plancher, fenêtres et portes) sont des données généralement manquantes lors du démarrage d'un projet de rénovation. Ces manques peuvent donc être perçus comme des faiblesses et constituer un risque incompatible avec l'introduction du BIM. Ils peuvent aussi, au contraire, être considérés comme d'importantes sources de progrès pour les entreprises. Les combler conduira, en effet, inévitablement à une augmentation de la qualité et une diminution des litiges, rentabilisant ainsi les coûts supplémentaires de préparation du projet.

Dans l'ensemble, cette analyse SWOT révèle davantage de faiblesses (liées ou non aux perspectives de la mise en œuvre du BIM) que de forces, ce qui souligne la situation actuelle plutôt inconfortable et incertaine dans laquelle se situent les *petites entreprises* qui travaillent dans la rénovation. Les opportunités révélées ou pressenties contrebalancent, d'autre part, ces points négatifs et justifient notre volonté de travailler au contact de ces acteurs qui trouveront beaucoup d'avantages à mettre en œuvre le BIM dans les années à venir.

Face à toutes ces contraintes et interrogations, *les petites entreprises* doivent être assistées dans leur processus d'évolution et, pour ce faire, la partie suivante vise à analyser les outils et des réflexions scientifiques disponibles actuellement, sur lesquels s'appuyer pour y parvenir.

2.4 Influence des processus métiers du secteur

L'un des derniers points soulevés par cet état de l'art, relatif aux activités de rénovation, est que les besoins de la profession sont variés, mais qu'il y a peu de données scientifiques au sujet de l'ensemble des Processus Métiers¹⁴ ou cas de figure pouvant se présenter, avant même de parler d'introduire le BIM. Il est, par conséquent, difficile à ce stade d'affirmer que les produits BIM disponibles sur le marché couvrent l'ensemble des besoins de terrain. La diversité des métiers et des activités est également peu prise en compte dans les développements et études scientifiques puisque, comme nous l'avons vu, près de 60 % de ces dernières concernent la seule rénovation environnementale.

La numérisation est souvent évoquée et de nombreuses solutions voient le jour ou sont imaginées par la communauté scientifique (Volk, Stengel et Schultmann, 2014) ; toutefois, les informations concernant les proportions de travaux de rénovation nécessitant l'intervention de géomètres et/ou d'architectes d'intérieur capables de réaliser ces relevés font défaut. Il semble également que ces derniers sont peu en relation avec les acteurs de la rénovation. Il est alors difficile d'identifier quelles sont les spécificités des entreprises qui auront les moyens et sauront effectuer ces relevés. L'identification de la proportion de travaux nécessitant même une numérisation et qui ne verront pas leurs coûts s'envoler en raison de ces nouvelles technologies et des investissements qu'elles requièrent est également délicate. Devront-ils devenir systématiques ? La présence et le rôle d'un coordinateur BIM dans le secteur de la rénovation sont, par ailleurs, rarement débattus ou évoqués dans les publications présentées précédemment,

¹⁴ **Processus Métiers** : selon l'AFNOR, un processus est un « ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie ».

alors qu'ils sont pourtant essentiels. Quels accueil et positionnement lui sont-ils promis dans le fonctionnement actuel des entreprises de la rénovation ?

Les processus de rénovation dans les projets publics en France sont formellement régis par le droit français. En fonction de seuils européens, les clients publics peuvent choisir entre 4 processus réglementaires (MIQCP, 2016) : *la procédure adaptée, le recours au concours, la procédure concurrentielle avec négociation ou les appels d'offres*. Ces étapes nécessaires à la réhabilitation d'édifices publics sont retranscrites dans la loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique (MOP) (Ministère Français de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce Extérieur, 1994). Insérer le BIM dans un tel processus établi et structuré pourrait être assez aisé. **La clarification des processus mis en œuvre s'impose, en revanche, en dehors de ce cas de figure.** 75 % du marché de la construction française est, en réalité, constitué de particuliers et de clients privés (CONSTRUCTIF, 2011). Le processus réglementaire défini précédemment n'a donc pas d'impact sur plus de 15 % des entreprises comptant moins de 20 employés (CAPEB, 2016).

Les éditeurs de logiciels eux-mêmes soulignent «*que le principal frein au développement actuel d'outils BIM n'est pas technique, mais porte sur la connaissance des besoins et des attentes de chaque acteur*» (Hovorka et Mit, 2014). Une autre étude reprend ce point en rappelant l'intérêt de mener les développements avec et pour les utilisateurs (Miettinen et Paavola, 2014). Elle prédit également une évolution lente et nécessaire d'environ 20 ans dans le cadre de la construction neuve, dans une logique d'évolution pas-à-pas, de terrain, en capitalisant progressivement. Le BIM doit donc s'adapter à ces réalités autant que le milieu doit s'adapter au BIM, et ce dernier constat justifie la suite de nos travaux.

Pour caractériser les scénarii d'implémentation du BIM, une des premières contributions de ce travail de recherche consistera par conséquent à cartographier les situations qui coexistent aujourd'hui et celles qui pourraient coexister demain. Pratiquement, cela signifie appréhender et retranscrire la diversité du secteur qui est principalement animée par des *microentreprises* et des *petites entreprises*.

Dans ce contexte, pour apporter une réponse adaptée aux acteurs principaux du secteur de la rénovation française, il importe d'examiner plus en détail leurs situations et fonctionnements de départ. C'est pourquoi une enquête et des entrevues de compagnies engagées principalement en rénovation ont semblé indispensables ; un bilan de cette première étude est proposé dans le Chapitre 3. Par ailleurs, pour que les solutions apportées soient efficaces et aident à l'implantation du BIM, cet état de l'art se poursuit par l'étude de l'ensemble des outils techniques ou des approches organisationnelles ou managériales pouvant contribuer à cette mise en œuvre.

2.5 Aides à l'implantation du BIM

Au-delà de l'analyse de la cible et après avoir validé l'intérêt du BIM en rénovation, les questions des outils disponibles et des aides à la mise en œuvre qui pourraient rendre le BIM et ce milieu davantage compatibles se posent. **Une introduction réussie du BIM implique l'étude des facteurs clés de succès (FCS)** décisifs lors de la mise en œuvre d'un tel SI, facteurs présents dans la littérature scientifique ou faisant l'objet d'études de cas industrielles. Cela nécessite également de rendre les contraintes et les logiques des *petites entreprises* compatibles avec, notamment, la rigueur d'une **Convention BIM** rédigée pour coordonner et préciser le rôle des différents acteurs. À l'international, ce dernier est désigné sous l'acronyme BEP pour BIM Project Execution Plan. Pour les normes britanniques PAS 1192-2 (BSI, 2013), les *Conventions*

BIM correspondent à « *un plan préparé par les sous-traitants pour clarifier comment la modélisation de l'information d'un projet sera réalisée* ». Ce dernier, souvent présenté comme indispensable à l'utilisation réussie du BIM, est censé faire en sorte que toutes les parties soient clairement conscientes des possibilités et des responsabilités liées à l'intégration du BIM dans un flux de travail au cours d'un projet. Par conséquent, ce « document support » sera étudié plus en détail au cours de notre recherche et fera partie des leviers à actionner pour faciliter et pérenniser le déploiement du BIM au sein d'entreprises de petite taille. Selon la revue de la littérature que nous avons effectuée, un autre moyen d'orienter les entreprises lors du déploiement de SI consiste à utiliser un **Modèle de Maturité (MM)**. Ces derniers permettent d'indiquer les voies de progrès évaluées notamment en termes de bénéfices, risques, coûts, retours sur investissement (ROI). La synthèse proposée par Proença et Borbinha résume nos objectifs (Proença et Borbinha, 2016): « *les MMs se sont avérés utiles pour mesurer différents aspects d'un processus ou d'une organisation. Ils orientent les activités, les rendant de plus en plus organisées et systématiques au sein des organisations. Un MM se compose d'un certain nombre de "niveaux de maturité", souvent cinq, du plus bas au plus élevé... cependant, le nombre de niveaux peut varier, selon le domaine et les préoccupations motivant sa création* ». Cette technique fournit aux organisations :

- une mesure utile aux audits et au benchmark,
- un moyen de mesure et d'évaluation des progrès au regard des objectifs fixés,
- une compréhension des forces, des faiblesses et des opportunités (facilitant les prises de décision stratégique ou de gestion de projets).

À première vue, il n'est pas évident que les modèles actuels correspondent aux attentes de nos entreprises et soient adaptés aux caractéristiques du secteur de la rénovation. Une analyse de ces derniers et des améliorations à prévoir est donc logiquement proposée en partie 2.5.7.

De manière plus générale, l'enjeu ici est bien d'appréhender toutes les pistes et concepts permettant d'influencer positivement les réorganisations et les approches métiers avant, pendant et après l'implantation du BIM. À ce titre, d'autres pistes comme **le Lean Construction**, **l'approche IPD** et, en premier lieu, **les bases de management de projet**, vont être maintenant analysées.

2.5.1 Bases de management de projet

Les travaux de Mlecnik *et al.* soulignent le manque courant de connaissances ou l'absence de gestion de projets structurée dans les PME (Mlecnik *et al.*, 2012). Cette situation semble être un des obstacles à l'avancement de la rénovation énergétique des logements individuels. De manière plus générale, pour compenser le fait que, dans cette typologie d'entreprises, les processus sont moins marqués ou parfois absents (face aux grands groupes), l'introduction du BIM devra s'appuyer sur une approche projet, elle-même à inculquer au préalable. Quelques fondamentaux de la gestion de projet doivent, par conséquent, être au cœur de ce processus de mise en œuvre, puis du processus d'exploitation BIM collaboratif lui-même. Une succession structurée et structurante de phases sera soumise à certaines règles identifiées, par exemple, dans des « standards » industriels tels que le Guide PMBOK (®) proposé par l'organisme américain du Project Management Institute (PMI) (Snyder, 2014). Cette association à but non lucratif a pour objectifs de promouvoir les fondements du management de projet et de mettre en avant un « corpus des connaissances ». Il s'agit de la plus grande association mondiale de professionnels du management de projet. L'approche proposée n'a pas vocation à être universelle, mais dans la mesure où la méthodologie est partagée par près de 500 000 chefs de

projets industriels exerçant dans plus de 200 pays, le PMBOK peut être considéré comme un support de référence. Le schéma proposé en Figure 14 est issu de ce corpus de connaissances. Il présente la séquence des processus génériques de référence sur lesquels il conviendra de s'appuyer lors des recommandations et des discussions à suivre.

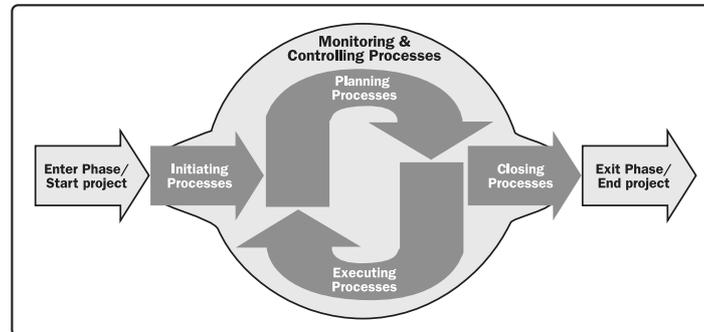


Figure 14: Groupes de processus de management de projet selon le Guide PMBOK (®)

Afin de soutenir les entreprises lors d'une mise en place du BIM, il est nécessaire de mettre l'accent sur cette approche processus. Les industriels concernés devront accorder un soin particulier au contenu du processus de démarrage (**IPro** pour Initiating Processes) en amont de l'introduction BIM et bien avant d'évoquer un quelconque projet collaboratif avec d'autres partenaires. Selon le PMBOK (®) : « *Le groupe de processus de démarrage comprend les processus qui permettent de définir un nouveau projet, ou une nouvelle phase d'un projet existant, moyennant l'autorisation de démarrer le projet ou la phase. C'est dans les processus de démarrage que le contenu initial est défini et que les ressources financières initiales sont engagées. Les parties prenantes internes et externes, qui vont interagir et influencer le résultat d'ensemble, sont identifiées* ». Lorsque le projet a été divisé en phases, il est alors intéressant de se reporter « *aux processus de démarrage en début de chaque phase pour maintenir le projet centré sur le(s) besoin(s) d'affaires pour le(s)quel(s) il a été entrepris. Les critères de succès sont vérifiés, et l'influence et les objectifs des parties prenantes du projet sont examinés. Il est alors décidé soit de poursuivre le projet, soit de le retarder ou de l'arrêter* ». Ces premiers éléments mettent en évidence la nécessité de maîtriser, en amont, les processus de l'entreprise, ainsi que la nécessité d'établir puis de chercher à atteindre différents objectifs. Cela passera par **la mise en place d'indicateurs, l'instauration d'une certaine vision, d'une stratégie et de moyens**. Le déploiement et les efforts ne peuvent être réalisés de manière désordonnée, et ces questions devront être apparentes et traitées en premier lieu lors de toute remise en cause ou souhait d'évolution des entreprises ; autant dans la démarche que dans les outils d'aide à l'implantation que nous proposerons. **Il faudra veiller à envoyer un signal fort aux éventuels utilisateurs du BIM aussi longtemps que les éléments qui sont considérés comme clés pour « Le Groupe IPro » n'auront pas été abordés ou améliorés**. Ces points seront précisés en 4.6.1.

Parmi les compléments donnés à ce groupe de processus, il est également intéressant de noter que le PMI conseille l'élaboration d'une charte du projet. À la suite d'une implantation réussie, et afin d'instaurer une base solide lors de l'exécution d'un projet collaboratif BIM, ce conseil sera considéré comme essentiel. Selon l'organisme, cela « *consiste à élaborer le document qui autorise formellement un projet ou une phase de projet, et à documenter les exigences initiales qui doivent satisfaire les besoins et les attentes des parties prenantes* ». La Figure 15 synthétise le contenu de ce qui peut s'apparenter à un cahier des charges fonctionnel.

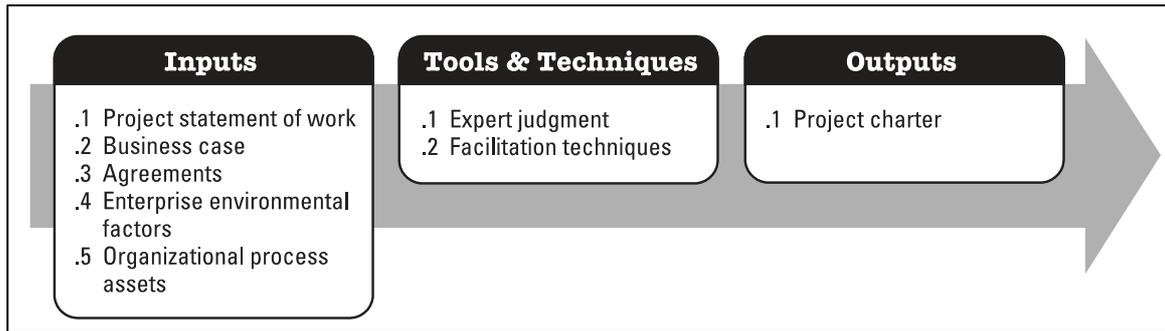


Figure 15 : Élaboration d'une charte de projet selon le Guide PMBOK (®)

Dans notre contexte, ce document correspond aux *Conventions BIM*, abondamment étudiées dans la littérature et constituant un outil de soutien précieux lors du processus d'exécution d'un projet, tel que présenté en Figure 14. L'analyse et la compréhension de tous les mécanismes qui facilitent l'introduction et augmentent les chances de succès lors de son exploitation étant le moteur de ce travail de recherche, la section suivante est consacrée à l'examen du contenu de ces conventions.

2.5.2 BIM Project Execution Plan (BEP), ou *Conventions BIM*

2.5.2.1 Définition d'une *Convention BIM*

L'objectif premier de ce projet de recherche est de proposer aux entreprises francophones un support de réflexion en vue d'implanter le BIM lors d'activités de rénovation. C'est pourquoi le terme « *Convention BIM* » sera majoritairement employé plutôt que BEP. Une *Convention BIM* est le terme choisi par Mediaconstruct, dans son premier *Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM* pour désigner « le document qui explicite le caractère BIM du projet. Il est nécessaire dans la mesure où les thèmes couverts par ladite convention ne sont pas décrits par les documents contractuels » (Mediaconstruct, 2016). Pour souligner davantage encore le côté indispensable d'un tel document, il est possible de se référer aux travaux de Sackey et Akotia qui, à travers les interviews d'experts de la construction, démontrent son caractère obligatoire (Sackey et Akotia, 2017). Selon les auteurs, il est nécessaire d'avoir une vision de ce qui va se dérouler, car une mise en œuvre BIM sans un tel support serait synonyme d'échec. Un plan de mise en œuvre appropriée expose à l'entreprise ce qui doit être fait. Même s'il n'existe pas de support universel, une description de « l'organisation BIM » permettra de guider le développement des personnes et des processus, harmonisera les technologies existantes et favorisera le travail d'équipe ou l'accès à un environnement de données communes (CDE pour *Common Data Environment*).

2.5.2.2 Références

L'élaboration d'une *Convention BIM* passe par un certain nombre d'étapes clés décrites dans ce récent "*Guide méthodologique*" proposé par Mediaconstruct. Les informations qui doivent figurer dans cette convention et les objectifs de cette dernière y sont également précisés. Cette première proposition francophone, à laquelle les entreprises qui souhaitent s'intéresser au BIM dans un contexte de rénovation peuvent se reporter, sera par conséquent prise pour support d'analyse et de référence pour la suite de nos travaux. Il est important de noter également que ce document a lui-même pour inspiration des ouvrages scientifiques ou normatifs de référence

comme le BSI 1192-2 (BSI, 2013) ou le Penn'state BIM Project Execution Planning Guide 2.1 (CIC Research Group, 2011a). Ceci renforce l'intérêt qui peut lui être apporté. Les BEP font partie des leviers identifiés comme pouvant être décisifs dans la mise en place viable de pratiques BIM (et *a fortiori* en rénovation) ; il convient donc d'approfondir ce qu'il doit contenir et ses objectifs principaux.

2.5.2.3 Contenu

À l'image de tout processus de démarrage d'un projet, il convient à travers ce document de proposer en premier lieu une **description générale du projet**, permettant à tous les acteurs destinataires de la convention d'identifier les caractéristiques BIM et non BIM du projet (présentation, avancement attendu et participants connus du projet). De ce fait, il contient une présentation :

- **des objectifs BIM** qui correspondent à « *la conversion en BIM des objectifs généraux exprimés sous forme de description générale du projet* ». Il s'agit alors de définir, à travers une liste d'objectifs, ce que l'utilisation du BIM pour un tel projet doit pouvoir apporter d'innovant, quelles sont les spécificités liées au BIM... et ce pour chaque phase de réalisation du projet : quels sont les usages (dimensionnement, communication, capitalisation, planification, contrôle...) et/ou les attentes spécifiques que le BIM doit pouvoir combler (amélioration de la qualité, de la performance en termes de durabilité/qualité environnementale, l'estimation/réduction des coûts d'exploitation, limitation des rebuts, reprises ou ressaisies...)?
- **des usages BIM** : un usage BIM est une explicitation de processus intégrant des pratiques BIM, c'est-à-dire la description d'un processus concret, tel qu'il sera mis en œuvre sur un projet. Cela permet de décrire factuellement les usages voulus des maquettes numériques, les interactions des différents acteurs avec cette base de données, pour des actions métiers précises allant de la production d'images jusqu'à l'exploitation de bâtiment ; et ceci pour les cas d'usage BIM retenus (parmi ceux du Tableau 5 issus de (Mediaconstruct, 2016)), ou qu'il sera bon de compléter selon les cas de figure et les projets. Il convient ainsi de s'interroger sur les **valeurs attendues, les contributeurs au fil des phases, les données échangées, les infrastructures et logiciels, les compétences requises, etc.**

	Intitulé
1	DÉFINITION, ANALYSE ET VÉRIFICATION DU PROGRAMME
2	ANALYSE DU SITE
3	MODÉLISATION DU SITE / DONNÉES EXISTANTES
4	COMMUNICATION DU PROJET
5	REVUE DE PROJET
6	PRODUCTION DES LIVRABLES
7	ÉTUDES ANALYTIQUES (STRUCTURE, LUMIÈRE, PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES, etc.)
8	PLANIFICATION 4D ET 5D
9	EXTRACTION DES QUANTITÉS ET VALEURS SIGNIFICATIVES
10	GESTION DE CONFLITS À PARTIR DE MAQUETTES NUMÉRIQUES (SYNTHÈSE GÉOMÉTRIQUE ET TECHNIQUE)
11	ORGANISATION ET COORDINATION TOUS CORPS D'ETAT POUR L'EXÉCUTION
12	SYSTÈMES CONSTRUCTIFS - PRÉFABRICATION TOUS CORPS D'ETATS
13	SUPPORT À LA LOGISTIQUE
14	ANALYSE DES PERFORMANCES EFFECTIVES DE L'OUVRAGE (ET COMPARAISON AUX PERFORMANCES SIMULÉES)
15	OPÉRATIONS PRÉALABLES À LA RÉCEPTION
16	CONSOLIDATION DES DOE ET DIUO
17	GESTION DES OUVRAGES ET ÉQUIPEMENTS
18	GESTION DES ESPACES
19	CONTRÔLE DE CONFORMITÉ AUX EXIGENCES RÉGLÉMENTAIRES À PARTIR DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE
20	MODÉLISATION DE CONCEPTION
21	MODÉLISATION DES OBJETS
22	CONSULTATION, MISE AU POINT ET PASSATION DES MARCHÉS
23	MODÉLISATION DE LA CONSTRUCTIBILITÉ DES OUVRAGES

Tableau 5 : Cas d'usages BIM retenus par Mediaconstruct

Selon l'exhaustivité des données renseignées lors de la définition de ces usages, ce travail préparatoire au projet aura, bien évidemment, pour intérêts et conséquences de réduire considérablement les incertitudes éventuelles. Cela aura également pour vertu de forcer les différents acteurs à échanger et s'accorder sur un grand nombre de points, bien en amont de la phase de production.

La répartition des tâches et des rôles pourra donc également, à ce stade, être simplifiée. On distingue de manière systématique quelques rôles clés qu'il convient de préciser :

- En règle générale, une équipe restreinte aura la charge du « **BIM Management** » et pour responsabilité l'élaboration, la diffusion et le respect de la *Convention BIM*. Cette équipe veillera donc au respect des protocoles BIM, à l'intégrité des informations liées aux cas d'usages, à la structuration et à la traçabilité des données et des modèles... Autant de points qui devront être eux aussi explicités et diffusés à travers la convention. Contrairement à la mission de synthèse, les rôles et les périmètres d'intervention de l'équipe de BIM Management s'exercent sur les méthodes et processus et non sur la production et le contenu des modèles de chaque **Contributeur BIM**.
- Un des membres de cette équipe restreinte aura également à assurer le rôle de **BIM Manager**. Il établit la stratégie BIM du projet, développe et met en place les outils et processus pour atteindre les objectifs fixés et assurer la bonne marche « numérique » du projet.

La Figure 16, inspirée du guide édité par Mediaconstruct (Mediaconstruct, 2016) précise enfin les intermédiaires agissant sur le (bon) fonctionnement des équipes en définissant :

- les **Contributeurs BIM** comme tous les acteurs impliqués dans des pratiques BIM de production et/ou de coordination du projet,
- les **Producteurs BIM** comme les agents qui élaborent, modélisent les ouvrages, produisent et éditent les modèles 3D, des notes de calcul, les plans nécessaires à chaque phase du projet, des gammes de montage, etc.
- et enfin les **Coordinateurs BIM**, parfois appelée "**BIM Champion**" qui sont les référents BIM de chaque contributeur. Ils gèrent les parties spécifiques du projet traitées en BIM par leurs entités, participent à l'élaboration et s'assurent du respect de la *Convention BIM* de la part de leurs proches collaborateurs. Il est important d'insister sur la présence fondamentale et le rôle rempli par ces personnes-ressources. Leur présence est indispensable pour assurer le succès de la collaboration BIM (CIC Research Group, 2011b). Le "BIM Champion" est la personne qui a la motivation et les compétences techniques pour guider les équipes dans l'amélioration de leurs processus, stimulant l'utilisation du BIM et maîtrisant la résistance au changement. Des études menées dans les grandes entreprises mettent en évidence que la présence de ces "champions" qui centralisent les connaissances et la collaboration BIM contribue à une adhésion générale de l'équipe et aux nombreux avantages du BIM (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016). De toute évidence, une relation entre l'engagement de tels individus dans le processus de mise en œuvre du BIM et le succès global du projet existe, et doit également être prise en compte dans notre réflexion (Azzouz *et al.*, 2016).

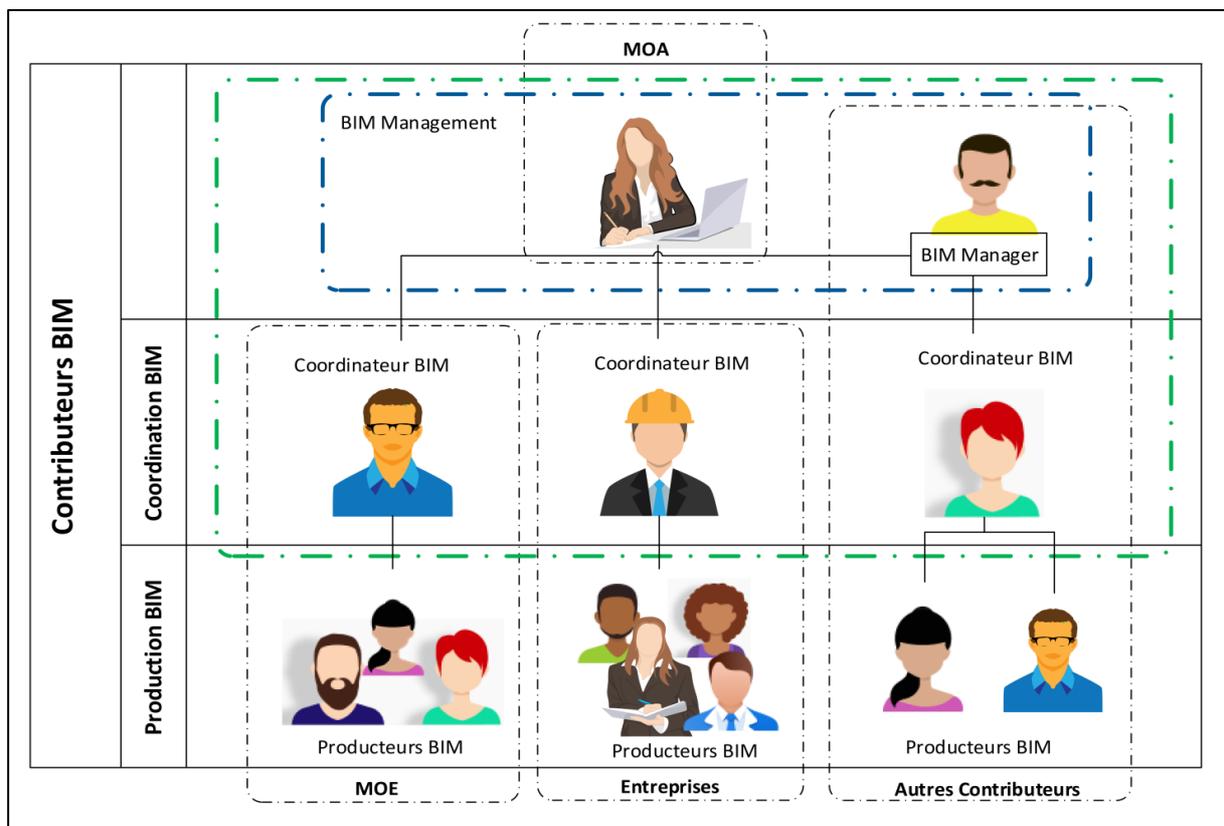


Figure 16 : Répartition des rôles et fonctionnement des équipes au sein d'un projet collaboratif BIM inspiré de Mediaconstruct

Cette représentation fait écho à une des précédentes conclusions, à savoir que la tâche pourrait être assez complexe, pour une entreprise de petite taille, d'envisager sans renfort extérieur une utilisation du BIM collaborative. Il n'est cependant pas exclu de combiner les fonctions de coordinateur et de contributeur selon les tailles des entreprises et des projets.

2.5.2.4 Niveaux et nivellement des maturités BIM des contributeurs

Pour synthétiser, et pour faire à nouveau le lien avec nos travaux à venir, il est possible d'ajouter que la convention sera, en quelque sorte, un accélérateur de prise de conscience et pourra être utile au perfectionnement des entreprises. Il est conseillé, en effet, d'adosser ce travail à un système de mesure de la maturité permettant aux différents acteurs de se positionner sur les tâches qui leur conviendraient le mieux, mais aussi de faciliter la mise en place de mesures d'adaptation et de mise à niveau. La rédaction d'un tel document nécessite des échanges entre tous les acteurs et des efforts pour que l'ensemble des protagonistes du projet puissent se mettre d'accord, et ce très en amont des premiers travaux. Ces échanges et ces efforts sont autant de remises en cause, mais surtout de gages de qualité et d'amélioration pour les entreprises impliquées.

En résumé, le Tableau 6 propose une synthèse (non exhaustive) des données que doivent expliciter ou aborder de tels documents « non contractuels », mais partagés et connus de tous les acteurs BIM :

Standardisation de la modélisation	Gestion des livrables
Classification et codification	Infrastructures numériques
Codification des documents	Matériels, Logiciels et versions
Découpage des modèles	Formats d'échange
Coordonnées et orientation Projet	Plateforme Collaborative BIM
Unités de mesure	Qui utilise la plateforme BIM et à quel moment ?
Niveaux de détails et d'informations	Quels sont les protocoles de dépôt, de téléchargement, d'édition, de consultation ?
Liens à des bases de données externes	Quels sont les formats et la taille des fichiers supportés ?
Processus / protocoles BIM	Quels sont les prérequis des contributeurs ?
Environnements collaboratifs BIM	Comment est assurée la pérennité des données ?
Processus de diffusion	Comment est assurée la sécurité des données ?
Échanges de données	Comment sont gérés les accès des utilisateurs et leur traçabilité ?
Réunions types et fréquence	Quelle est la durée de vie de la plateforme ?
Contrôles	Quel est le niveau de portabilité de la plateforme ?
Jalons BIM	Quelles sont les fonctionnalités associées aux usages BIM ?

Tableau 6 : Synthèse des données que doivent expliciter ou aborder les *Conventions BIM* (Mediaconstruct)

2.5.3 Facteurs Clés de Succès (FCS)

Certaines études relatives aux usages BIM s'intéressent aux éléments déterminants d'acceptation de nouvelles technologies et aux facteurs qui influencent le choix d'adopter des solutions numériques (Takim, Harris et Nawawi, 2013). Cette adoption peut être imposée à l'échelon national à la suite des décisions ministérielles réglementant son usage, mais, plus généralement, elle résulte d'une décision managériale. Dans ce cas précis, cela signifie que la décision est prise à la tête de l'entreprise en lien avec sa stratégie. Le choix sera donc imposé ou désiré, entraînant plus ou moins de pression et de contraintes calendaires. Quel que soit le scénario, les facteurs affectant le succès du projet sont appelés tantôt Facteurs Critiques de Succès, Facteurs Clés de Succès (FCS), ou au démarrage, Facteurs d'Acceptation de la Technologie (FAT). Par nature, ces derniers doivent être étudiés et être considérés pour la suite de ce travail pour garantir ou accroître les chances de succès des entreprises (Rockart, 1979). Jusqu'à 8 techniques ont été recensées pour les identifier de façon méthodique (Leidecker et Bruno, 1984). Ils se rapportent généralement à l'organisation, la technologie ou les individus. Le contexte industriel, la typologie des entreprises, la taille des projets contenus dans les études de cas disponibles, et les travaux scientifiques sont souvent différents du champ d'application de la présente réflexion, mais il est important de savoir quels facteurs influencent les chances de succès et ont un impact sur le choix d'adopter un Système d'Information tel que le BIM. Selon Takim et *al.*, ces facteurs peuvent être classés et agir selon 5 paliers (Takim, Harris et Nawawi, 2013) :

- Palier ① : la sensibilisation (implique une augmentation de la connaissance)
- Palier ② : l'évaluation (évaluation de l'utilité, de la facilité d'utilisation, de l'ergonomie, des difficultés des utilisateurs)
- Palier ③ : l'acceptation (décisions d'acquisition et d'usage par les utilisateurs)
- Palier ④ : l'apprentissage (développement des compétences et des connaissances)
- Palier ⑤ : et enfin seulement l'utilisation (usage effectif)

Cette répartition met en évidence **la prévalence de la préparation en amont** et justifie notre volonté de la mettre en évidence par la suite. Comme nous l'avons déjà vu, cette étape ne devra en aucun cas être négligée lors de l'élaboration de tableau de bord et des étapes de « conseil » aux entreprises (4 des 5 paliers proposés par Takim et *al.*)

La plupart des résultats obtenus au cours de cette revue de la littérature, et les principaux facteurs utiles à la mise en œuvre sont présentés dans le Tableau 7. Aucune étude portant spécifiquement sur des FCS d'implantation du BIM à des fins de rénovation n'a été trouvée. Au total, 7 publications scientifiques ont toutefois retenu notre attention.

- a) Les premiers résultats intéressants que nous présentons émanent d'observations et d'une enquête menée sur les pratiques du BIM en Finlande. Cette étude avait pour objectif la rédaction d'une feuille de route pour la mise en œuvre du BIM au sein de l'industrie de la construction du Royaume-Uni (Khosrowshahi et Arayici, 2012). Selon l'auteur, avant 2012, le gouvernement et les acteurs finlandais avaient déjà une vision claire et un certain recul sur l'implantation du BIM et les avaient démontrés à travers différentes pratiques et études de cas. Trois catégories de FCS clés ont ainsi été révélées, à savoir : la culture de l'organisation, l'éducation et la formation et enfin la gestion de l'information. Elles concernent autant la technologie et les processus que les individus. En conclusion, les auteurs ont souligné, entre autres, que des effets de levier pouvaient consister à faire évoluer les flux de travail existants vers des processus davantage orientés sur des

pratiques Lean. Cette réflexion n'est pas réellement nouvelle et les contributions du Lean ainsi que les interactions possibles entre BIM et Lean ont été étudiées dès 2010 par Sacks *et al.* et reprises récemment par Onyango (Sacks *et al.*, 2010), (Onyango Allan Fred, 2016). Selon les auteurs, il existe des interférences, et cette association favorise la mise en œuvre d'un processus de collaboration au plus tôt. Une partie des conclusions d'une autre étude proposée par Owen *et al.*, s'intéressant aux clés du changement, souligne aussi l'importance des approches telles que la construction Lean ou de la « Réalisation intégrée de projets » (ou IPD pour Integrated Project Delivery, Approach (AIA, 2007)) (Owen *et al.*, 2013).

- b) Ce travail d'Owen *et al.* sera, par conséquent, la deuxième publication prise en considération dans cette revue, et l'insistance de nombreux auteurs pour les 2 principes Lean et IPD révèle qu'ils constituent des enjeux majeurs pour la suite de notre développement. Ils seront donc repris et approfondis en partie 2.5.4 et 2.5.5.
- c) L'étude de Mahamadu *et al.* se concentre sur les facteurs clés d'acceptation, notion considérée comme une condition *sine qua non* du succès puisqu'il n'y a pas de succès sans acceptation (Mahamadu, Mahdjoubi et Booth, 2014).
- d) D'autres critères et guides contenus dans les rétrospectives d'un grand groupe, Wates Construction, seront également intégrés au Tableau 7 (Folorunso et Uthman, 2015).
- e-f) Dans les travaux de Morlhon *et al.*, les auteurs proposent également une étude de FCS influençant la mise en œuvre du BIM et son utilisation (Morlhon, Pellerin et Bourgault, 2015). Ce travail a été inspiré par l'analyse de FCS ayant un impact sur l'implantation de systèmes ERP (Françoise, Bourgault et Pellerin, 2009). Ces 2 études permettent d'ouvrir sensiblement la réflexion et apportent une vision complémentaire davantage fondée sur une approche projet. Même si les contextes ou les études de cas divergent de notre périmètre d'étude, de nombreuses similitudes dans les résultats et les intentions existent. Conformément à leurs conclusions, seules les actions que les experts ont considérées comme importantes seront présentées et reportées dans notre synthèse finale.
- g) Enfin, à partir de l'étude de Tsai *et al.*, 123 facteurs d'influences (Ifs) ont pu être obtenus et classifiés (Tsai, Mom et Hsieh, 2014). Cette nomenclature a été réalisée à travers une enquête menée auprès d'acteurs expérimentés en CAO au sein de l'industrie de l'AEC Taiwanaise et évoluant actuellement vers des technologies BIM.

La prise en compte des 75 Ifs les plus importants contenus dans cette étude (qui étaient classés par ordre d'importance selon les experts), complétés par une analyse des 6 autres publications a permis d'aboutir à une liste « brute » de plus de 110 FCS. Après la fusion des facteurs étroitement liés, et l'élimination des facteurs non appropriés ou non pertinents pour notre cas de figure, un tableau de synthèse de 41 facteurs a pu être constitué. Les facteurs sont parfois regroupés par « famille » pour mettre en évidence les principes qui sont mentionnés, présentés ou exploités plus tard dans notre étude. Ces regroupements visent à souligner définitivement la pertinence des concepts plus généraux qui constituent les leviers de succès que nous pensons privilégier, à savoir : **les Conventions BIM, la phase initiale (amont) du projet, le Lean ou l'Approche Intégrée des Projets (IPD).**

N°	Facteurs Clés de Succès identifiés	Tsai et al.	Khosrowshahi et al.	Takim et al.	Owen et al.	Mahamadu et al.	Morlhon et al.	Folorunso et al.	Françoise et al.
Processus de démarrage	1 Ne pas commencer la transition prématurément, surmonter la résistance aux changements et amener les gens à comprendre le potentiel et la valeur du BIM		X	X					X
	2 Opérer des changements organisationnels et anticiper sur des points tels que: les processus métiers, la typologie d'organisation, la structure, les systèmes, la culture d'entreprise (feuille de route et lignes directrices claires éventuellement dessinées par un cabinet d'Audit spécialisé)	X	X				X		X
	3 S'assurer que les processus sont dans un ordre logique, fiables (robustes), flexibles et peu bureaucratiques	X			X	X			
	4 Avoir une vision à long terme des coûts (investissements initiaux, de maintenance et de mise à niveau logiciel, matériel ou de formation) ainsi que des relations avec les fournisseurs (vendeurs/fournisseurs)	X			X	X			X
	5 Définir les objectifs du projet, les rôles et les responsabilités des membres de l'équipe pour les projets BIM (phases du projet et résultats BIM attendus) avant le commencement et les formations	X	X						X
	6 Disposer d'expertises en conduite du changement, gestion de projet et gestion de la connaissance de la part des cadres supérieurs	X							X
Lean	7 Rendre les flux de travaux internes compatibles avec des processus Lean et avec les principes du <i>Lean Construction</i> (décisions en équipe, accent sur les activités à valeur ajoutée ou avantageuses pour le projet et les équipes)		X		X				X
	8 Adopter une approche « bottom-up »							X	X
	9 Capacité d'apprentissage de l'organisation, suivi et évaluation des performances (boucles rétroactives ; amélioration continue des processus et indicateurs en place)	X		X					X
	10 Satisfaire les besoins de formation : certains postes clés peuvent nécessiter des certifications et des formations spécifiques (apprentissage par la pratique), toutes les personnes affectées ont besoin d'accroître leurs compétences (élever le socle commun de connaissances)	X	X	X	X	X	X	X	X
	11 Percevoir et communiquer les avantages de la mise en œuvre	X		X					X
	12 Obtenir l'appui du management intermédiaire et des leaders d'opinion (acceptation)		X				X		X
	13 S'assurer du soutien de la direction	X		X		X		X	X
	14 Consolider la motivation individuelle ou de groupe, ainsi que l'implication dans l'adoption du BIM. Pré-qualification des membres de l'équipe	X		X					X
	15 Rendre la chaîne logistique capable et compétente					X			
Réalisation intégrée de projets (IPD)	16 Adopter une approche IPD (en conception-construction ou réalisation intégrée de projets)	X			X				
	17 Impliquer très en amont l'ensemble des équipes « projet » (propriétaires, gestionnaires, architectes, ingénieurs, entrepreneurs, sous-traitants)	X					X		X
	18 Développer la coordination, collaboration et intégration entre entreprises	X	X						
	19 Opter pour la Modélisation 3D par toutes les parties prenantes (architecte, BE structure, MEP, protection contre l'incendie...), coordonner la conception afin de s'assurer que les divers éléments proposés sont compatibles	X	X						
	20 Réaliser des revues de conception virtuelle sur maquette numérique permettant de valider la conception ou de détecter des conflits entre professions ou disciplines (détection des collisions pouvant aller jusqu'aux données/représentations fournisseurs et dessins d'atelier)	X							
	21 Identifier les exigences BIM définies par le client (et les traiter) au cours de la conception, construction et après la construction	X							
	22 Sélectionner la méthode de mise en œuvre projet appropriée (conception-construction, conception-soumission-construction (appel d'offres), gestion des travaux)	X							
	23 Avoir conscience des enjeux et contraintes liés au modèle BIM lors des soumissions et approbations, partage de l'information et gestion des connaissances	X							
	24 Développer l'interopérabilité (formats d'échanges des données)	X	X			X			

N°	Facteurs Clés de Succès identifiés	Tsai <i>et al.</i>	Khosrowshahi <i>et al.</i>	Takim <i>et al.</i>	Owen <i>et al.</i>	Mahamadou <i>et al.</i>	Morihon <i>et al.</i>	Folorunso <i>et al.</i>	Françoise <i>et al.</i>	
Convention BIM	25	Posséder une forte capacité d'intégration (fourniture d'informations, flux efficaces, transparence, visibilité et collaboration), adopter des protocoles adéquats de partage/de communication d'informations entre les membres de l'équipe	X	X			X	X		X
	26	Élaborer une <i>Convention BIM</i> qui contient, notamment, des informations sur les projets, l'organigramme, le planning, les processus BIM, les contrats et normes, les codes et règles en vigueur	X	X			X	X		
	27	Identifier les risques, définir des plans d'atténuation, les partager et mettre en place un système de rétribution vis-à-vis des entités accentuant la réussite du projet	X							X
	28	Définir le contrat / les possibilités d'arrangements (juridiques et propriété des données)	X				X			
	29	Déterminer les exigences de contenu du modèle (données et informations échangées, référencement) pour chaque niveau de développement (LOD)	X	X						
	30	Comprendre les fonctionnalités logicielles et matérielles requises (exhaustivité, besoins spécifiques) ainsi que l'environnement collaboratif nécessaire (installations réseau), pour bien exploiter le BIM et les outils annexes (enquête approfondie des attentes en amont)	X	X				X		
	31	Coordonner la construction et assurer son suivi : coordination de la sécurité, de la planification, de l'implantation et de la logistique sur site (4D) en temps réel	X							
	32	S'assurer de la sécurité et de la confidentialité des données					X			
33	S'appuyer sur un support technique proposé par les fournisseurs : outils appropriés et formations	X	X	X		X				
34	Avoir à disposition des demandes de la part des Clients / Gouvernements				X			X		
35	Avoir conscience des possibilités offertes par le BIM : différenciation, apparition de nouvelles cibles, création d'un marché de niche (produits ou services uniques dans un marché encore étroit)	X			X					
36	Avoir conscience des menaces pesant sur le marché, généralement synonymes de concurrence et d'impératifs d'Innovation				X	X				
37	Former et progresser en gestion de l'information (sensibilisation et éducation des membres de l'organisation à l'esprit et aux pratiques de gestion des informations)		X				X			
38	Instaurer confiance, respect et comportement éthique entre les équipes de projet	X				X				
39	Choisir les personnes ressources (avec de bonnes capacités d'Innovation, si possible familiers avec les projets en BIM, et avec de bonnes compétences techniques pour l'ensemble du personnel)	X								
40	Encourager la capacité de recherche et le développement de l'organisation	X								
41	Avoir à disposition des outils facilitant les métrés et à l'estimation des coûts (5D)	X								

Tableau 7 : Principaux Facteurs Clés de Succès à considérer lors de l'implantation du BIM

Les propos de Tsai *et al.*, résumant assez bien notre vision, nous permettent de conclure cette section et d'esquisser les contours de la suite de notre recherche (Tsai, Mom et Hsieh, 2014). Selon ces auteurs, de nombreux cadres de travail, de normes, de guides, ou d'outils d'évaluation pour faciliter l'adoption de BIM existent, mais leurs constructions ne semblent pas suffisamment en rapport avec les multiples FCS révélés par diverses études, dont celles citées précédemment. Toujours selon eux, les Modèles de Maturité BIM proposés par Jung et Joo (Jung et Joo, 2011) ou Succar (Succar, 2009a) ne sont, par exemple, pas dérivés de FCS d'adoption du BIM ; il en va de même lors de l'établissement des *Conventions BIM*. Par conséquent, ces supposés manques justifient l'étude précédente du contenu des *Conventions BIM*, ainsi que, dans la partie 2.5.7 à venir, des Modèles de Maturité BIM existants. De plus, afin d'être aussi efficaces que possible et pour interpeller les industriels, la proposition d'aide aux

entreprises développée par la suite devra prendre en compte et utiliser un grand nombre des FCS du Tableau 7, en particulier les plus fréquemment cités.

2.5.4 Le Lean Construction

Pour favoriser les évolutions des entreprises de la rénovation, il est possible d'étudier en détail un autre levier : le Lean Construction (LC) pour Lean appliqué à la Construction. Il s'agit d'une approche souvent décrite comme complémentaire et cohérente avec le déploiement du BIM.

La philosophie Lean est une culture de travail qui vise, *via* un investissement matériel et financier minimum, et grâce à un fort niveau d'implication des employés, à éliminer les dysfonctionnements. Ces actions génèrent alors un accroissement de la valeur ajoutée et une amélioration des performances de l'entreprise. Cette approche du travail a été développée au sein de l'entreprise japonaise Toyota au lendemain de la Seconde Guerre mondiale par Eiji Toyoda et Taiichi Ohno dans le but de répondre à l'explosion de la demande en produits manufacturés. Elle a donc pour origine une certaine conception du travail, connue initialement sous le nom de Toyota Production System (TPS). L'appellation Lean Production apparaît plus tard, pour la première fois dans une publication émanant du MIT en 1988 (Krafcik, 1988). L'approche décrite par Krafcik sera alors source d'inspiration pour General Motors puis pour l'ensemble du secteur automobile américain et européen. C'est aujourd'hui encore une référence en termes d'organisation du travail du secteur manufacturier dans son ensemble, qui s'est propagée jusqu'à l'industrie des services : du secteur bancaire jusqu'au milieu hospitalier ces dernières années (Curatolo *et al.*, 2015).

Le concept de Lean Construction est la suite « logique » de ces évolutions, et est évoqué pour la première fois par Lauri Koskela en 1992 (Koskela, 1992). Il vise à concevoir, *via* une approche similaire, un système de production permettant de minimiser les gaspillages matériels, de temps et d'efforts dans le but de générer un maximum de valeur possible au cours du processus de construction. Les développements associés sont aujourd'hui soutenus et diffusés à l'échelle internationale par le Lean Construction Institute (<https://www.leanconstruction.org/>) créé dès 1997 par Greg Howell et Glenn Ballard, et plus localement en France par des organismes tels que Delta Partner (<http://www.delta-partners.fr/>). Ce dernier, par son activité de conseil, est régulièrement amené à former et accompagner des groupes de renom comme ACORUS, BOUYGUES Rénovation Privée ou STEL (VINCI). Ces mêmes groupes possèdent à présent, pour la plupart, leurs propres services Lean Construction « *pour davantage d'efficacité et être ainsi en mesure de déployer leur propre modèle sur l'ensemble de leurs projets et entités* » selon Mme Emeline Siredey¹⁵, du Service Excellence Opérationnelle de VINCI Construction.

Patrick Dupin, en tant que cofondateur de la structure de conseil Delta Partner, définit dans son ouvrage, le LC comme : « *Une philosophie visant à la création de valeurs pour le client par l'élimination des gaspillages, soutenue par des outils collaboratifs de gestions de projet, s'inscrivant dans le cadre d'une démarche systématique et rigoureuse d'amélioration continue* » (Dupin, 2014). Cette démarche s'accompagne donc d'un certain nombre d'outils, permettant d'appuyer les principes forts du Lean et visant, dans leur ensemble, à optimiser le triptyque Coût-Qualité-Délai, à partir, une fois encore, d'une réflexion sur les gaspillages.

¹⁵ Selon un entretien effectué en Décembre 2017.

La synthèse proposée par Merle référence les éléments principaux du LC et les principes associés (Merle, 2012, p. 25). Pour clarifier encore davantage ces derniers, nous avons complété cette analyse en mettant en vis-à-vis dans le Tableau 8, quelques-uns des développements généralement déployés sur le terrain lors de constructions « Lean ». Les éléments en gras sont jugés utiles pour la suite de cette réflexion et seront repris ou complétés.

<i>Éléments principaux du Lean Construction</i> (Merle, 2012)	<i>Aspects liés</i> (Merle, 2012)	<i>Outils/principes "concrets" correspondants</i> (Dupin, 2014)
Réduction des gaspillages	Propreté et ordre	5S¹⁶
	Juste à temps	
	Outil des technologies de l'information	BIM
	Pré fabrication	
Contrôle de projet et planification (processus)	« Last Planner »	LPS
	Autocontrôle	
	Jalons	Gestion de projet
Fin de focalisation sur le client	Intégration des entrepreneurs dès la phase d'ingénierie	IPD
	Appel d'offres restreint intégrant des paramètres généraux (ex : performance SSE des entrepreneurs)	
Amélioration continue	Contrats et perspectives à long terme	
	Mise en place d'indicateurs de performances	
	Encourager la résolution de problèmes et l'innovation de la part des employés	
	Formation de toutes les parties prenantes	
Relation de coopération	Utilisation d'outils collaboratifs	BIM
	Partage des gains et craintes	IPD
Perspectives globales	Privilégier la fiabilité des flux de production aux activités individuelles	
	Contrats de portée large	
	Éviter les sous-optimisations	

Tableau 8 : Mise en perspective des travaux de Merle et Dupin reliant le LC et nos futurs travaux

Pour compléter cette synthèse, quelques précisions peuvent être apportées :

- a) **Le « Last Planner » ou « Last Planner System » (LPS)** est un outil facilitant le suivi et la planification du chantier. Il demande aux acteurs du projet de s'engager à court terme sur des délais réalistes compte tenu de l'état d'avancement « actuel et réel » du projet.

¹⁶ **5S** : Seiri-Seiton-Seiso-Seiketsu-Shitsuke pour Supprimer l'inutile, Ranger, Nettoyer, Standardiser, Pérenniser.

L'objectif sous-jacent est de permettre une utilisation optimale de la main-d'œuvre et des équipements disponibles pour une qualité et une satisfaction client accrues. Après consensus et mise à jour du planning, l'indicateur **PPC** « Planned Percent Completed » ou « Percent Plan Complete » est alimenté en support à cette activité. Les informations recueillies lors des itérations du LPS permettent, en effet, le calcul de ce pourcentage de « promesses tenues », et donc d'obtenir un retour sur les engagements réalisés ou non. Ces informations « de groupe » engendrent surtout, *via* des outils de résolution de problème et d'analyse des causes racines (par exemple la méthode des 5 Pourquoi¹⁷), la mise en place de contre-mesures et permettent d'inscrire le projet dans un processus d'amélioration continue.

- b) **Propreté, ordre et 5S** : Le concept de propreté et d'ordre a pour objectif de maintenir l'espace de travail le plus propre possible pour prévenir facilement l'apparition de dysfonctionnements et/ou accentuer un travail de qualité dans un cadre plus engageant. L'outil 5S issu de la philosophie Lean est « complémentaire » et propose de sélectionner et de mettre en évidence l'ensemble du matériel (couramment) nécessaire. Cela passe par l'établissement de standards de rangement et l'instauration d'un management visuel efficace. Toutes ces règles facilitent par la même occasion la transmission des informations et contribuent à la prévention des risques.

Si on ajoute aux données présentées ici le fait qu'un des objectifs du BIM est de **centraliser l'information, la rendre unique, disponible**, et d'éviter ainsi d'importants gaspillages de type **reprise, ressaisie, attente de données ou d'informations**, il devient alors encore plus évident que des liens forts existent entre la diffusion/implantation du BIM et le LC. Ces deux concepts poursuivent bel et bien un objectif commun que les entreprises devraient intégrer, à l'avenir, dans leur schéma de pensée.

2.5.5 Approche IPD

L'approche IPD (Integrated Project Delivery) a été introduite pour la première fois en 2007 par The American Institute of Architects (AIA) (AIA, 2007). De nombreux organismes professionnels, chercheurs et entreprises reprennent depuis cette idée : il s'agit d'impliquer au plus tôt et de manière collaborative les participants clés dans le calendrier du projet, l'idéal étant de le faire dès la conception d'un projet de construction. Ce concept est parfois traduit par **prestation de type conception-construction ou réalisation intégrée de projets**, voire par **méthode de réalisation d'un projet structuré** par certains fournisseurs de solutions numériques. (<https://www.aproplan.com>).

Cette approche vise donc à intégrer les personnes, les systèmes, les structures commerciales et les pratiques dans un processus qui exploiterait, dès le démarrage du projet, les talents et les idées de tous les participants pour optimiser les résultats et augmenter la valeur ajoutée pour le propriétaire. Il s'agit pour cela de réduire le gaspillage et maximiser l'efficacité à chaque phase du projet, de la conception, (pré)fabrication à la construction. Les clés du succès de cette approche résident dans l'état d'esprit des acteurs ainsi, bien évidemment, que dans les accords multipartites qui permettent généralement de partager les risques et les rétributions entre les parties prenantes du projet.

¹⁷ **La méthode des 5 Pourquoi** est un outil qualité de résolution de problème permettant de remonter à la cause racine d'un problème en se posant plusieurs fois la question « Pourquoi ».

Comme le laisse à penser la « courbe de MacLeamy » reproduite Figure 17, et déjà présente en 2007 dans la première définition par l'AIA de l'IPD, les intérêts de cette démarche de projet intégrée sont multiples.

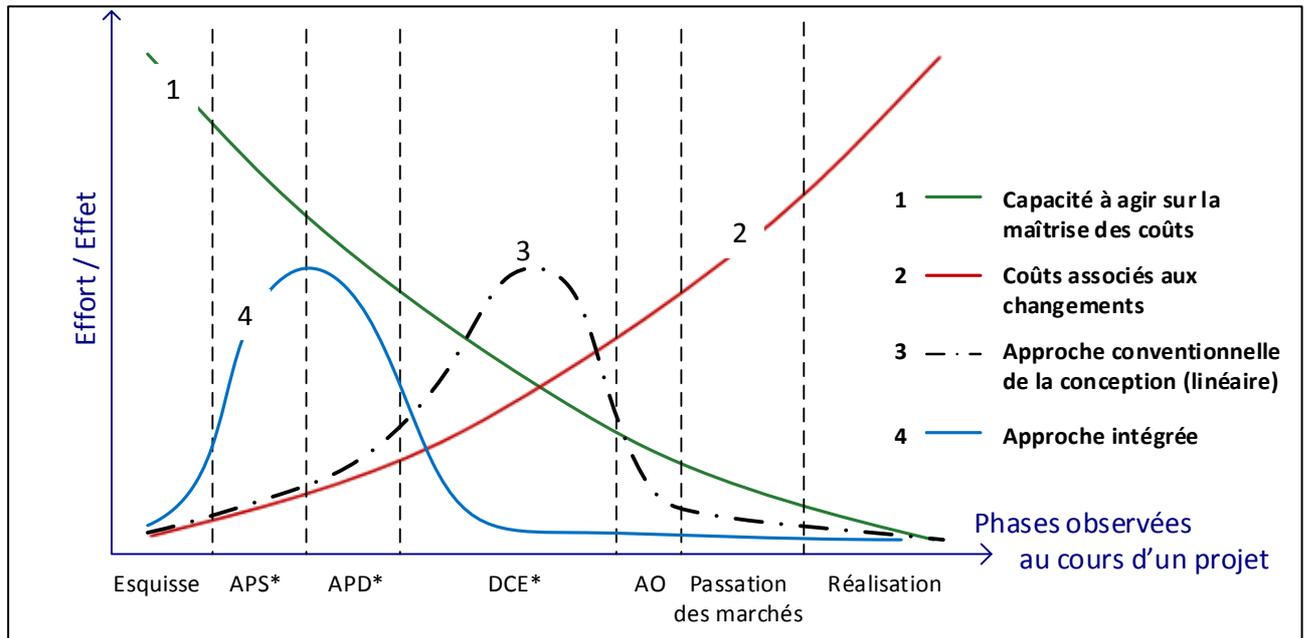


Figure 17 : Processus de conception intégrée (Inspiré de l'IPD (AIA, 2007))

***APS** : Avant-Projet Sommaire

***APD** : Avant-Projet Définitif

***DCE** : Dossier de Consultation des Entreprises

Les possibilités d'influencer le succès du projet sont considérées comme plus importantes au début du projet, car les décisions prises alors, de concert, réduisent les changements inutiles au cours de phases de développement ultérieures. Les changements et choix opérés à ce stade d'avancement du projet, dès les phases d'esquisse ou d'APS, ont une grande incidence sur le projet et les dépenses finales pour un coût associé encore très faible.

Cependant, le chiffrage des gains et la démonstration scientifique de ces affirmations ne sont pas immédiats. Peu d'études ont su quantifier les différences de performances entre des projets gérés selon l'approche IPD et l'équivalent (en termes d'ampleur et de difficultés) au format traditionnel. Cependant les conclusions de l'étude réalisée par El Asmar *et al.* aux États-Unis, et portant sur 35 projets industriels (12 projets IPD et 23 projets traditionnels comparables) corroborent les conclusions induites par la Figure 17 (El Asmar, Hanna et Loh, 2013). Les données analysées sont comme assez souvent éloignées du périmètre de la présente étude puisqu'elles émanent pour 50 % environ de projets hospitaliers, et pour environ 25 % de laboratoires de recherche universitaires. De plus, les montants des travaux engagés étaient à chaque fois de plusieurs millions d'euros. Cependant les résultats de cette étude indiquent que :

- l'approche IPD engendre des améliorations statistiquement significatives dans 14 mesures réparties dans six domaines de performance comme **la planification, la communication entre les parties prenantes, les performances environnementales et financières** ;

- les projets IPD enregistrent, moins de changements, des délais de traitement plus courts, tout comme les délais de livraison ;
- la contribution majeure de ce document est que l'approche IPD fournit des installations de meilleure qualité plus rapidement et sans surcoût.

Plus récemment, toujours dans l'idée d'accompagner les entreprises dans les évolutions rapides et difficiles qu'elles endurent actuellement, certaines entités n'hésitent pas à considérer comme indissociables les 3 approches présentées dans ces dernières parties à savoir le **BIM**, l'**IPD** et le **Lean Construction**. Après un cheminement de plusieurs années, le CIB (International Council for Building), anciennement « Conseil International du Bâtiment » (<http://www.cibworld.nl>) propose un concept appelé l'IDDS (Integrated Design and Delivery Solutions) regroupant et mixant ces 3 approches (Figure 18). En intégrant tous ces concepts dans un seul et même processus d'accompagnement, de diffusion d'information et de formation, le CIB entend privilégier « une amélioration profonde et continue, plutôt que le développement optimal d'une solution exclusive » des entreprises de la construction (Owen *et al.*, 2013).

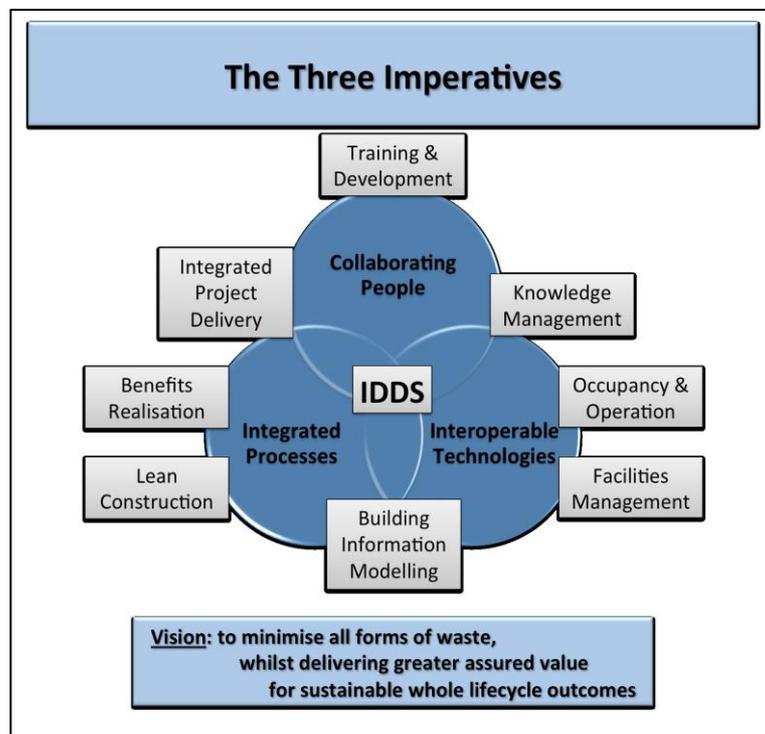


Figure 18 : Concept IDDS (Integrated Design and Delivery Solutions) proposé par le CIB

Une fois encore, l'ensemble de ces travaux révèle qu'il existe des liens étroits entre de nombreuses propositions d'amélioration scientifiques et industrielles. Ce serait une erreur de négliger et de ne focaliser l'attention que sur l'une d'entre elles. L'enjeu du travail de recherche qui est entrepris ici est bien de proposer des leviers pour faciliter l'implantation du BIM, mais le défi majeur est d'être en mesure d'aboutir à une vision suffisamment macroscopique pour ne pas restreindre le champ de progression. C'est bien la logique dans laquelle nous chercherons à nous placer lors de notre proposition finale.

2.5.6 Mise en place d'un modèle coopératif

Le fait de travailler dans un contexte de groupe et de manière collaborative en BIM est un des derniers éléments importants à mettre en évidence. La mise en œuvre du BIM améliore généralement les capacités de collaboration entre les organisations des participants au projet, mais cet outil technologique ne peut pas à lui seul résoudre tous les problèmes de collaboration (Cao, Li et Wang, 2017). Dans un contexte de rénovation quasi exclusif, l'implantation du BIM ne sera envisageable qu'à la condition de développer des outils et des modèles organisationnels appropriés, originaux et facilitant le travail de chacun.

L'émergence de certains constats au cours des interviews présentés en partie 3.1 et notre réflexion personnelle nous amènent à penser que pour être rapide, efficace, et en mesure d'intégrer un processus d'amélioration continue, il est nécessaire de regrouper les entreprises avec des équipements et des ressources financières ou humaines communs. Une telle association d'entreprises spécialisées dans les travaux de rénovation, travaillant de concert et régulièrement ensemble, pourrait être une solution pour « souder » les *petites entreprises* dont la portée, les moyens et les connaissances dans les nouvelles technologies sont généralement assez limités. Cela permettrait également de réduire l'actuel fonctionnement « en silo » de ces entreprises. En rénovation de bâtiments existants, les contrats sont, comme toujours, considérés comme les instruments juridiques par excellence du management de projets et peuvent être allégés par une approche collaborative inspirée de l'approche IPD (Khaddaj et Srour, 2016). Les modèles coopératifs d'entrepreneuriat permanent sont fréquents dans de nombreux autres domaines tels que l'agriculture. Cette vision a parfois été mentionnée lors des entrevues réalisées, et semble pouvoir être un facteur clé supplémentaire pour mutualiser des investissements et limiter les efforts nécessaires pour, par exemple, établir régulièrement de nouvelles *Conventions BIM*. Par cette proposition d'« organisation quasi permanente » et de rapprochements, certaines parties des conventions seront facilement reconduites d'un projet à l'autre. Des suivis efficaces et durables des indicateurs, des plans d'action, des formations et autres, peuvent ainsi exister et être facilités.

De nombreux avantages accompagnant de tels modèles d'organisation sont présentés dans la littérature :

- La collaboration entre les entreprises peut très bien contribuer à la constitution d'un vivier d'expertises et pourrait aider à partager le coût d'adoption (Mellon et Kouider, 2014).
- Les alliances et partenariats entre les différents acteurs conduisent à un partage cohérent de l'information et à une transparence accrue aboutissant à davantage de compréhension et de compassion pour les autres disciplines (Papadonikolaki, 2016).
- Le concept d'alliances au sein du secteur de la construction permet de développer un réseaux virtuels d'organisations et de partenaires, offrant la possibilité aux PME de peser davantage face aux grandes groupes (Rezgui et Miles, 2010).
- Ces auteurs estiment également que grâce aux TIC et à une contractualisation juridique adaptée entre acteurs, cette approche permet davantage de flexibilité et d'innovation si l'approche est éthique et la confiance mutuelle.
- Pour les PME, la réalisation d'économies d'échelle lors de la production de processus standardisés peut aussi être imaginée.

Les experts interrogés partagent donc nos sentiments à ce sujet, à savoir, qu'une alliance permanente et stable avec des partenaires bien connus offre de meilleures chances de réussir des projets de rénovation complexes. Avec un tel modèle d'organisation, les PME innovantes et

flexibles peuvent renforcer leur position concurrentielle face aux grandes entreprises et bâtir une réputation et une activité de niche. Cela permet une réponse plus appropriée au client, qui devient un acteur à part entière dans le projet et dont les besoins peuvent être captés plus facilement grâce aux relations privilégiées établies entre toutes les parties prenantes. Cette vision est conforme aux études qui montrent que, pour lutter contre l'escalade des coûts liée à la fragmentation des travaux de rénovation, de nombreuses entreprises sont prêtes à collaborer pour davantage de satisfaction clients et s'attendent ainsi à voir leurs parts de marché croître en partageant expériences et expertises (Mlecnik *et al.*, 2012), (Owen *et al.*, 2013), (Harty, Kouider et Paterson, 2015). De ce fait, les phases d'estimation et d'élaboration de devis, généralement chronophages, et dont le taux de retour positif ne dépasse pas 50 % selon notre enquête¹⁸, pourraient ainsi être améliorées par une proposition conjointe des différents acteurs. Les nombreux retours et incompatibilités constatés au cours de chantiers de rénovation et mis en évidence par la Figure 24, seraient ainsi réduits et les méthodes de travail tendront vers l'approche IPD (AIA, 2007).

Cette vision est un modèle d'organisation qui nous paraît pertinent et sur lequel, une fois encore, nous insisterons par la suite dans nos développements.

2.5.7 Modèles de Maturité (MM)

2.5.7.1 Concepts et définitions

Afin de simplifier la mise en œuvre du BIM, une analyse de la maturité des entreprises est, enfin, souvent au cœur des études scientifiques. Pour mieux comprendre ce concept, il est important de préciser certains éléments de vocabulaire. Avant l'existence du BIM au sein de l'AEC, les modèles de maturité sont apparus, très tôt, dans les études liées au management de la qualité (Crosby, 1980). À partir de 1983, ils ont été appliqués au développement de logiciels (Humphrey, 1988). L'une des normes les plus récentes sur le sujet, l'ISO / IEC 33001:2015, disponible exclusivement en anglais, définit trois notions essentielles. Nous en proposons ici une traduction. Le **niveau de maturité** est *le degré de maturité d'un processus organisationnel pour une entité organisationnelle donnée. Ce degré est mesuré sur une échelle ordinale et relativement au Modèle de Maturité utilisé* (ce qui explique qu'une même entité organisationnelle peut se trouver à des niveaux de maturité différents en fonction du modèle choisi). Par ailleurs, les **Modèles de Maturité (MM)** *sont issus d'un ou plusieurs modèles d'évaluation de processus déterminés. Ce type de modèle d'évaluation met en relation l'ensemble de ces processus et le degré qu'ils ont atteint sur une échelle de maturité organisationnelle. Pour finir, la Maturité d'un Processus Organisationnel désigne, dans un contexte spécifique, la mise en œuvre systématique par une unité organisationnelle de processus contribuant à la satisfaction de ses besoins opérationnels (actuels ou à venir).*

¹⁸ Questions 29 et 30 de l'Annexe 2.

Quelques modifications « sémantiques » ont été apportées à la suite de l'apparition récente de la norme ISO 30105-3:2016 intitulée « Technologies de l'information - Processus du cycle de vie de la délocalisation du processus d'affaires des services activés par IT - Partie 3 : Modèle de maturité de l'organisation et cadre de mesure ». La Maturité Organisationnelle y est définie sur une échelle ordinale comportant six niveaux et permet d'évaluer la maturité d'un **niveau 0 : Organisation Immature** à un **Niveau 5 : Organisation Transformationnelle** en passant par :

- **Niveau 1 : Organisation primaire**
- **Niveau 2 : Activités gérées**
- **Niveau 3 : Organisation gérée**
- **Niveau 4 : Alignement stratégique.**

Cette terminologie diffère légèrement de l'approche et des normalisations antérieures puisqu'auparavant la littérature scientifique BIM reposait souvent sur la norme ISO / CEI 15504-7 qui définissait un cadre de mesure et d'évaluation de la Maturité Organisationnelle avec une échelle toujours à six niveaux : **immature, primaire, gérée, établie, fiable et innovante**¹⁹. Cette définition d'échelle permet de mesurer la façon selon laquelle l'organisation a, de manière formelle et cohérente, établi, déployé et animé ces processus indispensables pour atteindre ses objectifs métiers. La plupart des travaux scientifiques insistent sur l'idée selon laquelle il n'y aurait pas de finalité définitive à la maturité ; le dernier niveau n'étant pas une destination, mais le niveau de maturité BIM le plus élevé dans un contexte donné (Cong Liang *et al.*, 2016).

L'aptitude à atteindre cet objectif s'accompagne souvent de la notion de capacité. Dans l'ancienne norme ISO/IEC 15504-2:2003 (ISO, 2003), standard à nouveau souvent référencé, et maintenant à travers l'**ISO/IEC 33020**, la capacité des processus est exprimée en termes de caractéristiques attribuées par niveaux. Elle caractérise l'aptitude d'un processus à atteindre les objectifs métiers actuels ou projetés. **Chaque niveau dénote d'une amélioration importante de la capacité dans l'exécution d'un processus.** En général, mais de manière non systématique, la capacité des processus est une fois encore définie selon six niveaux. Dans cette récente norme, les niveaux constituent une caractérisation rationnelle de l'évolution des capacités de tout processus :

- **Niveau 0 : Le processus est incomplet** (*Incomplete*) ; il n'est pas totalement mis en place et n'atteint pas ses objectifs.
- **Niveau 1 : Le processus est réalisé** (*Performed*) ; il est mis en œuvre et a atteint ses objectifs.
Niveau 2 : Le processus est géré (*Managed*) ; le processus est implanté et piloté (surveillé et ajusté). Ses résultats (*Work products*) sont établis, contrôlés, dûment enregistrés et maintenus.
- **Niveau 3 : Le processus est établi** (*Established*) ; le processus est à présent mis en œuvre, conformément au processus standard de l'organisation, de sorte que les résultats attendus soient atteints.

¹⁹ Immature, Basic, Managed, Established, Predictable and Innovating.

- **Niveau 4 : Le processus est prévisible** (*Predictable*) ; il fonctionne selon des objectifs de performance définis et bornés par des limites quantitatives définies. Les données mesurées et collectées sont analysées et permettent d'identifier les causes de variations assignables. Des actions de correction peuvent, par conséquent, être prises pour contrer les dérives.
- **Niveau 5 : Le processus est innovant** (*Innovating*) ; le processus précédemment décrit comme prévisible est maintenant continuellement amélioré pour suivre les changements et rester aligné avec les objectifs organisationnels.
Seul ce dernier niveau a connu une modification de sa définition puisqu'auparavant il correspondait à un niveau dit **d'optimisation** (*optimizing*), c'est-à-dire avec une performance de processus optimisée pour atteindre des objectifs actuels et futurs, et ce de façon « répétable ».

Maturité et Capacité sont donc étroitement liées. En 2002, une étude **SPICE** pour *Standardized Process Improvement for Construction Enterprises*, portant sur le secteur de la construction précise déjà les relations existant entre ces deux notions (Finnemore et Sarshar, 2002). Plutôt que des évolutions obtenues à la suite des sauts majeurs, les auteurs privilégient l'amélioration continue et, à ce titre, le concept SPICE propose de caractériser ces étapes à l'aide de niveaux de maturité qui constituent les bases successives d'amélioration continue des processus. Il est proposé dans ce travail que « *les niveaux fournissent des lignes directrices pour hiérarchiser les processus d'amélioration des activités et des ressources. Un **niveau de maturité** est un plateau bien défini vers la réalisation d'un processus mature. Chaque niveau comprend un ensemble d'objectifs qui, lorsqu'ils sont atteints, stabilisent un élément important du processus de « construction », ce qui entraîne une augmentation de la **capacité** du processus d'organisation et des ressources* ».

Ces deux concepts sont donc utiles quand il s'agit d'évoquer l'amélioration des processus et sont complémentaires quand ils ne sont pas confondus. Par exemple, l'ISO / CEI 33001:2015 est désignée comme l'inspiration du référentiel de maturité BIM Francophone BIMetric (BIMetric, 2016), cependant, il s'avère que les 6 niveaux de maturité proposés dans ce référentiel (0 : absent ; 1 : initial ; 2 : défini ; 3 : géré ; 4 : intégré ; 5 : optimisé) correspondent aux capacités définies par cette dernière norme.

Le travail de Succar (Succar, 2009b) - un des auteurs les plus cités sur le sujet - vient compléter ces constats de complémentarité et attester que la frontière peut être étroite (et parfois perméable) entre ces deux concepts. L'auteur définit, dans un premier temps, la **Capacité BIM** comme « *l'aptitude minimale requise d'une organisation ou d'une équipe pour réaliser une tâche, délivrer un service ou générer un produit* » et, dans un second temps, la **Maturité** « *comme le degré d'excellence dans l'exécution d'une tâche* ». Selon lui, « *cette distinction est cruciale pour bien appréhender la mise en œuvre du BIM par étapes, puisqu'il est, par nature, voué à instaurer des ruptures novatrices et à prendre de l'ampleur au sein des entreprises* » (Succar, Sher et Williams, 2012). Par conséquent, les phases de capacité BIM (ou phases BIM selon la traduction validée par Bilal Succar sur <http://bimexcellence.org/>) sont définies dans cette étude comme les principaux objectifs à atteindre par les équipes et les organisations qui adoptent les technologies et concepts BIM. Ainsi, les phases BIM correspondent à des points de départ fixes, tels que présentés Figure 19, **Pre-BIM** représente l'état de l'industrie avant la mise en œuvre BIM, **Trois autres phases BIM fixes** sont proposées, ainsi qu'un point final variable qui permet d'intégrer les futurs progrès encore imprévus des technologies. Cet **objectif ultime** de déploiement du BIM correspond à l'approche **IPD** mentionnée précédemment (AIA, 2007). Les

phases BIM comprennent des composantes technologiques, stratégiques et liées aux processus, et sont définies par :

- *La Phase BIM de niveau 1 - Une modélisation à base d'objets* : les utilisateurs génèrent des modèles par activité (ou lot de travail) propres aux différentes phases du cycle de vie du projet (conception/design, construction, exploitation de la construction).

- *La Phase BIM de niveau 2 - Une collaboration à base de modèle* : Ayant développé une expérience dans la modélisation par activité lors du déploiement de la Phase BIM 1, les acteurs de la Phase BIM 2 collaborent activement avec l'ensemble des acteurs. La collaboration à base de modèle peut se produire à l'intérieur d'une phase ou entre deux phases du cycle de vie d'un projet. Un exemple de cette phase 2 est l'échange de modèles architecturaux et structurels.

- *La Phase BIM de niveau 3 - Une Intégration basée réseau* : Dans cette phase les modèles intégrés sémantiquement riches sont créés, partagés et maintenus de manière collaborative, et ce dans toutes les phases du cycle de vie du projet.

Afin de faciliter le passage entre les phases, quatre étapes synonymes d'évolutions incrémentales sont définies (A à D).

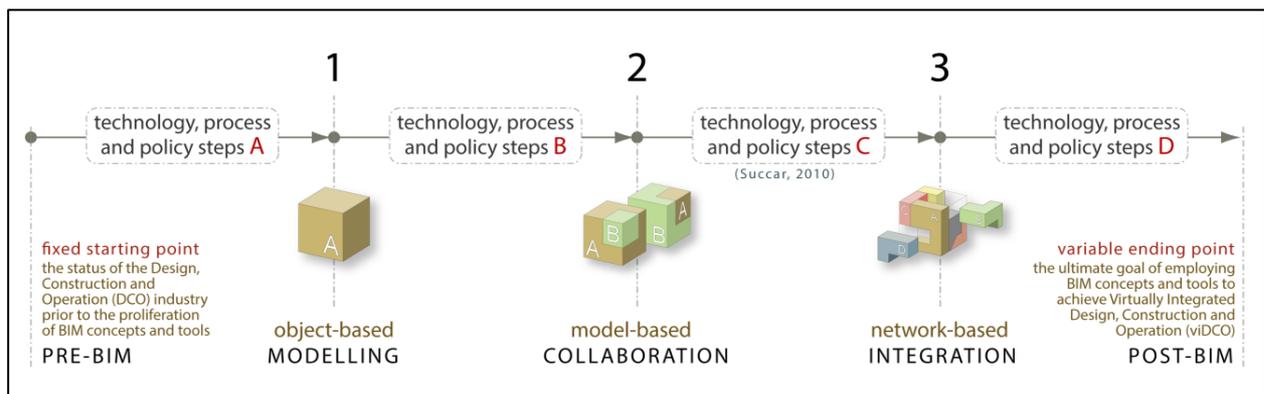


Figure 19: Étapes d'évolution et visualisation des phases PRE-BIM jusqu'à l'approche IPD, selon B. Succar

Le caractère « évolutif » du concept peut toutefois être souligné étant donné que les premières publications de ce même auteur (Succar, 2009a) datant de 2008 (figure 7), proposaient trois phases de **maturité** BIM fixes qui ont ensuite été reconsidérées et remplacées par le concept de **capacité** comme présenté ici.

Enfin, pour finaliser l'analyse des « chevauchements » qui semblent pouvoir parfois exister entre ces deux principes, il est possible d'évoquer les premières publications d'importance relatives aux MM BIM, proposées par Bew *et al.* (Bew *et al.*, 2008). Les propositions faites dans ces publications sont devenues ensuite des éléments centraux de la stratégie BIM déployée au Royaume-Uni (BIS, 2011) et des normes britanniques (BSI, 2013). Cet ensemble de publications doit être pris en considération, car elles ont elles-mêmes inspiré de nombreux autres pays et études jusqu'à ce jour. Malgré tout, certaines ambiguïtés peuvent apparaître pour les entreprises cherchant des conseils ou souhaitant clarifier le vocabulaire à utiliser. Dans ce MM, les niveaux de **maturité** de 0 à 3 sont utilisés pour classer les pratiques de collaboration ou de modélisation (BSI, 2013), Figure 1 p vii). Toutefois, Succar définit, à travers ses travaux, des caractérisations équivalentes comme étant des phases de **capacité** (Succar, 2009b). Comme expliqué précédemment, pour lui, les niveaux de maturité correspondent à

l'amélioration progressive et continue des processus, des technologies et des stratégies au sein de chaque étape BIM.

Cet auteur est souvent pris pour modèle d'un point de vue scientifique ; il approfondit, par ailleurs, de manière régulière et sensible ses propres modèles. Sa vision et ses définitions seront donc logiquement retenues comme références dans la suite de notre étude. Nous veillerons à employer **Capacité** pour l'aptitude de base à effectuer une tâche, fournir un service ou générer un produit et **Maturité** pour le degré d'excellence dans l'exécution d'une tâche.

2.5.7.2 Attendus liés à l'utilisation d'un modèle de maturité

La maturité peut s'appliquer à de nombreux acteurs : les clients et propriétaires, les gestionnaires des installations, les architectes, les Maîtres d'Œuvre, les sous-traitants, etc. Elle peut être un support d'analyses d'approches complexes, par exemple l'étude récente réalisée par Succar et Kassem (Succar et Kassem, 2015) traite de la maturité des marchés et des pays vis-à-vis de l'adoption du BIM, mais, à l'opposé, le Landscape Institute propose un MM extrêmement simple avec seulement 14 questions dont les seules réponses possibles sont oui ou non (Landscape Institute, 2012). Selon les auteurs évoquant la maturité, la raison d'être des MM est qu'ils sont des leviers efficaces pour introduire et animer le travail de collaboration BIM. Au même titre qu'au lieu d'employer l'acronyme BIM, certains, dont Kam *et al.*, parlent de VDC pour Virtual Design and Construction, le concept de « BIM-Assessment Methods » (BIM-AMs) pour les opérations d'AEC est parfois utilisé en complément de MM (Kam, Song et Senaratna, 2016), (Badrinath, Hsieh et Kumar, 2016). Parmi les arguments en faveur de ces outils (MM ou BIM-AM), il est possible d'évoquer les échelles de mesure. Ces échelles peuvent aider les parties prenantes du projet à quantifier et à comparer leurs capacités BIM et la maturité de leurs actions, organisations et des marchés vis-à-vis d'un standard (Badrinath, Hsieh et Kumar, 2016), (Wu *et al.*, 2017). Beaucoup affirment que, sans mesures et évaluations internes (des individus, des équipes, des organisations, des projets) et parfois même externes (sous-traitants ou intervenants), les différents partenaires sont incapables de quantifier régulièrement voire d'anticiper leurs succès/échecs/forces/faiblesses ni même d'être efficaces dans leurs investissements. Les MM représentent de ce fait une base indispensable au processus d'amélioration continue (Azzouz, Shepherd et Copping, 2016), (Succar, 2009b). Un ensemble solide de métriques BIM peut constituer les bases d'un système de certification formel qui pourrait être utilisé par les dirigeants d'entreprise, les autorités gouvernementales, les propriétaires ou donneurs d'ordre, pour présélectionner des fournisseurs de services en vue de travailler en BIM ou pour attester de la qualité de leurs livrables (Succar, 2009b). L'utilisation de BIM-AMs peut également aider les entreprises à optimiser la performance de leur main-d'œuvre, atténuer certaines réticences à l'implantation du BIM (en y intégrant les dimensions telles que la formation et l'éducation) et peut constituer un plus en termes de reconnaissance et de visibilité sur le marché (Azzouz, Shepherd et Copping, 2016), (Succar, 2009b). Ce sont également des appuis importants lors de l'élaboration de feuilles de route par les parties prenantes, ou pour identifier de futurs objectifs (Azzouz, Shepherd et Copping, 2016). Enfin, les MM constituent un outil utile à la gestion de projet (dont leurs risques) selon de nombreuses études (Sebastian et van Berlo, 2010).

Sans apporter une réponse universelle, l'ensemble de ces arguments en faveur des MM nous incite à penser qu'un tel outil est en soi une réponse intéressante aux attentes des *petites entreprises*. L'établissement d'un tel support, enrichi de l'ensemble des approches présentées dans cet état de l'art contribuera, selon nous, à soutenir l'évolution des entreprises de petites tailles. Le développement et le contenu spécifique du **BIM Maturity Model For Rénovation** (BiM²FR) que nous proposons, sont par conséquent, détaillés dans le Chapitre 4.

2.5.7.3 Modèles, contenus et sources d'inspiration du BiM²FR proposé

Les critères que nous avons considérés pour sélectionner 8 MM utiles à notre étude ont été les suivants :

- la pertinence scientifique et les processus de validation par des experts lors de leur élaboration ;
- la clarté des propositions faites ;
- la disponibilité des données au moment de l'étude²⁰ ;
- les convergences évidentes qui pouvaient se dessiner entre ces derniers et notre objectif.

Même s'il ne s'avère qu'aucun n'est en mesure, en l'état et *in extenso* d'être transposé à notre cœur de cible, ces 8 MM constitueront une base d'inspiration importante pour la suite. Après un examen minutieux des BIM-AMs et MM disponibles, nos choix et les outils retenus sont donc présentés dans cette partie. Une étude complète effectuée sur le sujet en 2016 précise qu'au moins 16 BIM-AMs peuvent être comptabilisés (Azzouz, Shepherd et Copping, 2016). Notre travail ne s'appuiera, quant à lui, que sur 8 modèles, dont 6 étaient également contenus dans cette revue :

- Pour commencer, notre attention s'est portée sur le « *Capability Maturity Model* » proposé par « the National BIM Standard-United States® » et recommandé pour les utilisateurs novices en BIM (NBIMS-US, 2015). Il est, en effet, facile à utiliser et permet d'évaluer des fonctions BIM assez basiques en abordant quelques thèmes utiles au lancement et à l'exploitation du BIM (Wu *et al.*, 2017). En 2007, la première version de la CMM est apparue et est disponible sous une troisième version interactive depuis 2015. Elle comporte 11 domaines d'intérêt et 10 niveaux de maturité. Ce nombre assez limité de points de mesure rend son utilisation un peu trop restrictive à nos yeux, et il semble nécessaire par la suite d'ouvrir davantage le champ d'interrogation et de questionnement. Les progrès réalisés à travers chaque domaine sont considérés comme une évolution de la maturité, définie par l'éditeur en accord avec les travaux de Succar. Le CMM fait également référence aux phases de capacités BIM en tant qu'aptitude minimale pour effectuer une tâche, fournir un service ou générer un produit.
- En plus de hiérarchiser les niveaux de maturité et ainsi d'indiquer étape par étape le chemin à suivre pour progresser, il est courant d'ajouter et de développer un système de notation qui peut être suivi pour mesurer les changements obtenus ou les progrès accomplis par les équipes et les organisations. C'est ce que propose le modèle **BIM³ (BIM Maturity Matrix)** (Succar, 2009b). En plus d'un positionnement à travers une matrice de maturité, il caractérise la maturité de l'entreprise par un score obtenu par compilation de 12 positionnements « dans la matrice ». Les positionnements sont regroupés en 5 domaines d'intérêt : la technologie, les processus, la stratégie, la maturité à l'intérieur de chaque phase de la capacité, et enfin la maturité organisationnelle. (Succar, Sher et Williams, 2012). Cette matrice BIM³ présente l'avantage, pour notre cible, d'avoir été traduite dans 5 autres langues (dont le français <http://bimexcellence.org/resources/300series/301in/>). Cela rend, en théorie, son

²⁰ Ce point nous a contraints, par exemple, à exclure le MM Quickscan pour lequel il était impossible d'obtenir des informations suffisamment exploitables, mais qui, depuis mai 2018, est à nouveau disponible à la suite d'une refonte complète de l'application WEB et quelques mois d'indisponibilité <https://bimsupporters.com/tools/bim-quickscan/> (Sebastian et van Berlo, 2010).

utilisation plus accessible aux entreprises francophones de petite taille. Toutefois, l'approche scientifique et la complexité de certains concepts comme les échelles organisationnelles ou les « *granularity levels* » semblent n'être appréciables et ne correspondre qu'à des organisations de taille significative. Cela rend donc son utilisation délicate, à ce stade, par des entreprises plutôt artisanales et axées sur leurs techniques métiers. Les préconisations de type « *Identifier la personne la plus apte pour conduire l'effort d'évaluation... ayant une expérience significative dans les outils, les flux de travail et les protocoles BIM... conduire cette évaluation comme une activité de groupe par exemple sous forme d'atelier de 3-8 individus représentant différents rôles, disciplines et niveaux hiérarchiques* » démontrent enfin que les entreprises de petite taille ne sont pas ciblées par ce MM.

- Cong Liang a essayé de simplifier l'approche via un « **Multifunctional BIM Maturity Model** » que nous avons également étudié ici (Cong Liang *et al.*, 2016). Pour ce modèle un groupe de 9 experts chinois a été constitué, dont 4 spécialistes du secteur public, 4 du secteur privé, le tout complété par 1 universitaire. Ce MM se concentre sur les différentes étapes du développement du BIM dans 3 domaines clés, à savoir : les technologies, les processus et les protocoles. 21 sous-domaines sont évalués selon seulement 4 niveaux (de 0 à 3). Ce faible nombre de niveaux, parfois utile, fait cependant perdre une partie de la vision du plan d'action et du cheminement incrémental qui s'annonce pour tendre vers davantage de maturité. Par ailleurs, une fois encore, la cible est de toute évidence assez éloignée de la nôtre. Même si les sous-domaines pourront être repris et complétés par la suite dans notre BiM²FR, notre enquête a révélé qu'il n'est pas possible de s'appuyer sur des quelconques « *BIM Steering Committee* » qui n'existent pas dans les entreprises de petite taille.
- Comme expliqué précédemment, les MM peuvent être matérialisés par une succession d'un nombre plus ou moins grand de questions. C'est le cas du « **VDC Scorecard** » proposé par Kam *et al.* qui fournit, *in fine*, un score et un positionnement sur une échelle à 5 niveaux selon que les pratiques sont jugées : conventionnelles (le score final est compris entre 0 et 25 %), standards (25-50 %), avancées (50-75 %), optimales (75-90 %), et innovantes (90-100 %). Ce quadrillage permet aux entreprises et aux chercheurs de constater comment se comporte un projet par rapport au reste de l'industrie de l'AEC (Kam, Song et Senaratna, 2016). Avec près de 60 points de mesure, ce dernier s'annonce toutefois trop complet et complexe pour devenir, selon nous, un support de référence au secteur de la rénovation.
- Avec le « **BIM Assessment Profile**, la maturité est mesurée selon 20 « *éléments de planification* », divisés, en réalité, selon 6 thèmes : *la stratégie, les usages BIM, les processus, l'information, l'infrastructure et enfin le personnel* (CIC, 2013). Les utilisateurs doivent sélectionner une des 6 mesures de maturité allant de 0 : non-Existant (pas de vision BIM des objectifs définis) à 5 : Optimisée. Ce modèle est lui aussi simple d'utilisation, mais la réflexion nous semble trop fermée sur la seule entreprise. Comme évoqué, il sera nécessaire de proposer un modèle permettant davantage d'ouverture sur l'extérieur et susceptible d'amorcer un processus collaboratif et d'alliance (établissement des *Conventions BIM*, échanges de données, mise en place de coopérations, etc.). De tels curseurs seront, par conséquent, ajoutés dans notre BiM²FR.
- Une collaboration entre Pennsylvania State University et ARUP a permis de mettre au jour un outil gratuit nommé « **BIM maturity measure** » (ARUP, 2015). Il propose 6 niveaux de maturité et sa construction est adossée au BIM Project Execution Planning

Guide du CIC. Une liste de points de mesure (allant jusqu'à 22, en fonction des choix opérés par l'entreprise) permet d'interroger les différents acteurs d'un projet et ainsi de définir sa maturité globale. La restitution finale s'effectue à l'aide d'un diagramme de Kiviati. Ce modèle est donc à privilégier pour un ensemble d'acteurs et un projet complet, et non un industriel en particulier. Ce modèle a été utilisé par l'organisation **BIM4SME**, qui partage une de nos préoccupations (BIM4SME, 2016). Elle s'efforce, en effet, de diffuser, au Royaume-Uni « *les meilleures pratiques et les connaissances pour rendre les micros, petites et moyennes entreprises de la construction prêtes à s'engager dans un processus "industriel" permettant de réaliser des économies de coûts et de valeur en rassemblant et en partageant des informations structurées* ». Bien que **la rénovation** puisse être choisie comme l'activité principale de certaines sociétés, elle est « malheureusement » à sélectionner parmi **30** autres domaines, comme **l'élaboration d'ouvrages autoroutiers, de tunnels et d'ouvrages souterrains, de ponts ou de constructions maritimes...** Une telle situation peut ne pas être claire et suffisamment engageante pour une communauté réticente et susceptible d'être résistante à de tels changements organisationnels.

- En France, le modèle de maturité BIMetric a été développé pour aider principalement les entreprises lors de nouvelles constructions ou de projets régis par la loi MOP (BIMetric, 2016). Il reprend, pour partie, le formalisme proposé par les 2 précédents modèles. Cependant, la structure du document rend cette proposition difficilement exploitable pour des activités de rénovation rarement découpées, d'après notre étude, selon les phases d'esquisse (ESQ), d'avant-projet sommaire (APS), d'avant-projet définitif (APD), ou encore d'exécution (EXE).
- Enfin, notre attention s'est portée sur les développements réalisés par **Vicosoftware** qui offre un « *BIM Scorecard* » qui permet aux entreprises d'évaluer les solutions qu'elles ont mises en place principalement d'un point de vue organisationnel (et assez peu axé compétences numériques et digitales) (Vicosoftware, 2017). 27 questions avec 4 niveaux de réponses possibles permettent d'aborder l'aptitude à détecter les interférences, à planifier et estimer les coûts, standardiser ou mettre en place des remontées de problèmes efficaces. Toutefois, cette solution exclusivement en langue anglaise et proposant de manière quasi nécessaire des services payants d'accompagnement n'est, une fois de plus, pas l'outil idéal à nos yeux.

La diversité des concepts et des approches intégrées dans ces modèles s'avère donc en résumé, souvent complexe pour les *petites entreprises* qui nous intéressent. C'est encore plus vrai pour le secteur de la rénovation, puisqu'aucun n'intègre dès sa conception les difficultés ou spécificités que notre enquête a révélées. Comme le souligne Wu « *Il n'y a pas d'outil universel... tous ont leur propre zone d'accentuation, leurs forces et leurs faiblesses, correspondant à différents utilisateurs...* » (Wu et al., 2017). Inspirés par tous les modèles présentés ici, nos propres travaux et développements vont tenter de convenir à la majorité des scénarii observés sur le terrain. **Certes, les MM peuvent constituer de précieux supports lors du processus de mise en œuvre du BIM et permettent aux utilisateurs d'identifier les compétences que cela requiert. Sous leurs formes actuelles, on ne peut cependant que constater un faible taux d'utilisation par l'industrie de la construction au Royaume-Uni (Dakhil, Alshawi et Underwood, 2015). Des compromis et des ajustements doivent donc encore être consentis. Le modèle BiM²FR, afin de satisfaire de nombreux utilisateurs a, dans cette logique, été élaboré à partir d'une synthèse des études et des avis d'experts ou de chercheurs recueillis au préalable. En plus d'intégrer le meilleur des 8 MM présentés**

ici, nous avons cherché à l'enrichir des meilleures pratiques et idées « actuelles » révélées par notre enquête et par l'état de l'art. Les principaux constituants de ce MM et les changements proposés seront détaillés au Chapitre 4.

2.6 Synthèse de l'état de l'art

Les nombreuses données scientifiques présentées ici révèlent donc que la plupart des concepts BIM utilisés en construction neuve par les grands groupes, sont actuellement hors de la portée d'artisans ou de *microentreprises*. Or ce profil d'acteurs et d'entreprises occupe une place essentielle dans le secteur du bâtiment et dans l'économie des états. Il convient donc de travailler à une proposition BIM leur correspondant. Malgré les difficultés qu'il faudra surmonter, sa mise en œuvre progressive semble être une solution d'actualité et d'avenir pour ce secteur dont la productivité mérite d'être améliorée. La mise en œuvre du BIM est un processus complexe ; les règles et les méthodes doivent être respectées pour que le succès soit au rendez-vous. Comme pour tout projet industriel ou organisationnel, ce déploiement nécessite la mise en place et le **suivi d'indicateurs, une approche managériale adaptée et l'établissement de processus pour la gestion de la documentation et des collaborations**. Les acteurs doivent être en mesure d'utiliser **des outils supports, des ressources, de s'inspirer des échecs et réussites** connus par la concurrence ou des domaines connexes... Pour les guider vers de telles perspectives, l'état de l'art a révélé qu'un des outils les plus pertinents serait un Modèle de Maturité capable, idéalement, d'intégrer l'ensemble des leviers et FCS abordés (approche coopérative, LC, Approche Intégrée etc.). Les modèles disponibles à ce jour ne semblent ni répondre à de telles attentes ni suffisamment correspondre aux spécificités des *petites entreprises* engagées en rénovation. Il convient donc, à présent, de combler ce vide en développant un MM spécifique et adapté. Une connaissance encore plus fine du secteur de la rénovation s'avère également, en amont, indispensable (l'état de l'art ayant révélé qu'il était assez peu étudié ou de façon trop peu représentative). Le Chapitre 3 vise donc à pallier ces insuffisances en présentant les résultats d'une enquête réalisée auprès de professionnels de la rénovation. Ces résultats et les concepts présentés au Chapitre 2 serviront donc de données d'entrée au **BiM²FR**, Modèle de Maturité destiné à la rénovation présenté ensuite au Chapitre 4.

Chapitre 3. Observation macroscopique du secteur de la rénovation française : profils, processus et usages des acteurs

Pour exploiter les innovations technologiques liées à la digitalisation du secteur, il est indispensable de posséder et maîtriser un logiciel BIM ainsi que la maquette numérique du bâtiment ou les outils de numérisation permettant de l'établir. Or, comme l'état de l'art l'a mis en évidence, la majorité des entreprises concernées ne paraissent pas en avoir les moyens. Ces applications et les gains escomptés sont-ils réels et véritablement à la portée des artisans acteurs de ce secteur ? Ces derniers sont-ils assurés de rentabiliser leur passage à la 3D compte tenu des processus et fonctionnements en place actuellement ? L'ensemble des secteurs de la rénovation (couverture, CVC, plomberie sanitaire, etc.) présentés en Figure 11, sont-ils tous concernés et de manière systématique ? Une observation macroscopique doit être réalisée pour apporter des réponses à ces interrogations et finaliser ainsi l'état des lieux entrepris auparavant.

3.1 Enquête / Observation des usages

Une analyse plus approfondie du secteur est nécessaire pour cartographier les profils, processus et usages des acteurs de la rénovation. Les données existantes aujourd'hui, notamment pour le marché français, ne permettent pas de définir clairement ce que sont les priorités d'un chef d'entreprise en rénovation. Ce dernier pourra s'interroger aussi bien sur l'intérêt de privilégier le passage à la maquette numérique ou sur la pertinence d'obtenir des labels reconnus du public et de sa clientèle. Il a d'ailleurs été rappelé au paragraphe 2.2 qu'il trouvera sur Internet assez peu de conseils ou d'aides spécifiques à son activité en vue du déploiement du BIM au sein de son entreprise. De nombreuses attentes ou développements sont également encore à imaginer pour satisfaire, aider et convaincre les professionnels du secteur d'investir dans la maquette numérique. Certaines études précisent à ce sujet qu'il existe bien évidemment des risques de résistance au changement, lors de l'implantation de solutions numériques dans le bâtiment (Hartmann et Fischer, 2009), mais que seule la connaissance du terrain et des réponses appropriées permettront de les atténuer. Ces auteurs insistent sur la nécessité de travailler en prise directe avec les chantiers et avec les acteurs lors du développement.

Les professionnels de la rénovation n'ont pas tous les mêmes besoins ni les mêmes compétences. Ils n'aspirent pas non plus tous au même niveau de maîtrise des outils mis à leur disposition. La rénovation ne peut pas être résumée par un processus normatif unique. Envisager pour tous une seule et même réponse qui serait optimale ne serait donc ni réaliste ni cohérent. Toutefois, pour accélérer la mutation numérique des entreprises, une enquête

visant à mieux cerner les activités du secteur de la rénovation et leurs besoins essentiels se devait d'être réalisée.

3.1.1 Mise en place d'une enquête

3.1.1.1 Moyens mis en œuvre

Pour un état des lieux précis, les données ont été recueillies *via* 1 à 3 heures d'entretiens en face à face, entre décembre 2016 et mars 2017. Ces entretiens étaient semi-structurés, mixant des questions ouvertes et fermées. Cette approche a permis de découvrir la façon de travailler des PME, d'observer les installations, les moyens informatiques, et parfois les machines ou les stocks en place, et ainsi de mieux cerner les sociétés.

Comme le décrivent Savall et Zardet, l'intention est ici "*descriptive*" (constitution d'un corps de connaissances sur l'objet de recherche), "*explicative*" (*apport par raisonnement d'interprétation et d'explication des phénomènes observés*) et, dans les travaux qui suivront, "*prescriptive*" (*propositions de recommandations, suite aux observations, pour transformer l'objet étudié*) (Savall et Zardet, 2004). Les objectifs de ces entretiens sont à mi-chemin entre le conseil (*obtention de résultats enrichissant la connaissance et le corpus d'hypothèses existants*) et la recherche-intervention (*pas de résultat préétabli*) pour la poursuite du travail. En ce sens, l'approche adoptée est assez similaire à celle utilisée dans l'étude de Khosrowshahi pour l'industrie de la construction au Royaume-Uni (Khosrowshahi et Arayici, 2012).

L'objectif de l'enquête était d'obtenir une « image fidèle de la situation actuelle », des besoins et des usages des entreprises auxquels le BIM pourrait répondre et la meilleure façon d'y parvenir. Pour cela, une population représentative du secteur de la rénovation²¹ a été choisie de manière à comprendre puis à construire des modèles sur une base solide inspirée d'observations de terrain. Les principaux métiers et professions impliqués dans la rénovation, tels que définis par l'Observatoire des Métiers du BTP (Observatoire des Métiers du BTP, 2016), ont été considérés (électricité, plomberie, couverture, maçonnerie, etc.). Les sociétés exercent généralement plusieurs activités, de sorte que les particularités de chacun des 16 principaux métiers et professions (Figure 11) ont été abordées entre 2 et 7 fois au cours de l'enquête. Les retours obtenus ne se limitent pas aux corps de métiers et activités de l'entreprise. Toutes les sociétés étant en contact avec beaucoup d'autres acteurs, les habitudes et contraintes de travail d'un panel de professionnels beaucoup plus large ont ainsi pu être capitalisées. Enfin, pour plus de commodités, l'enquête et certains éléments d'analyse ont été réalisés avec l'aide du logiciel Sphinx Plus²-V5.

3.1.1.2 Représentativité de l'enquête

Toujours selon l'Observatoire des métiers, la construction couvre 2 grands secteurs : la construction et le génie civil. Ce dernier, qui ne représente que 7 % de l'ensemble, n'est pas considéré dans ce travail.

Le panel d'entreprises interrogées a été formé à partir de la mise en réseau, via des conseils de la Fédération Française du Bâtiment et la méthode d'échantillonnage « boule de neige ». L'enquête a été principalement réalisée en Bourgogne-Franche-Comté (BFC) dont la

²¹ La liste exhaustive des entreprises rencontrées et certaines informations les concernant sont disponibles en Annexe 3.

distribution par taille d'entreprises est proche des répartitions nationales (INSEE, 2016b),
comme le précise le Tableau 9.

	Taille					
	Total	0	1 à 9 employés	10 à 19 employés	20 à 49 employés	Plus de 50
Entreprises en France	666 739	469 267	166 446	17 887	9 764	3 375
Distribution	100 %	70,4 %	25 %	2,7 %	1,5 %	0,5 %
Entreprises en BFC	24 271	16 014	6 948	775	431	103
Distribution	100 %	66 %	28,6 %	3,2 %	1,8 %	0,4 %

Tableau 9 : Distribution par taille des entreprises françaises de la construction

D'un point de vue « technologique ou culturel », il est également possible de justifier ce choix restrictif par deux études qui tendent à se neutraliser. La première souligne qu'en France le niveau d'intégration et de connaissance BIM est assez stable et évolue peu d'une région à l'autre (seulement entre 23 % et 37 % des PME ont entendu parler du BIM selon les zones géographiques), la région Parisienne étant, selon cette étude, légèrement en dessous de la moyenne avec 30 % (Giroud, 2017). Paradoxalement, une étude récente relative à l'évolution de l'ingénierie française de la construction souligne que les projets BIM sont concentrés en région Ile de France (KYU Lab, 2016). Par conséquent, transposer des résultats obtenus à l'échelle de la BFC ne devrait pas déformer outre mesure la réalité à l'échelle nationale.

3.1.1.3 Description de l'enquête

34 entreprises ont été interrogées. 85 % du panel était composé de personnes en place depuis 16 ans (avec un écart-type de 9 ans). Le groupe a été divisé en 2 entités.

- Le Groupe A (GRA) est composé de 23 sociétés « techniques ». 70 % seulement ont une activité de pose ; les autres sont à la fois fabricants et poseurs.
- Le Groupe B (GRB) comprend des architectes, des consultants, des concepteurs, des économistes, des géomètres-experts, des commerciaux et des bailleurs sociaux. Leurs principales missions sont de conseiller et d'organiser des projets de construction.

Conformément aux constats décrits ci-dessus, 70 % des entreprises du GRA réalisent plus de 80 % de leur CA dans la rénovation. 65 % d'entre elles interviennent exclusivement chez les particuliers. Pour 90 % du groupe, les AO (Appels d'Offres) représentent moins de 10 % de l'activité. Le CA moyen de ces entreprises se situe entre 250 000 et 500 000 €. L'objectif étant d'être le plus représentatif possible, l'enquête s'est prolongée aussi longtemps que nécessaire pour obtenir une vision « caractéristique ». En l'occurrence ici, les membres du GRA réalisent dans leur ensemble plus de 3 200 projets par an. Ces derniers sont principalement menés par des *microentreprises* (moyenne de 7,65 employés, avec un écart-type de 7,5 employés).

3.1.1.4 Questions retenues

Pour appréhender la portée de l'étude, l'ensemble des questions posées ou abordées au cours des entretiens est présenté en annexe 2 ; elles sont toutes extraites du logiciel Sphinx Plus²-V5.

La première partie des questions (1 à 36) consiste à caractériser l'entreprise et les principaux projets qu'elle réalise (taille d'entreprise, chiffre d'affaires, caractéristiques des chantiers...). Quelques précisions concernant le profil de l'industriel interviewé (rôle,

formations premières, etc.) ont été également recueillies afin de pouvoir cerner précisément le panel d'entreprises choisies.

Les questions suivantes (37 à 56) permettent ensuite d'identifier le corps d'état de l'entreprise, le type d'activité (fabrication, pose, vente, conception...) ainsi que les principales collaborations et difficultés qui en résultent.

Les 15 questions suivantes (57 à 72) clarifient l'organisation et l'approche projet en vigueur au cours des réalisations ou au sein de l'entreprise elle-même.

Les questions 73 à 101 s'intéressent ensuite aux connaissances ou attentes liées aux nouvelles technologies et au numérique.

La dernière partie du questionnaire (102 à 116), après présentation des principes du BIM, met en évidence ce que cette évolution et les nouvelles pratiques associées pourraient apporter. Elle permet également de capter les nombreuses questions, les réticences et les inquiétudes que la mise en œuvre du BIM peut soulever au sein de la profession.

3.1.2 Principaux résultats

Sur la centaine de points abordés au cours des entretiens, seules les parties utiles pour décrypter le fonctionnement des *petites entreprises* sont présentées ici.

3.1.2.1 Le Groupe A (GRA)

Parmi les principales observations, qui laissent douter de l'introduction rapide puis de l'utilisation de la maquette numérique et du BIM, nous pouvons signaler, par exemple, que 60 % des membres du GRA travaillent sans logiciel de devis ou utilisent tout simplement MS EXCEL pour cette tâche. Plus de 95 % n'ont aucune procédure et 2/3 travaillent sans indicateurs. Ils n'ont pratiquement pas de relation (90 %) avec les géomètres qui sont à même d'effectuer des études 2D ou 3D. Dans 50 % des cas, des dessins 2D sont fournis moins de 20 % du temps, et seulement 15 % du groupe a le sentiment d'utiliser des plans exploitables et à jour. Un tiers estime que les plans 2D sont inutiles en rénovation. Les dessins ou les schémas se font généralement à la main ou sans logiciel dédié (50 %). Moins de 40 % sont équipés de solutions informatiques pour cela, et ces plans 2D ne sont nécessaires que dans 44 % des cas (écart-type de 41). Dans ce contexte, il est compréhensible que 13 % n'aient que rarement utilisé des *Boîtes à Plans* et privilégient encore les échanges d'informations par téléphone, courriel ou réunions sur chantier.

D'autres caractéristiques de ces entreprises, utiles pour de futurs travaux, sont présentées Figure 20 et Figure 21. On constate que des relations existent entre l'importance des AO dans le CA (représenté par la taille des bulles), la proportion de projets réalisés avec architectes, le rapport entre les projets de rénovation et les travaux neufs, le tout en fonction du nombre d'employés. De tels liens ont été expliqués lors des entretiens par le fait que les entreprises, ayant une masse salariale relativement élevée, ont besoin d'identifier et de lisser leur charge. Pour cela il est important de remplir son carnet de commandes très en amont des chantiers *via* des constructions neuves ou en répondant à différents AO.

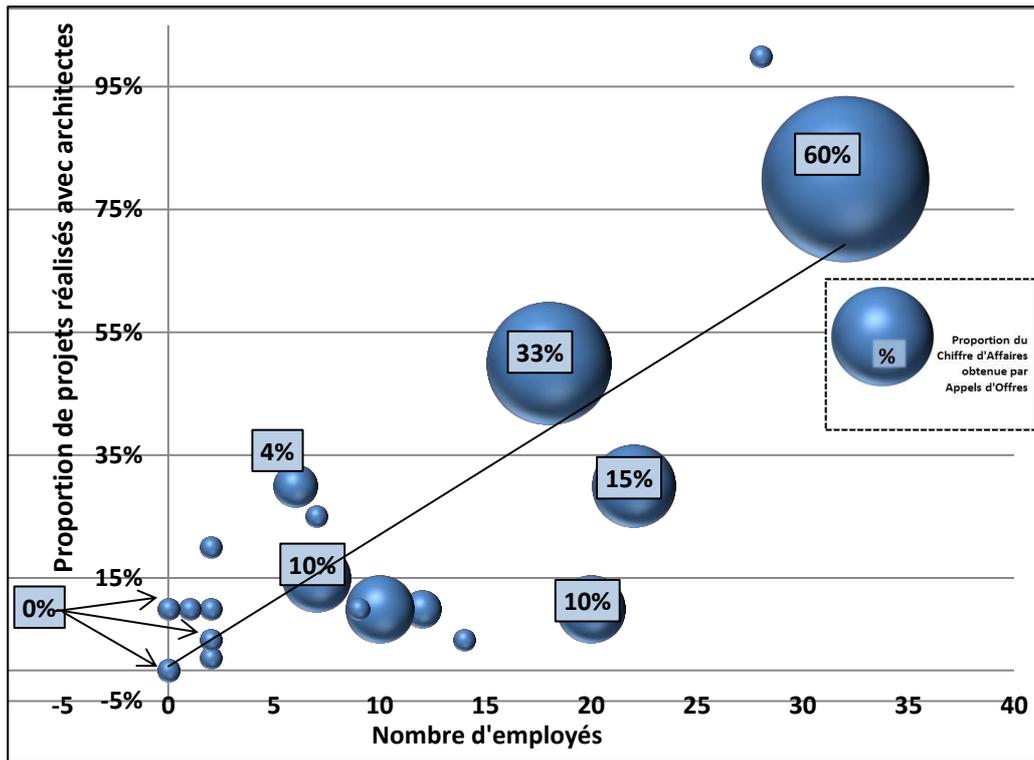


Figure 20 : Relations entre le nombre d'employés, la proportion de projets réalisés avec architectes et l'importance des AO dans le CA

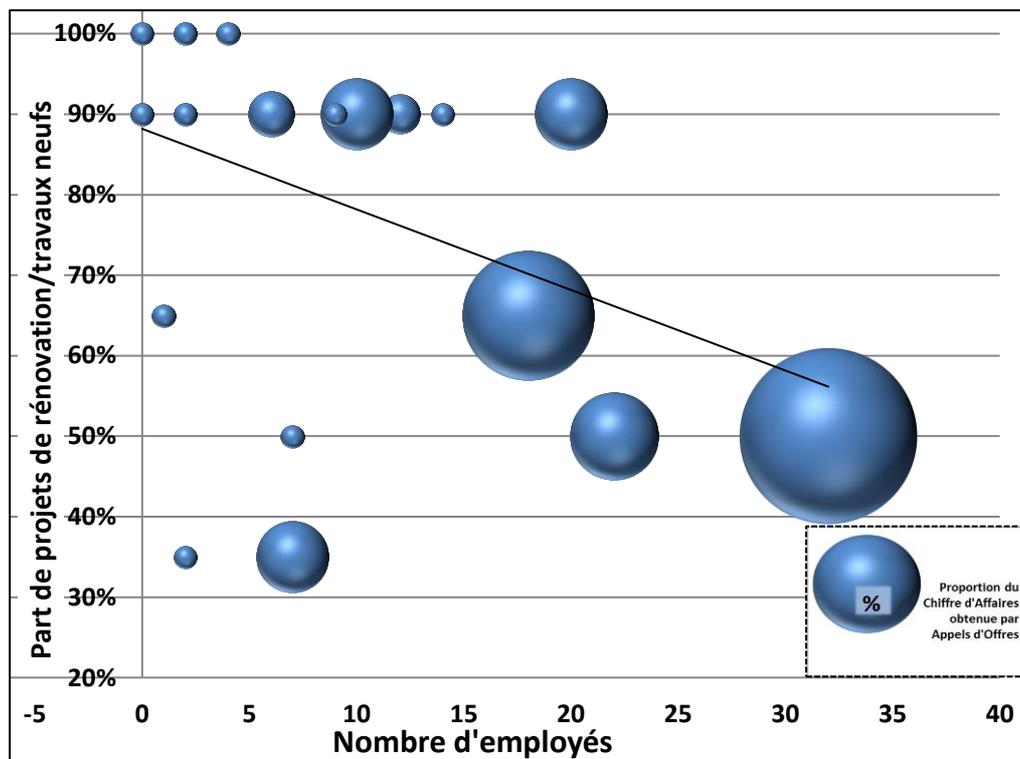


Figure 21 : Relations entre le nombre d'employés, la part de projets de rénovation face aux travaux neufs et l'importance des AO dans le CA

3.1.2.2 Vision de la 3D et du BIM par les membres du GRA

Le but de cette enquête était également de comprendre ce que le BIM pourrait, à l'avenir, améliorer (par apport, diminution ou fiabilisation de données). Il est donc important de noter que les difficultés majoritairement rencontrées et soulevées sont les événements imprévus et leurs conséquences en termes de planification, de charge de travail et de coûts (56 % des réponses). Les autres difficultés évoquées sont les relations entre entreprises, les hausses constantes de charges de travail (dont l'administratif) pour un tiers des personnes interrogées. Au cours des projets, les partenaires utilisent des tablettes PC dans moins de 6 % des cas et elles sont même absentes dans 7 cas sur 10.

Après que les principes généraux du BIM ont été présentés aux participants (seulement 26 % en avaient déjà entendu parler), un tiers ne se considère pas concerné. Le temps nécessaire, les investissements et la complexité que cela représente sont autant de craintes soulevées par plus de 50 % du groupe. Près de 20 % des projets ou interventions sont effectués sur des sites où l'entreprise est déjà intervenue. Ce point souligne un des intérêts que le BIM pourrait immédiatement représenter en rénovation : sa capacité à capitaliser l'information. Selon nos entretiens, des changements ont déjà eu lieu dans le secteur de la construction puisque 80 % des commandes sont désormais réalisées en ligne ou directement sur Smartphone via applications et QR codes. Bien que les acteurs rencontrés soient attachés à leurs habitudes et méthodes de travail, certaines attentes sont bien présentes et pourraient être comblées par le BIM et la 3D. Mentionnons par exemple, l'amélioration des échanges, l'interopérabilité, la réduction des conflits (pour 26 % des participants), et une meilleure capacité à appréhender et visualiser des difficultés à venir dans 44 % des cas. Enfin, 57 % pensent que le BIM pourrait faciliter la compréhension et la prise de décision par les clients.

Le chemin est encore long puisque 65 % des projets de rénovation sont effectués sans 3D, et dans plus de 8 cas sur 10, elle est utilisée pour moins de 10 % des projets. Les modèles 3D sont lus par des visualiseurs de type Acrobat ; une seule personne utilise Autodesk AUTOCAD. Dans d'autres rares cas, l'usage de la 3D correspond à des logiciels métiers utilisés pour la FAO²² ou *via* des applications fournies par les fabricants (cuisiniste).

3.1.2.3 Le Groupe B (GRB)

Parmi les 8 *microentreprises*, la *petite entreprise* et les 2 PME du GRB, il est intéressant de noter la présence de deux membres de bureaux d'études (un spécialiste de la numérisation pour la déconstruction et un thermicien), un économiste, 5 membres de cabinets d'architectes dont la taille varie de 1 à 6 personnes, un responsable d'une société de 25 géomètres-experts et enfin un responsable d'une agence OPAC (Office Public d'Aménagement et de Construction) qui réhabilite près de 800 logements par an. 90 % du groupe effectue plus de 50 % de son activité en rénovation. 50 % des activités de ce groupe sont réalisés sur AO et soumis à la loi MOP. Les difficultés rencontrées ici sont les imprévus dans 63 % des cas. Les relations complexes avec les clients et les autres acteurs sont d'autres défis à relever (36 %), en particulier lors d'interventions en sites occupés. Enfin, les contraintes technologiques et administratives (en particulier lors des demandes de permis en zones classées) ressortent dans 27 % des cas. Ces acteurs entretiennent des relations assez étroites avec les géomètres-experts qui interviennent dans 3 projets sur 10 pour des relevés topographiques et deux fois moins souvent pour des relevés intérieurs. 91 % des entreprises de ce panel sont équipées de logiciels 2D et 3D. La 3D est utilisée dans 53 % de leurs projets

²² FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur.

de rénovation. Ses apports (avec le même taux de réponse de 36 %) sont la réduction des conflits, la possibilité de stocker et de visualiser plus d'informations, une aide pour le client qui s'approprie plus facilement le projet, et enfin, une meilleure anticipation des difficultés.

En raison des spécificités des professions représentées au sein du GRB, mais aussi d'un écart de niveau d'études (niveau BAC maximum pour 60 % du GRA contre BAC+2 pour 90 % du GRB) ces derniers ont logiquement moins de difficultés pour se projeter et envisager de passer au BIM, concept connu de 72 % d'entre eux. Un seul représentant du groupe travaille en BIM. Autodesk REVIT et Abvent ARCHICAD sont présents dans 45 % des entreprises, mais souvent uniquement pour être en capacité d'ouvrir des fichiers. À l'exception d'un spécialiste de la démolition et de la digitalisation, aucun travail BIM collaboratif n'est mis en place, même pour l'agence OPAC rencontrée et réalisant plus de 1 000 interventions par an, dont 75 % en rénovation. Il existe une prise de conscience croissante et il faut souligner que les personnes interrogées estiment que leurs méthodes de travail sont sur le point de changer dans 5 cas sur 10. Ils espèrent que le BIM sera en mesure d'améliorer l'interopérabilité (72 %) et de réduire les conflits en facilitant l'anticipation (45 %). Ces acteurs et leurs avis sont importants pour la suite, car ils seront vraisemblablement des maillons essentiels lors de la transformation des méthodes de travail des professionnels de la rénovation. Ils devraient être des pionniers, des acteurs privilégiés du modèle numérique, et en mesure de prendre les devants lors de l'élaboration de *Conventions BIM* nécessaires à tout projet collaboratif. Cette prise de conscience et cette volonté d'évoluer sont donc des atouts sur lesquels nous pouvons compter à l'avenir. Enfin, la question de la rentabilité et des investissements sont les principales préoccupations pour 72 % du groupe. Tous les architectes rencontrés redoutent effectivement d'avoir à assurer de nouveaux frais ou de voir leur charge de travail augmenter s'ils doivent jouer un rôle moteur dans la gestion des données BIM.

3.1.2.4 Synthèse de l'enquête

D'autres résultats peuvent venir compléter cette analyse, révélant des différences significatives entre les 2 groupes (proportion de réponses positives), différences qui auront un impact sur les capacités et les besoins d'investissements des entreprises. Les données recueillies au cours des entrevues corroborent bien, par exemple, certaines études récentes, mettant en évidence la persistance de la 2D au sein de cette profession. Un tiers de GRA ne se sent pas concerné par le BIM et ne prévoit pas de changements dans un proche avenir, comme le montre la Figure 22.

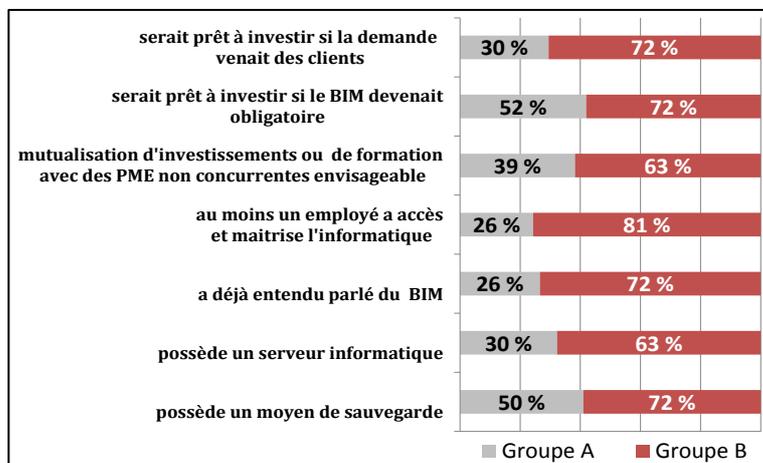


Figure 22 : Contrastes fondamentaux

En plus de la comparaison des valeurs ajoutées par heure travaillée proposée dans le Tableau 1, et des 15 000 défaillances d'entreprises que le secteur rencontre (et présentées en partie 1.1.3), il est intéressant de montrer que le sentiment de satisfaction des entreprises interrogées va à l'encontre d'une autre enquête récente de l'Ademe. Celle-ci démontre que, sur 1500 personnes interrogées après des travaux de rénovation, seulement 50 % d'entre elles estiment avoir été globalement bien conseillées par les artisans au cours des travaux (Ademe, 2015). Un tiers des propriétaires juge que les artisans sont bien coordonnés. Enfin, seulement 20 % des clients environ ont constaté une plus-value en termes de conseil et de prise en compte énergétique... (Synthèse complète proposée en Figure 23). **Même si les acteurs eux-mêmes ne s'en rendent donc pas toujours compte**, des améliorations doivent bien encore pouvoir être apportées et des changements pourraient être les bienvenus.

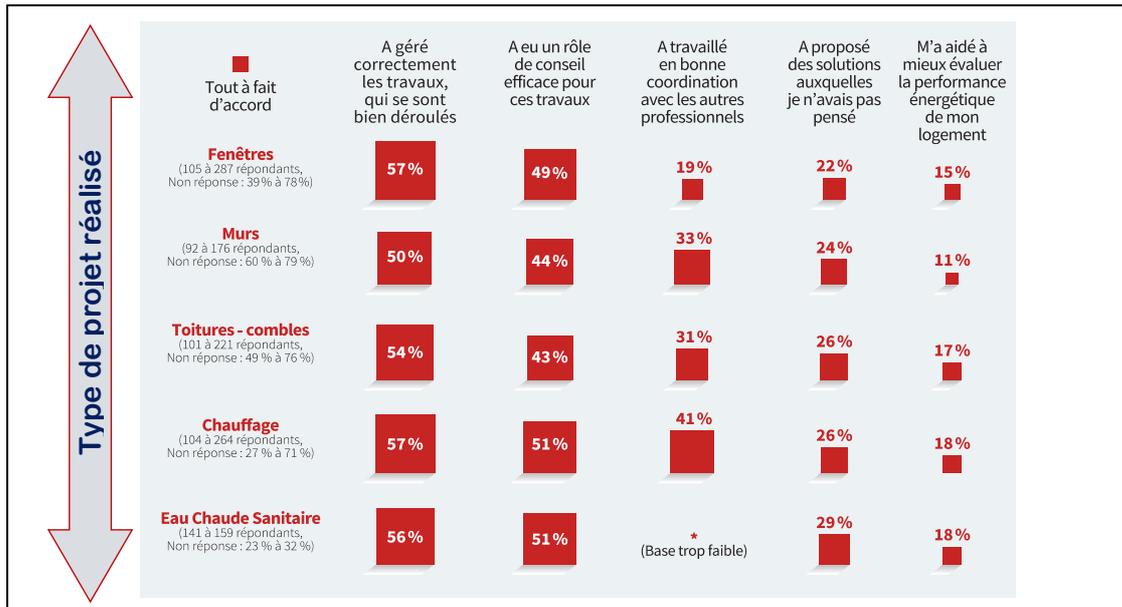


Figure 23 : Recensement d'opinions auprès de 1500 clients suite à l'intervention d'artisans selon l'Ademe

Pour appuyer encore l'idée que des évolutions devront bel et bien être opérées, et peut-être accessoirement convaincre certains acteurs sceptiques, il est possible d'avancer que les constructions actuelles et futures réalisées avec le BIM devront à moyen terme être rénovées, ou que, quoi qu'il arrive, de nouvelles start-up et entreprises émergent et se positionnent déjà sur ces nouveaux marchés. Elles sont logiquement moins conservatrices, n'auront pas à implémenter le BIM (puisque son utilisation sera innée) et risquent de prendre petit à petit des parts de marchés de plus en plus importantes.

La qualité des échanges que nous avons eus avec les professionnels rencontrés, et les observations des pratiques actuellement en place, donnent une meilleure compréhension de la situation et offrent la possibilité de dessiner les contours « d'une transition réaliste et fonctionnelle ». Par ailleurs, les entretiens réalisés et les informations échangées, notamment lors de la question 40²³, ont permis de mettre au jour un ensemble d'étapes assez récurrentes et « partagées » par la majorité des acteurs lors des projets de rénovation. La partie suivante

²³ **Question 40** : Etapes clés et "standards" d'un projet (devis, demande de permis, modification suite aux demandes de permis ou client, montage de dossier de financement, montage de dossier d'aide (ADEME...)) (Annexe 2)

se propose de restituer ces dernières à l'aide du standard de modélisation de processus BPMN (Business Process Model and Notation).

3.1.2.5 Représentation du processus de rénovation le plus couramment décrit par les entreprises interrogées

Pour sa simplicité et sa clarté, la modélisation BPMN a été retenue pour synthétiser les principaux processus métiers en vigueur dans la majorité des projets de rénovation sans intervention d'architecte et lorsque le projet n'est pas soumis à la loi MOP (donc prioritairement des marchés privés de petite taille). Cette modélisation développée par la Business Process Management Initiative (BPMI) est désormais maintenue par l'Object Management Group (OMG). La dernière version, BPMN 2.0, date de 2011 (<http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>). Dans un contexte proche de notre étude, cette modélisation a, par exemple, été utilisée pour décrire le processus de décision et les sources d'informations pour un projet de rénovation énergétique avec appels d'offres (Falcon, 2013) ou pour présenter l'ensemble des processus vers lesquels tendre pour des travaux neufs collaboratifs en BIM (CIC Research Group, 2011a). Pour notre étude, les éléments graphiques utilisés et leurs significations sont résumés dans le Tableau 10.

Objets de connexion :						
Echanges entre processus						
Les enchainements d'activités						
Associations entre artefacts					
Objets d'organisation (Swimlanes)						
Le Processus complet est représenté sous forme d'un groupement (Pool)	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Processus complet</td> <td>Enchaînement d'activités par type de participant</td> <td></td> </tr> <tr> <td>« couloir »</td> <td></td> </tr> </table>	Processus complet	Enchaînement d'activités par type de participant		« couloir »	
Processus complet			Enchaînement d'activités par type de participant			
	« couloir »					
A l'intérieur, les activités des différents participants sont délimitées par des couloirs (Lanes)						
Activités						
Tâche						
Branchements						
Branchement exclusif						
Fonction ET (ou branchement Parallèle)						
Evènements :						
Début de processus						
Evènement intermédiaire						
Evènement de fin						

Tableau 10 : Éléments graphiques utilisés

La restitution finale est proposée en Figure 24. L'élaboration de cette cartographie des processus, indispensable pour la suite de notre travail, nous a permis de rendre compte ici :

- de la complexité et de la multitude d'échanges qui peuvent avoir lieu lors d'un projet, quelle que soit son importance, à partir du moment où plusieurs entreprises sont concernées et consultées ;
- de la relative fragilité et des failles existantes lors d'un tel processus complet (faiblesses parfois soulignées par certaines entreprises), notamment au nœud décisionnel n°2. Il n'est pas rare, en effet, alors que les entreprises ont été sélectionnées, et que les travaux pourraient en théorie commencer, que le projet ne repasse au point mort, les propositions retenues étant incompatibles entre elles. Le problème porte alors sur des aspects financiers et juridiques, puisque les devis reçus et validés lors de la synthèse en amont de la décision n°1, relative au démarrage du projet, pourront ensuite être remis en cause.

Ces éléments et la cartographie dans son ensemble expliquent et soulignent sur le fond, les aléas / les dépassements de délais ou financiers / les nombreuses pertes d'informations lors des différentes étapes du projet. Cela confirme donc bien la nécessité de tout mettre en œuvre pour simplifier et globalement proposer des améliorations à ces acteurs de la construction. Le BIM semble bien, aux yeux de la littérature scientifique, pouvoir y parvenir. Il conviendra toutefois pour ce secteur de la rénovation si particulier, et pour limiter la résistance au changement, de ne surtout pas faire table rase de l'ensemble des pratiques et habitudes actuelles, et bien entendu de ne pas complexifier encore l'ensemble.

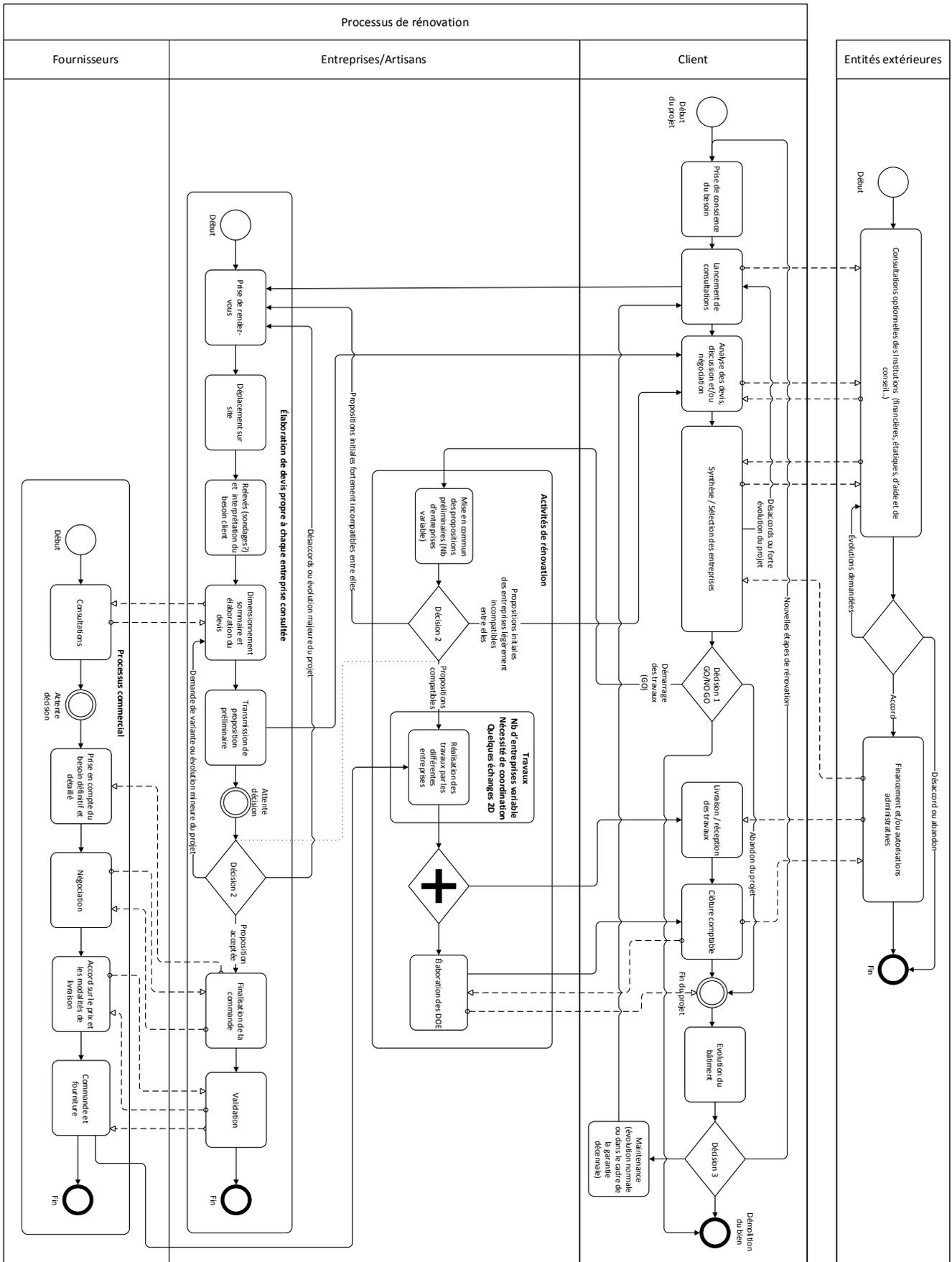


Figure 24 : Proposition d'une modélisation des processus « courants » en rénovation

3.1.3 Apports de l'enquête et synthèse partielle

L'étude réalisée et les résultats qui en ont découlés confirment que la tâche, aux côtés des professionnels, pour déployer et généraliser l'utilisation du BIM dans le secteur de la construction, *a fortiori* dans le contexte de travaux de rénovation, sera complexe. Pour cela, de nombreux leviers informatiques et organisationnels doivent être exploités. Cette enquête corrobore une étude récente, réalisée auprès de 400 *petites entreprises*, qui révèle que seulement 1 % d'entre elles ont actuellement une approche BIM (Giroud, 2017). La présente analyse a tenté d'apporter une description, aussi précise que possible, des entreprises françaises réalisant la majeure partie des projets de réparation et de rénovation de bâtiments. À l'heure actuelle, il semble ambitieux de vouloir contribuer à la transformation de l'ensemble des business model rencontrés. Comme indiqué en partie 3.1.2.3 ou Figure 22, certaines professions (GRB) sont prêtes à investir et sont davantage conscientes de cette urgence et des possibilités que le BIM peut fournir. La décision imminente du gouvernement français d'imposer un certain niveau de BIM dès les AO, l'émergence de modèles numériques dans les constructions neuves, le tout croisé avec les interviews et les analyses des Figure 20 et Figure 21, nous amènent à conclure que les entreprises de moins de 5 employés ne doivent pas être notre cible première. La priorité semble ainsi devoir être les entreprises possédant de 5 et 50 employés, majoritairement tournées vers la rénovation, prenant parfois part aux marchés publics, et en contact avec les professions visées par le GRB. Ce sont des entreprises correspondant à ce profil qui devraient, en premier lieu, et de manière progressive, introduire le BIM au sein de leurs activités.

Grâce à cette enquête, les processus, les moyens à leur disposition, les vecteurs de communication et d'échange d'informations habituellement mis en place, les besoins « concrets » et les défis auxquels les *petites entreprises* sont confrontées en rénovation sont, à présent, mieux caractérisés. Les spécificités de ce secteur, ainsi que les habitudes ou les différents états d'esprit en place selon l'appariement au GRA ou au GRB, mais aussi selon le type d'activité principale (poseur et/ou fabricant) ont été révélées. Bien que partiellement présentées ici, l'évolution de certaines professions et l'émergence de nouvelles compétences (liées à la gestion du patrimoine ou des installations) ont été abordées au cours des entrevues et auront toute leur place dans les modèles que nous proposerons ensuite.

Chapitre 4. Proposition d'un Modèle de Maturité

Ce chapitre décrit notre proposition de recherche : un Modèle de Maturité destiné à faciliter l'adoption du BIM en rénovation. Ce dernier a été construit avec le désir d'activer un maximum de leviers et d'outils présentés dans l'état de l'art, comme le montre la Figure 25. Il a également été élaboré dans un souci de cohérence avec les profils des acteurs dégagés par l'enquête et dans le but d'améliorer leurs usages.

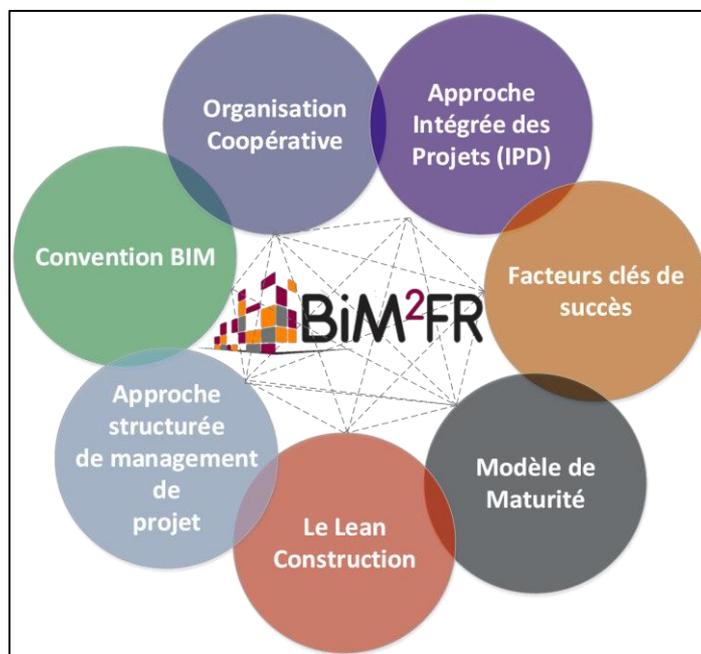


Figure 25 : Leviers de mise en œuvre du BIM

4.1 Objectifs

Le MM que nous avons développé se veut, en premier lieu, adapté aux *petites entreprises* qui ont des ressources financières et humaines « limitées ». Il se devait donc d'être relativement simple pour être utilisé efficacement par un grand nombre d'entreprises sans connaissance particulière dans les TIC ou sans compétence 3D manifeste. Les efforts d'analyse et de synthèse préparatoires ont également permis de proposer un outil plus pertinent, et surtout résolument ciblé sur le secteur de la rénovation.

Afin d'aider le public visé à se remettre en question et faire qu'il soit plus facilement convaincu, nous avons mis en œuvre la vision de Azzouz *et al.*, à savoir que « *la simplicité*

doit être présente dans un outil d'AM²⁴ "complexe" » (Azzouz, Shepherd et Copping, 2016). Il doit être construit autour d'un langage clair, d'une description des mesures, d'un cadre structuré et de recommandations rigoureuses sur la façon de l'utiliser ». Ceci nous semble être la clé du succès et a été le leitmotiv de notre proposition, dont la forme et le fond devaient :

- permettre aux entreprises de s'auto-évaluer et de réaliser un état des lieux de leurs activités ;
- offrir la possibilité de communiquer et de conseiller certains principes utiles au déploiement et au fonctionnement collaboratif BIM ;
- faire émerger certaines lacunes ou faiblesses qui risqueraient de mettre en difficulté l'entreprise lorsque le projet est déjà « opérationnel » ou en phase de démarrage ;
- faciliter l'interrogation et le questionnement sur des thèmes qui se sont avérés être, à l'issue de l'état de l'art, des FCS sur lesquels il est donc important de s'adosser ;
- fournir un outil de suivi des avancées obtenues, expérience après expérience, afin de constituer ou d'alimenter des tableaux de bord ;
- permettre aux entreprises de se comparer entre elles, d'utiliser un langage commun et de tendre vers un modèle et un fonctionnement coopératif.

Ces critères nous ont permis de sélectionner et de créer l'ensemble des questionnements et des réponses à choix multiples représentatives des différents niveaux de maturité.

4.2 Méthodologie et orientations du MM proposé

4.2.1 Principaux choix effectués

Au-delà des nombreuses informations que l'état de l'art nous a permis de dégager, il convient d'apporter quelques précisions.

- La mise en place de simples échelles de référencement ou de questionnaires à choix multiples par de nombreux modèles s'avère facile à utiliser, mais reste parfois considérée comme un moyen trop subjectif (Wu *et al.*, 2017). Toutefois, une entreprise novice en BIM et découvrant seule cette approche ne sera pas en mesure d'utiliser des outils complexes pour établir avec précision son propre bilan. Cela risquerait d'engendrer d'importantes dépenses liées à la formation et surtout à l'intervention de sociétés de conseils. En dépit des lacunes que certains choix effectués pour construire BiM²FR peuvent entraîner, nous avons cependant privilégié un modèle et un ensemble de questions relativement simples, rendant ainsi le modèle ouvert et accessible au plus grand nombre. Cette simplicité n'empêchera pas, pour autant, de s'interroger sur le recours éventuel aux conseils d'experts externes.

²⁴ AM : Assessment Method

- BiM²FR prend la forme d'une succession de questions. Il aborde des thèmes classiques, déjà présents dans la littérature, mais aussi des thèmes novateurs, à savoir inspirés de nos rencontres avec les utilisateurs potentiels, ou semblant nécessaires au regard de la littérature et de nos analyses. C'est pour cela, par exemple, que conformément aux propositions soulevées en partie 2.5.6, une réflexion sur un état d'esprit « coopératif » (décrit comme un potentiel d'alliances pour les PME (Rezgui et Miles, 2010) ou un processus de collaboration interorganisationnel (Cao, Li et Wang, 2017)), a été proposé car un tel état d'esprit facilite l'atteinte de certains objectifs liés au BIM (Mellon et Kouider, 2014). Il en est de même pour l'importance centrale et première que prennent les étapes d'estimation et d'élaboration des devis bien en amont de la rénovation en tant que telle. Ces points ne sont pas abordés dans les MM existants et figurent logiquement dans notre proposition finale.
- Il est essentiel de rendre notre développement gratuit et accessible à la plupart afin d'éviter les reproches et obstacles que rencontrent certains MM onéreux (Badrinath, Hsieh et Kumar, 2016).
- Nous veillerons ensuite à éviter certaines faiblesses mises en évidence par de nombreuses études (Giel et Issa, 2013). À savoir, par exemple, qu'à un faible niveau de maturité ou en phase de « modélisation à base d'objets » on constate un manque de coordination et de collaboration avec d'autres utilisateurs BIM et avec le client (Dakhil, Underwood et Al Shawi, 2016). Ce dernier doit avoir un rôle prépondérant dans le choix et la mise en œuvre d'un modèle coopératif. Cela passe par l'élaboration d'éléments cruciaux telles que les obligations d'*Employer Information Requirements* (EIR), traduites dans la nouvelle norme (ISO, 2018) par *Exigences d'Echange d'Informations*. Ces dernières pouvant être intégrées aux *Conventions BIM*, notre modèle devra mettre l'accent à la fois sur cette place centrale du client ainsi que sur l'existence des *Conventions BIM*. Par conséquent, nous proposons un indice de maturité d'élaboration de *Conventions BIM*, appelé « **Maturité de Convention BIM** » visant à rendre compte des forces ou des faiblesses de l'industriel vis-à-vis des contenus et de la rédaction de ces conventions.
- Nous sommes aussi convaincus que le développement d'un modèle spécifiant les objectifs et les transitions aide l'utilisateur à rédiger une feuille de route au moment du processus d'implémentation du BIM (Wu *et al.*, 2017). De ce fait, lorsque des choix devaient être opérés entre plusieurs modèles redondants, nous avons retenu, à qualité égale, le modèle proposant le plus grand nombre de niveaux de maturité et représentant ainsi avantageusement le processus d'implantation incrémentale à venir pour l'entreprise. Ce fut notamment le cas du MM inspiré du NBIMS Capability Model, qui propose 10 niveaux de maturité par thème traité. Pour un thème donné, plus le nombre de niveaux et d'étapes est important, plus le processus incrémental apparaît clairement et saura être déployé de manière efficace. Les problématiques de la stratégie (première question présentée dans le Tableau 12), de la quantité et du type d'indicateurs à déployer et à suivre pour gérer un projet ou certains processus métiers (questions 25 et 26 du Tableau 13), sont ainsi concernées.

4.2.2 Méthodologie retenue

Même si les 8 MM retenus et présentés en partie 2.5.7.3 sont perfectibles, ils vont apporter une base de questionnement et un crédit scientifique intéressants à notre proposition. Le mode opératoire retenu pour extraire et retenir le meilleur de ces MM a été de répertorier

l'ensemble des questions et approches proposées (plus quelques idées fortes émanant d'autres modèles qu'il était irréaliste de vouloir intégrer complètement). À partir de cela nous avons pu constituer une première base de données de plus de 185 questions débouchant sur plus de 800 réponses envisageables.

Il a ensuite été nécessaire de réaliser des regroupements par thèmes abordés. Un certain nombre de redondances sont alors apparues. Les questions considérées hors sujet ou trop complexes ont été soit simplifiées, soit mises de côté pour d'éventuels futurs travaux. De ce fait, l'outil et les termes utilisés sont volontairement simplifiés pour correspondre aux réalités des entreprises visées. Pour ces raisons, nous avons cherché à retirer tout ou partie des éléments destinés aux organisations fortement structurées et avancées tels que : l'existence de *BIM Planning Committee*, de *Senior Leadership*, etc.

4.2.3 Choix d'orientation : le soutien aux entreprises et interentreprises

Les pratiques et habitudes de travail relativement peu cadrées des entreprises du secteur les rendent peu préparées pour que nous puissions espérer déployer certains processus métiers liés à la mise en œuvre du BIM. Par conséquent, la plupart des entreprises devront être accompagnées durant cette transition. Ceci explique le questionnement relatif au soutien puis à l'acquisition progressive d'autonomie ajouté aux modèles existants *via* la question 10 du Tableau 13. Nous supposons ici que la compétence BIM sera, de premier abord, externe (mais peut, bien entendu, être interne à l'entreprise), et que l'autonomie, synonyme de maturité grandissante, se développera progressivement au sein des sociétés.

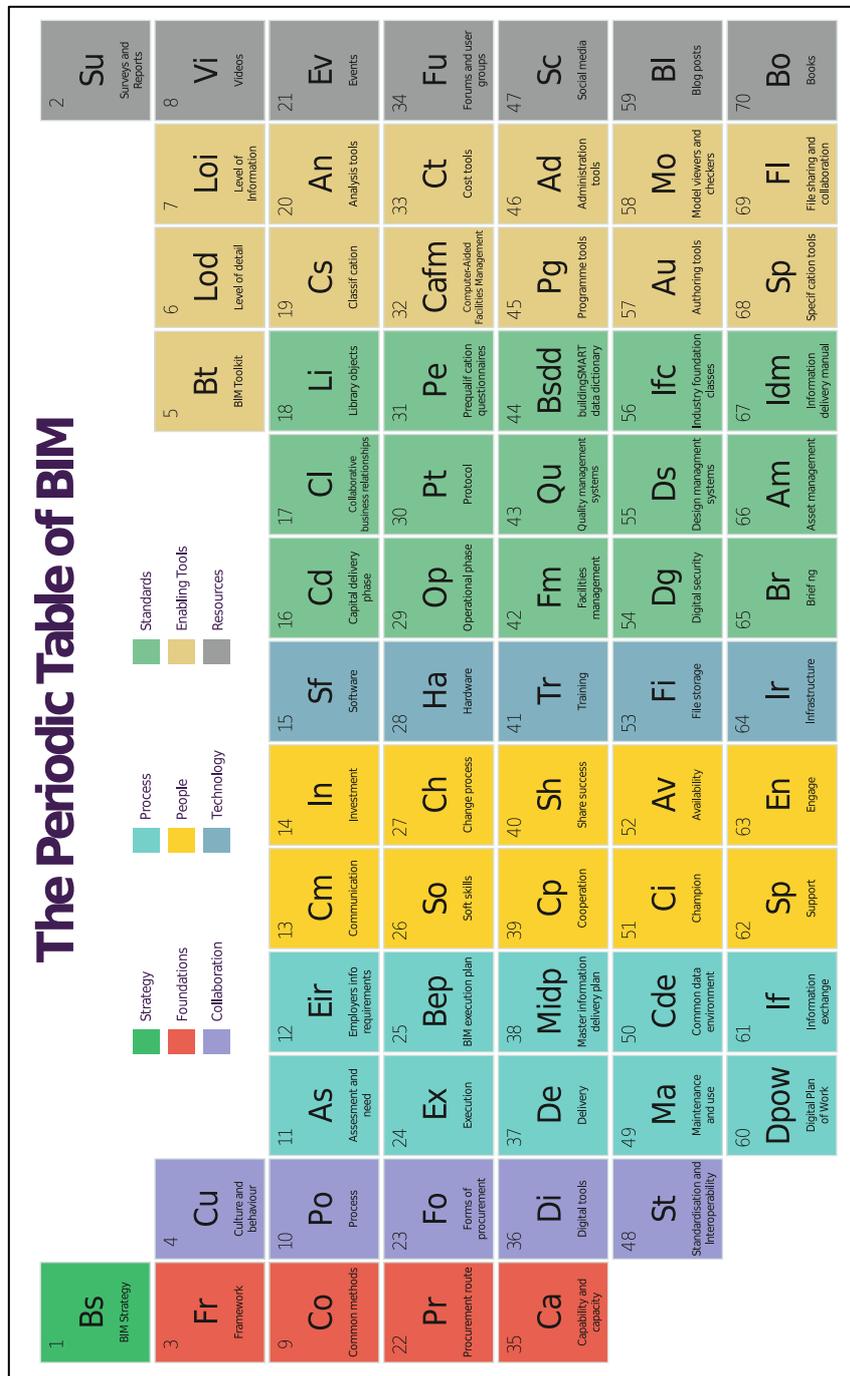
Par ailleurs, comme cela a été mis en évidence dans l'état de l'art, il semble nécessaire d'inciter les entreprises à davantage de travail coopératif et à créer entre elles différentes formules d'alliances. Dans ce but, et de manière totalement originale par rapport aux MM existants, nous insistons à travers les questions 6, 12 et 13 sur ces approches en essayant de les mettre en évidence. Le niveau de maturité ultime, proposé par exemple à la question 12, pour les phases d'estimation/élaboration de devis, est une réflexion selon laquelle un membre du groupe d'entreprises serait chargé de recueillir un ensemble de données numériques utiles pour retranscrire le bâtiment existant et les besoins du client. Dans ce scénario, chaque participant du projet serait en mesure de constituer de façon synchrone en BIM ses propres contributions et estimations liées à ses activités. Une telle réponse « concertée », qui peut s'apparenter à l'approche IPD, permettrait aussi de réduire les reprises de propositions très chronophages comme nous l'avons présenté à travers la Figure 24 : Proposition d'une modélisation des processus « courants » en rénovation. Des compléments aux propositions de Succar (question 13) ont enfin été apportés afin d'accentuer cette vision de modèle coopératif.

Au terme de cette étude préliminaire, tous les outils et concepts scientifiques, ainsi que les idées et remarques personnelles qu'ils ont fait naître, nous permettent d'élaborer un MM adapté au secteur de la rénovation et de ses acteurs.

4.3 Thèmes de maturité

Le modèle BiM²FR que nous proposons se compose de 28 mesures qui prennent en considération les principaux éléments facilitant la mise en œuvre du BIM précédemment présentés. Il rend compte du fonctionnement général de l'entreprise et non pas d'un projet en particulier. La restitution finale prendra la forme d'un diagramme radar à 10 composantes. La

première mesure concerne logiquement un indice de maturité d'élaboration de *Convention BIM (Maturité de convention BIM)*. Les 9 autres thèmes retenus pour caractériser la maturité de l'entreprise sont ceux utilisés par le National Building Specification (NBS) à travers une mise en forme originale de Tableau périodique BIM (Figure 26) (NBS-RIBA, 2016).



Ressources. Même si nous avons des divergences par rapport à certains des points abordés dans cette proposition, il semblait intéressant de conserver ces thèmes inspirés de l'expérience d'un groupement d'architectes aussi important que celui de *The Royal Institute of British Architects*. Nous avons ainsi préféré rattacher prioritairement la problématique de la *formation du personnel* au thème **Ressources Humaines, Stratégie et Fondamentaux** plutôt qu'au seul thème **Technologie** comme le propose le NBS. De plus, nous avons choisi d'écarter de notre proposition un dixième thème : « Digital Plan Of Work » en considérant qu'il était déjà intégré à l'indice de maturité d'élaboration de *Conventions BIM*. Ce dernier était également redondant puisque présent de manière générique dans la liste des **Processus Métiers**. Enfin, en plus de l'indice de **Maturité de Convention BIM, une même question peut alimenter jusqu'à 3 des 9 maturités selon les enjeux et les points abordés par celle-ci**. La problématique des échanges de données abordée en question 17 aura, par exemple, un impact sur la maturité liée à la **Collaboration, aux Ressources Humaines, et aux Processus métiers** en place.

Pour plus de clarté, il convient de préciser ce à quoi correspondent les 9 regroupements dont il est question :

- **Stratégie**

La stratégie est au cœur de toute mise en œuvre de BIM réussie. Se questionner à propos de ce qu'il convient d'obtenir du BIM, comment et pourquoi mettre en œuvre une stratégie (et par voie de conséquence les fondamentaux sous-jacents, les processus, la technologie, les outils et les ressources) est essentiel au succès. Une stratégie est supposée être unique et fortement reliée aux facteurs clés propres à l'entreprise.

- **Fondamentaux**

Une stratégie doit être construite sur certains fondamentaux, à savoir des valeurs, des connaissances et des systèmes efficaces en termes de communication, d'échanges d'informations et de transferts de données pour permettre l'exploitation d'un processus BIM avancé. Pour développer des bases solides, il faut également examiner la façon dont sont gérées la production, la distribution et la qualité des informations de construction dans un environnement de données commun, assurant à tous d'accéder aux mêmes éléments. Des décisions doivent également être prises pour accentuer et faciliter la collaboration : la gestion des modèles, la propriété intellectuelle en termes de droits et de gestion des données, les responsabilités en cas d'erreurs (compte tenu de la fiabilité des données fournies), les responsabilités, etc.

- **Collaboration**

BIM et travail collaboratif vont de pair. Un travail plus efficace passe par :

- l'acquisition et la maîtrise d'outils numériques facilitant la collaboration et les échanges fluides de données interopérables,
- des changements culturels, d'attitude et de comportement de l'ensemble des acteurs.

Ces points doivent donc être maîtrisés.

- **Processus Métiers**

Comprendre les processus déjà en place permet de déterminer où des améliorations peuvent être apportées. Une vision BIM idéale consiste à structurer de la même façon pour l'ensemble des participants la totalité des données. Cela nécessite la compréhension des exigences d'information tout le long du cycle de vie du projet - de

l'évaluation des besoins client à la maintenance et l'utilisation, en passant par la livraison du bien - et donc un environnement de données commun.

- **Ressources humaines**

Aucune ressource humaine (*a fortiori* interne) ne doit être négligée ou écartée d'une stratégie BIM (ou non BIM). Tout processus d'accompagnement au changement nécessite l'implication et l'adhésion de tous. Il est important de fournir une communication claire à l'ensemble des collaborateurs concernés par la mise en œuvre du BIM pour qu'ils sachent pourquoi et comment ils seront impliqués. Un soutien de la direction est indispensable ; des leaders BIM doivent être identifiés et bien présents.

- **La technologie**

Il faut, de toute évidence, disposer d'une technologie appropriée et en adéquation avec les objectifs BIM. Au-delà des choix logiciels et matériels, déployer un environnement numérique nécessite de s'interroger sur le stockage des données ainsi que la meilleure façon de partager et de publier de façon sécurisée des informations.

- **Normes et procédures**²⁵

De nombreuses normes, procédures ou documents supports peuvent contribuer aux stratégies des entreprises et faciliter la collaboration en BIM. Qu'ils soient internes, locaux, internationaux ou imposés par le client, tous ces documents facilitateurs et propices au progrès doivent être intégrés à la réflexion.

- **Fonctionnalités visées**

Différents outils, modules ou options logicielles peuvent être nécessaires afin d'effectuer certaines tâches ou fonctions spécifiques. Il convient donc, **après avoir identifié les besoins**, de veiller à ce que les moyens mis en place soient interopérables et permettent des échanges fluides d'informations entre les systèmes existants ou nouveaux.

- **Ressources**

Enfin, avant tout investissement, il est utile d'examiner quels outils sont accessibles (notamment gratuitement) et permettent l'accès et l'acquisition d'informations et de connaissances. Un certain recul critique combiné à la nécessité de « documenter » les prises de décisions est ici indispensable compte tenu des enjeux.

4.4 Formalisme de présentation, échelles de mesure et restitution

Les 28 questions sélectionnées ou conçues à la suite des précédentes analyses, de même que le raisonnement sous-jacent et les différents niveaux de maturité envisagés sont présentés en partie 4.5. L'ensemble prend la forme de tableaux contenant les informations justificatives (Principaux FCS ou concepts « scientifiques » soulignés, thèmes auxquels la question fait référence...). Le fait que la problématique abordée présente ou non un élément généralement intégré aux *Conventions BIM* est également précisé. Enfin, lorsque la question fait suite à notre enquête ou reflète notre réflexion personnelle, la source indiquée sera intitulée AP pour « Analyse Personnelle ». Le formalisme de présentation est synthétisé au Tableau 11.

²⁵ **Procédure** : selon l'AFNOR, une procédure est la « manière spécifiée d'accomplir une activité ».

Q N °	⊕ : Thèmes auxquels la question fait référence	Convention BIM* : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS (ou Facteurs d'Acceptation de la Technologie) concernés Concepts « scientifiques » soulignés
Question relative à...			Source : ...
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Maturité Minimale si.... ✓ + ✓ ++ ✓ Maturité intermédiaire si... ✓ ++++ ✓ +++++ ✓ Maturité Maximale si... 			

Tableau 11 : Objets, contenus et mise en forme des questions

Six questions sont originales et spécifiques à notre sujet de préoccupation. Par exemple, en complément (et même en amont) des formations du personnel, le NBS interpelle sur l'existence de sources d'informations utilisées par les entreprises pour prendre de la hauteur et savoir rester critiques et informées. Un positionnement relatif à ces sources d'informations a donc été imaginé pour permettre d'identifier la maturité de l'entreprise à ce sujet. Cette maturité est calculée au prorata du nombre de ressources utilisées (question numéro 5).

Les autres questions sont, pour la plupart, dérivées des 8 MM sélectionnés. En procédant ainsi, les processus de validation de ces derniers (par des experts, des industriels et des scientifiques faisant autorité), nous garantissent d'une certaine façon la pertinence de notre proposition et accélèrent sa mise en œuvre.

En ce qui concerne les niveaux de maturité, l'état de l'art a révélé que le nombre de niveaux varie de 2 à 10, avec de nombreuses propositions entre 4 et 6 niveaux. Afin de ne pas limiter notre approche avec une échelle de niveaux de maturité fixe et constante, nous avons considéré que, quels que soient notre source d'inspiration et le nombre de niveaux de maturité retenus, pour chaque questionnement, le niveau de maturité pouvait évoluer entre un minimum (0 %) et un maximum (100 %). Nous pouvons ainsi reprendre et nous réapproprier, selon sa pertinence, n'importe lequel des 8 MM.

Pour la restitution, un diagramme de Kiviat final normalisé sera proposé afin de restituer, à l'instant t, la maturité de l'entreprise ressentie selon les 10 mesures rappelées en Figure 27.

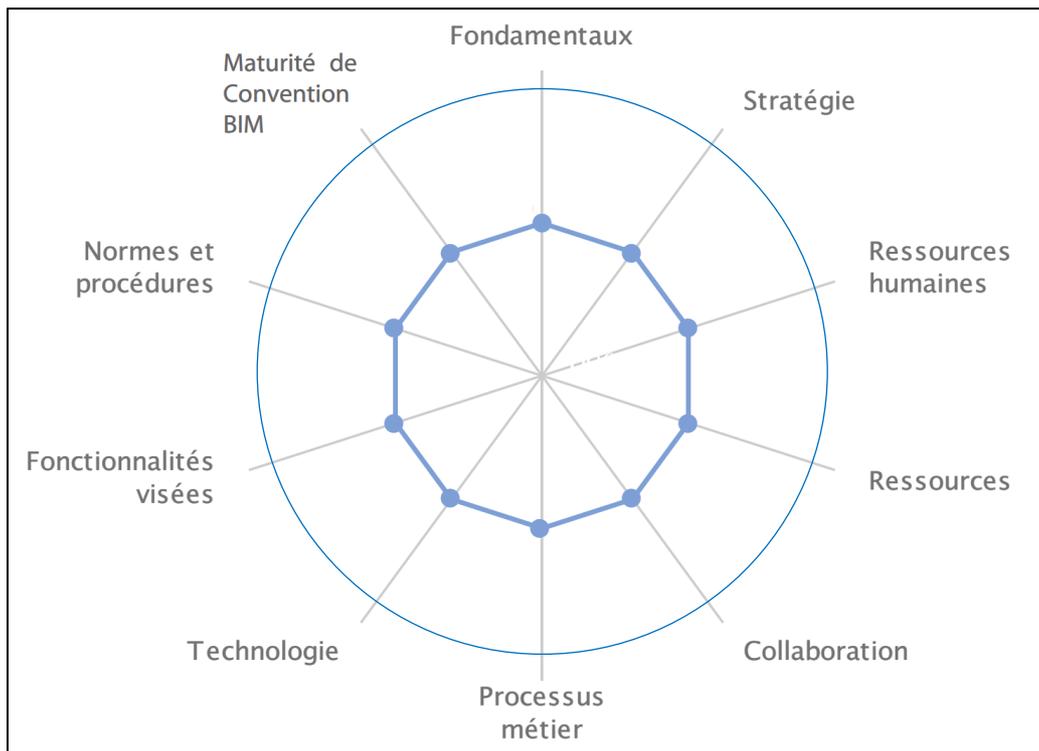


Figure 27 : Thèmes et formalisme retenus pour la restitution du BiM²FR

4.5 Élaboration du questionnaire

4.5.1 Processus de démarrage (IPro) : Questions 1 à 5

Q 1	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Stratégie ⊕ Ressources humaines ⊕ Fondamentaux 	Convention BIM : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type IPro
Êtes-vous préparés à la conduite du changement ?		Source : NBIMS	
Maturité 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'entreprise n'est pas familière avec la conduite du changement. ✓ Il y a un début de prise de conscience de la nécessité de définir des processus métiers et de conduite du changement dans l'organisation même si la mise en œuvre n'a pas encore commencé. ✓ Une première définition des processus métiers est en cours et il existe une prise de conscience de leur nécessité. On constate également une prise de conscience du besoin de mettre en place la conduite du changement et l'analyse des causes racines des dysfonctionnements organisationnels. ✓ Les processus métiers sont en place, la nécessité d'opérer des changements en profondeur et d'y inclure l'analyse des causes racines et des boucles de rétroaction est bien comprise. ✓ Les processus métiers sont en place et l'organisation a commencé à mettre en œuvre des procédures de gestion du changement. ✓ Les processus métiers sont en place. Les premiers changements à opérer sont identifiés, mais aucun processus n'est en place pour apporter ces modifications. ✓ Mise en œuvre partielle d'une conduite du changement. Certains processus s'appuient sur l'analyse des causes racines. ✓ La conduite du changement est en place et commence à s'exercer, mais n'est pas entièrement approuvée par tous les participants. ✓ La conduite du changement est en place, mais ne constitue pas encore un processus efficace et les changements prennent généralement plus de 48 heures. ✓ La conduite du changement est mature et pleinement opérationnelle, les changements sont opérés en moins de 48 heures. 		

Q 2	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Ressources humaines ✦ Fondamentaux 	Convention BIM : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type IPro
Comment vous préparez-vous aux changements liés au BIM ?		Source : BIM Assessment Profile	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'entreprise n'est encore pas consciente et prête à un tel changement. ✓ La nécessité de passer au BIM est établie. ✓ Les responsables adhèrent à ce principe. ✓ Tous les acteurs de terrain de l'entreprise adhèrent à ce principe. ✓ Tous les membres de l'entreprise adhèrent à ce principe. ✓ La volonté de changement et d'évolution est ancrée dans la culture de l'entreprise. 		
Q 3	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Ressources humaines 	Convention BIM : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type IPro FCS N° 40
Quelle est votre vision concernant le BIM ?		Source : BIM Assessment Profile	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas de vision BIM ou d'objectifs définis. ✓ La vision BIM de base est établie. La stratégie de mise en œuvre BIM manque encore d'éléments concrétisables. Les opportunités d'affaires découlant du BIM sont identifiées, mais non exploitées. ✓ La vision de la mise en place du BIM est communiquée et comprise par la majorité des employés. La stratégie de mise en place du BIM est assortie de plans d'actions détaillés et d'un régime de surveillance. Le BIM est reconnu comme une suite de changements technologiques, de processus et de stratégies qui doit être gérée sans entraver l'innovation. Les opportunités d'affaires découlant du BIM sont reconnues et utilisées d'un point de vue marketing. ✓ Les avantages et apports liés au BIM constituent un avantage concurrentiel pour l'équipe et l'organisation, sont mis en avant et utilisés pour attirer et fidéliser les clients. ✓ Les intervenants ont internalisé la vision BIM et l'atteignent pleinement. La stratégie de mise en place du BIM (et ses effets sur les modèles organisationnels) est constamment revisitée et réalignée sur les autres stratégies. 		
Q 4	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Ressources humaines ✦ Fondamentaux 	Convention BIM : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type IPro et Lean Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30)
Quelle est votre position au sujet de la formation professionnelle ?		Source : Succar	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu ou pas de formations disponibles pour les employés BIM. Les moyens de formation et d'éducation ne sont pas appropriés pour atteindre les objectifs prévus. ✓ Les exigences de formation sont définies et les formations sont fournies uniquement lorsque nécessaires. Les moyens de formation sont variés, ce qui permet une certaine flexibilité dans la diffusion du contenu. ✓ Les exigences de formation sont gérées de manière à adhérer aux objectifs généraux de compétence et de performance fixés. Les moyens de formation sont ajustés aux profils des employés formés et pour atteindre les objectifs de formation de manière rentable. ✓ La formation est intégrée dans les stratégies organisationnelles et les objectifs de performance. La formation est typiquement basée sur les rôles des employés et les objectifs de compétence respectifs. Les moyens de formation sont incorporés dans les canaux de communication et les connaissances. ✓ La formation est continuellement évaluée et améliorée. La disponibilité et la diffusion des formations sont ajustées afin de permettre l'éducation multimodale continue. 		
Q 5	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Fondamentaux ✦ Ressources ✦ Collaboration 	Convention BIM : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type IPro, FCS N° 37 Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30)
Combien de vecteurs d'informations utilisez-vous régulièrement pour informer et soutenir votre « révolution » BIM ?		Source : NBS	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 1 ✓ 2 ✓ 3 ✓ 4 ✓ 5 ✓ 6 ✓ 7 ✓ 8 <p style="text-align: center;">Exemples de ressources : Enquêtes et rapports scientifiques, Vidéos, Événements et rencontres, Forums et groupes d'utilisateurs, Réseaux sociaux, Articles de blog, Livres, Normes...</p>		

Tableau 12 : Les 5 premières questions retenues intégrées au processus de démarrage

4.5.2 Index de Maturité de Convention BIM : Questions 6 à 25

Ce bloc de 20 questions permettra d'alimenter l'index de *Maturité de Convention BIM*, ainsi que 3 thèmes parmi les 9 retenus et issus du NBS.

Pour les questions 7, 8, 9, 18 et 19, les niveaux de maturité proposés par ARUP ont été reconduits. Les concepteurs du modèle ont considéré que d'importants sauts de maturité peuvent parfois exister entre différentes pratiques. En conséquence, l'échelle choisie était non linéaire et cette vision est transposée dans BiM²FR. C'est pourquoi certains niveaux de

maturité compris entre 0 et 100% sont impossibles, ce qui justifie l'utilisation du symbole Φ dans le Tableau 13.

Q 6	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Collaboration ✦ Normes et procédures 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type IPD Concept d'alliance et de coopération
Quelles alliances ou dynamiques inter organisationnelles sont envisageables pour vous ?		Sources : Succar et AP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Chaque projet est exécuté indépendamment. Il n'y a pas d'accord entre les intervenants pour collaborer au-delà de leur projet commun en cours. ✓ Les intervenants pensent plus loin qu'un projet unique. Des protocoles de collaboration entre les intervenants du projet sont définis et documentés. ✓ La collaboration entre plusieurs organisations pour plusieurs projets est gérée via des alliances temporaires entre les intervenants. ✓ Les projets collaboratifs sont menés par des organisations interdisciplinaires ou des équipes de projet multidisciplinaires. Existence d'alliance entre plusieurs intervenants clés. ✓ Les projets collaboratifs sont menés par des équipes de projet interdisciplinaires qui s'auto-optimisent et qui incluent la majorité des intervenants. 			
Q 7	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Fondamentaux ✦ Processus métiers ✦ Normes et procédures 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type IPD FCSN° 34
Comment les besoins du client BIM sont-ils pris en compte ?		Source : ARUP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune "exigence d'information BIM" client connue. ✓ Les "exigences d'information BIM" du client sont abordées, mais non considérées. ✓ Φ ✓ L'ensemble des "exigences d'information BIM" client sont reçues et partiellement prises en considération. ✓ L'ensemble des "exigences d'information BIM" client sont reçues et prises en considération au démarrage du projet. ✓ L'ensemble des "exigences d'information BIM" client sont reçues et examinées régulièrement. 			
Q 8	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Processus métiers ✦ Normes et procédures ✦ Collaboration 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type IPD FCS N° 37
Quelle est la maturité de votre entreprise face à l'examen des données ?		Source : ARUP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune revue de données de conception. ✓ Après sélection de l'ensemble des partenaires, mise en place d'examen des données de conception. ✓ Φ ✓ L'examen des données de conception en accord avec la Convention BIM se fait jusqu'au processus d'examen du design. ✓ Φ ✓ L'examen des données de conception en accord avec la Convention BIM se fait jusqu'au processus de livraison. 			
Q 9	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Processus métiers ✦ Normes et procédures ✦ Collaboration 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type IPD
Les modèles développés permettent-ils de soutenir les phases de gestion des opérations et des installations ?		Source : ARUP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ces phases du projet ne sont pas considérées. ✓ Les exigences du client ne sont pas considérées. ✓ Φ ✓ Les exigences clients sont considérées, mais le modèle n'est pas utilisé pour la gestion des installations. ✓ Φ ✓ Les modèles sont progressivement mis à jour et enrichis d'informations exploitables lors de la réception du projet par le client puis lors de la gestion des opérations et des installations. 			
Q 10	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Ressources humaines ✦ Fondamentaux 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type Lean, FCS N°39 Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30)
Quel processus de soutien avez-vous mis en place ?		Sources : Succar et AP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Le BIM n'est pour l'instant qu'une intention. ✓ Les compétences BIM sont formalisées et externalisées. Le BIM et les Métiers sont encore très dissociés. ✓ Prise de conscience et souhaits émis de monter en compétence de certains membres des équipes. Les rôles BIM prédéfinis se complètent lors de la mise en œuvre. ✓ Implication ponctuelle des équipes techniques. Les rôles BIM sont intégrés et partagés au sein de l'organisation. ✓ Implication régulière des équipes techniques (formations, nouvelle embauche ou alternance). Les compétences BIM se diffusent et évoluent continuellement pour s'adapter à de nouvelles technologies, de nouveaux processus et livrables. ✓ Double compétence (Métiers et BIM) acquise par l'ensemble des équipes. Un appui extérieur n'est plus qu'optionnel et ponctuel. 			

Q 11	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Fondamentaux ⊕ Normes et procédures 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type Lean
Un cadre réglementaire a-t-il été créé ?		Source : Succar	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Il n'y a pas de directive, documentation, protocole ou standard de modélisation BIM. Il y a une absence de documentation et standards de modélisation. Les plans de contrôle qualité sont informels ou inexistant, que ce soit pour les modèles 3D ou pour la documentation. Il n'y a pas de référence de performance pour les processus, produits ou services. ✓ Les directives élémentaires sont disponibles (par exemple les manuels de formation et les standards de diffusion). Les standards de modélisation et de documentation sont bien définis selon les pratiques acceptées du marché. Les objectifs de qualité et de performance sont fixés. ✓ Les directives détaillées BIM sont disponibles (formation, standards, flux de travail, exceptions...). Les propriétés de modélisation, représentation, quantification, spécification et analytiques des modèles 3D sont gérées par des standards de modélisation détaillés et des plans qualité. La performance est surveillée et contrôlée par rapport aux références. ✓ Les directives BIM sont intégrées dans les stratégies globales et d'affaires. Les standards BIM et les références de performance sont incorporés dans des systèmes de gestion de la qualité et d'amélioration des performances. ✓ Les directives BIM sont continuellement affinées afin de refléter les leçons apprises et les bonnes pratiques de l'industrie. L'amélioration de la qualité et l'adhésion aux règlements et codes sont continuellement alignés et affinés. Les références sont revisitées de manière répétitive afin d'assurer la meilleure qualité dans les processus, produits et services. </div> </div>			
Q 12	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Collaboration ⊕ Technologie 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Concept d'alliance et de coopération Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30)
Quel est votre niveau d'utilisation de la 3D lors de l'élaboration des devis ?		Source : AP	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ L'entreprise n'est pas en mesure d'exploiter la 3D pour cette phase. Réalisation traditionnelle des devis pour chaque chantier (déplacement sur site + mesures). ✓ L'entreprise est en mesure de lire des 3D fournis (PDF viewer...) quelques réponses envisageables à partir de la maquette et du descriptif du projet. ✓ Travail d'estimation à partir de données 3D et possibilités d'enrichissement de la maquette (si logiciel propriétaire identique). ✓ La société est équipée et compétente pour être à l'origine de modèles 3D dès la phase d'élaboration de devis (numérisation par scanner 3D ou d'autres applications). ✓ Diffusion des modèles et travail collaboratif dès la phase d'élaboration de devis (envisageable et occasionnel). ✓ Travaux 3D BIM collaboratifs dès la phase d'élaboration de devis, existence de relations durables entre les acteurs </div> </div>			
Q 13	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Processus métiers ⊕ Normes et procédures ⊕ Collaboration 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type Lean Concept d'alliance et de coopération
Quel est le niveau de maîtrise des processus BIM ?		Source : Succar et AP	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Absence ✓ Les rôles BIM ne sont pas formellement définis et les équipes sont formées en conséquence. Chaque projet BIM est planifié indépendamment. La compétence BIM est identifiée et ciblée. On observe un léger relâchement des initiateurs du projet BIM suite à la diffusion de la compétence, mais la productivité est toujours imprévisible. ✓ La coopération entre les organisations augmente en même temps que les outils de communication interprojet sont mis à disposition. Le flux d'informations se stabilise ; les rôles BIM sont visibles et les objectifs sont atteints avec plus de régularité. ✓ Les rôles BIM et les objectifs de compétence sont intégrés dans l'organisation. Les équipes traditionnelles sont remplacées par des équipes orientées BIM en même temps que de nouveaux processus deviennent partie intégrante de la culture de l'organisation. La productivité est maintenant constante et prévisible. L'accent est mis sur le concept d'alliance commerciale. ✓ Les objectifs de compétences BIM sont continuellement mis à jour afin de correspondre aux avancées technologiques et de s'aligner sur les objectifs organisationnels. Les pratiques sont auditées en permanence afin de s'assurer que les forces en présence correspondent aux besoins des processus. Les processus d'alliance entre les entreprises sont systématiques. Des relations durables sont en place. </div> </div>			
Q 14	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Fondamentaux ⊕ Collaboration ⊕ Processus métiers 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type IPD FCS N° 38
Quelle vision avez-vous en ce qui concerne le partage des risques et des rétributions ?		Source : Succar	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tout est fonction des arrangements contractuels pré-BIM. Les risques liés au modèle BIM collaboratif ne sont pas reconnus ou sont ignorés (et sont différents pour chaque projet). ✓ Les exigences BIM sont reconnues. La responsabilité de chaque partie prenante en matière de gestion de l'information est connue et approuvée par tous. ✓ Il existe un mécanisme pour gérer la propriété intellectuelle BIM partagée, la confidentialité, la responsabilité et un système de résolution des conflits BIM. ✓ Il existe une relation de confiance et de dépendance mutuelle entre les organisations au-delà des barrières contractuelles. ✓ Les responsabilités, risques et récompenses sont continuellement revus et ajustés aux efforts consentis. Les modèles contractuels sont modifiés pour y intégrer les meilleures pratiques et valoriser au mieux les parties prenantes. </div> </div>			

Q 15	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Processus métiers ✦ Technologie ✦ Fonctionnalités visées 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30) FCS N° 35
Vos logiciels sont-ils compatibles avec une utilisation BIM ?		Source : Succar	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'utilisation des logiciels n'est ni surveillée ni réglementée. Les modèles 3D servent principalement à générer des représentations/livrables 2D exacts. L'utilisation des données, leur stockage et les échanges ne sont pas définis dans l'organisation ou les équipes de projet. Les échanges souffrent d'un manque cruel d'interopérabilité. ✓ L'utilisation/introduction des logiciels est unifiée dans l'organisation ou les équipes de projet (organisations multiples). Les modèles 3D sont utilisés afin de générer des livrables 2D et également 3D. L'utilisation, le stockage et les échanges des données sont bien définis dans les organisations et les équipes de projet. Les échanges de données interopérables sont définis et privilégiés. ✓ La sélection et l'utilisation des logiciels sont contrôlées et gérées selon des livrables définis. Les modèles sont à la base des vues 3D, représentations 2D, quantification, spécifications et études analytiques. L'utilisation, le stockage et les échanges de données sont surveillés et contrôlés. Les flux de données sont documentés et bien gérés. Les échanges de données interopérables sont mandatés et surveillés de près. ✓ La sélection et le déploiement des logiciels suivent des objectifs stratégiques, et non uniquement des exigences opérationnelles. Les livrables de modélisation sont bien synchronisés à travers les projets et étroitement intégrés avec les processus d'affaires. L'utilisation, le stockage et les échanges de données sont régulés et exécutés conformément à la stratégie globale de l'organisation ou des équipes de projet. ✓ La sélection/utilisation des logiciels est continuellement repensée afin d'améliorer la productivité et de l'aligner avec les objectifs stratégiques. Les livrables de modélisation sont révisés/optimisés de manière cyclique pour bénéficier des nouvelles fonctionnalités. Toutes les questions liées à l'utilisation, stockage et échange de données sont bien documentées, contrôlées, pensées et améliorées de manière immédiate. 		
Q 16	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Fondamentaux ✦ Technologie 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS N° 35
Votre matériel (hardware) est-il compatible avec un usage BIM ?		Source : Succar	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L'équipement BIM est inadéquat ; les spécifications sont trop basses ou inconsistantes dans l'organisation. Le remplacement ou la mise à jour de l'équipement est traité comme une dépense et n'est réalisé que lorsque cela devient inévitable. ✓ Les spécifications de l'équipement – adéquat pour la fourniture de produits et services BIM – sont définies, budgétisées et standardisées dans toute l'organisation. Le remplacement et la mise à jour du matériel informatique sont des dépenses bien définies. Une stratégie est en place pour documenter, gérer et maintenir de manière transparente les équipements BIM. L'investissement en matériel informatique est bien ciblé afin d'améliorer la mobilité des employés (si besoin) et augmenter la productivité BIM. ✓ Le déploiement de l'équipement est traité comme facilitateur du BIM. Les investissements en équipement sont étroitement intégrés avec un plan financier, des stratégies d'affaires et des objectifs de performance. ✓ L'équipement existant et des solutions innovantes sont continuellement testés, mis à jour, et déployés. L'équipement BIM devient un des avantages compétitifs des équipes de projet et de l'organisation. 		
Q 17	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Technologie ✦ Normes et procédures ✦ Ressources 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30) FCS N° 37
Quelle est votre vision du "i" de BIM ?		Source : Cong Liang et al.	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les fichiers n'existent qu'au format papier ou ne sont consultables qu'en local sur poste informatique. ✓ Tous les fichiers de travail sont accessibles par un système de stockage de fichiers en ligne (par exemple, Google Drive, Dropbox), mais ils ne s'intègrent pas au BIM. ✓ Tous les fichiers de travail sont accessibles via un système d'information propre à l'entreprise et intégré au BIM ; aucune norme ou standard n'est respecté. ✓ Tous les documents de travail sont accessibles par le système BIM intégré en respectant les normes et standards industriels de la construction. 		
Q 18	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Collaboration ✦ Processus métiers ✦ Fonctionnalités visées 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30) FCS N° 41
Utilisez-vous le modèle pour faciliter le séquençage et la planification de vos interventions (4D) ?		Sources : ARUP, VDC Scorecard, Vicosoftware	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pas de planification à partir de maquette. ✓ Le modèle est utilisé pour l'utilisation de phasage simplifié (via fonctions Masquer / Afficher). ✓ Le modèle est utilisé pour planifier les interventions des équipes projet en interne. ✓ Le modèle est utilisé par l'équipe de conception pour planifier l'ensemble des activités de tous les acteurs (4D). ✓ Ø ✓ Lien constant entre le modèle d'information et la Maîtrise d'Ouvrage pour suivre l'avancement du projet. 		

Q 19	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Fonctionnalités visées 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30) FCS N° 37
Utilisez-vous le modèle pour extraire des informations de coût et de quantité (5D) ?		Sources : ARUP, VDC Scorecard, Vicosoftware	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les modèles ne sont pas appropriés pour évaluer les coûts. ✓ Le modèle est utilisé pour certaines vérifications d'informations ou de quantités en interne. ✓ Les plannings sont issus des modèles qui seront partiellement utilisés lors de l'émission des réserves. ✓ Le modèle de conception élaboré permet de gérer les coûts en phase construction (5D). ✓ Le modèle est complètement utilisé lors de l'émission des réserves. ✓ L'optimisation des coûts se fait en reliant directement les données de coûts au modèle. 			
Q 20	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Technologie ⊕ Normes et procédures ⊕ Collaboration 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS N° 10 et 30) FCS N° 37
Quelles sont vos capacités en termes d'Open BIM (standards et processus de travail ouverts) ?		Source : ARUP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune. ✓ ∅ ✓ Les modèles sont exportés entre logiciels propriétaires (par exemple Navisworks, Solibri, visionneurs GIS). ✓ ∅ ✓ Capable d'exporter / réimporter des données au format IFC / COBie et d'en vérifier les contenus. ✓ Capable de créer et de transférer au client des données au format IFC / COBie. 			
Q 21	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Technologie ⊕ Normes et procédures ⊕ Fonctionnalités visées 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS N° 37
Quel niveau de détail êtes-vous en mesure de fournir ou d'utiliser ?		Source : AP	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ La question du niveau de détail (LOD) n'est pas considérée. ✓ Quelques acteurs définissent vaguement un niveau d'information et de détail. Théoriquement le client devrait définir quelques exigences. ✓ ∅ ✓ Les acteurs cherchent à adopter un environnement de travail digital commun (équivalent au Digital Plan of Works (dPOW) défini par UK National Building Spécification). Conformément au http://www.bimforum.org/lo/ le LOD évolue de LOD 100 -"conception symbolique " à LOD 500 -"tel que construit". ✓ Les niveaux d'informations et de détails exigés par le client ne sont respectés que par une partie des acteurs du projet. ✓ Toutes les parties (la MOA, les entreprises et les acteurs de la chaîne d'approvisionnement) sont alignées d'un point de vue LOD sur les standards industriels et conformes aux exigences du client. 			
Q 22	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Fondamentaux ⊕ Collaboration ⊕ Normes et procédures 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS N° 37
Comment abordez-vous la problématique de la sécurité des données et des sauvegardes ?		Source : Cong Liang et al.	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune sécurisation et sauvegarde de données en place. ✓ Des exigences en termes de sécurité et de sauvegarde des données sont établies pour les données BIM. ✓ Des exigences en termes de sécurité et de sauvegarde des données sont établies à tous les niveaux de l'entreprise. ✓ Des exigences en termes de sécurité et de sauvegarde des données sont établies à l'échelle du secteur d'activité. 			
Q 23	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Technologie ⊕ Processus métiers ⊕ Fondamentaux 	Convention BIM : Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS N° 37
Les processus en place sont-ils compatibles avec la gestion de données BIM ?		Source : NBIMS	
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les processus ne sont pas définis et donc non utilisés pour stocker des informations dans le BIM. ✓ Peu de processus métiers sont conçus pour recueillir des informations pour soutenir le BIM dans l'organisation. ✓ Certains processus métiers sont conçus pour recueillir des informations et soutenir le BIM dans l'organisation. ✓ La plupart des processus métiers sont conçus pour recueillir des informations pour soutenir le BIM dans l'organisation. ✓ Tous les processus métiers sont conçus pour recueillir des informations relatives aux réalisations (mais aucune vérification des retours effectifs). ✓ Tous les processus métiers sont conçus pour recueillir des informations relatives aux réalisations, mais peu permettent de mettre à jour l'information dans le BIM. ✓ Tous les processus métiers sont conçus pour recueillir des informations relatives aux réalisations, et quelques-uns permettent de mettre à jour l'information dans le BIM. ✓ Tous les processus métiers sont conçus pour recueillir des informations relatives aux réalisations et permettent de mettre à jour, a posteriori, l'information dans le BIM. ✓ Tous les processus sont conçus pour collecter et mettre à jour certaines données en temps réel. ✓ Tous les processus sont conçus pour recueillir et mettre à jour l'ensemble des données en temps réel. 			

Q 24	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Technologie ⊕ Processus métiers ⊕ Normes et procédures 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS N° 37
Quel est le niveau de conformité de vos données BIM, et quelles sont les procédures en place pour les consulter ?		Source : NBIMS	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les informations doivent être ressaisies lorsqu'elles sont nécessaires - le processus est lent et non automatisé - il est différent à chaque nouvelle requête. ✓ Généralement il est nécessaire de rassembler un certain nombre de données pour pouvoir répondre à une demande d'information, mais la façon d'obtenir ces informations est connue. ✓ La plupart des informations sont contenues dans le BIM, cependant la réponse à de nombreuses requêtes nécessite la collecte de données qui sont ensuite stockées dans le BIM. ✓ Les informations sont enregistrées dans le BIM qui contient directement la réponse à de nombreuses requêtes. ✓ Une partie importante des données relatives aux installations est stockée et accessible via le BIM. ✓ Les données relatives aux installations sont principalement stockées et accessibles via le BIM. ✓ Toutes les requêtes urgentes ont une réponse dans le BIM qui est considéré comme la principale source d'information fiable. ✓ Les informations stockées dans un BIM sont disponibles en temps réel bien qu'aucun processus de mise à jour instantanée ne soit en place pour en assurer l'exactitude. ✓ Les informations sont stockées dans le BIM et suffisamment à jour pour être une source fiable d'information en cas d'urgence. ✓ L'information est continuellement mise à jour et disponible à partir de capteurs. Les réponses apportées sont quasi immédiates et exactes. </div>			
Q 25	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Fonctionnalités visées ⊕ Technologie 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input checked="" type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	FCS de type Lean FCS N° 33
En plus des coûts, ou de la planification, quels sont les indicateurs suivis ou les données étudiées au cours des projets par l'entreprise (de la définition à la construction) ?		Source : VDC Scorecard	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1 ✓ 2 ✓ 3 ✓ 4 ✓ 5 ✓ 6 ✓ 7 ✓ 8 ✓ 9 ✓ 10 <div style="margin-left: 20px;"> <p>Exemples : Analyse de l'éclairage, Acoustique, Performances énergétiques, Confort thermique, Qualité / satisfaction client / Validation des espaces et des surfaces, Aspects sécuritaires de type évacuation, désenfumage...</p> </div> </div>			

Tableau 13 : Questions liées à l'indice de Maturité de conventions BIM

4.5.3 Vision prospective : Questions 26 à 28

Enfin, compte tenu des projets et des études en cours au sein de la profession, mais aussi de notre analyse bibliographique, il nous a semblé intéressant d'ouvrir la réflexion et le diagnostic à d'autres approches. Nous avons, pour cela, proposé aux entreprises de considérer d'autres perspectives à fortes valeurs ajoutées pour les 3 dernières questions présentées dans le Tableau 14 (Mediaconstruct, 2017), (BuildingSMART, 2017).

Q 26	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Stratégie ⊕ Ressources humaines ⊕ Collaboration 	<i>Convention BIM :</i> Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS de type Lean FCS N° 40
Combien des thèmes (Lean) sont déployés ou étudiés au cours de vos projets ?		Source : AP	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 2em; margin-right: 10px;">Maturité</div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1 ✓ 2 ✓ 3 ✓ 4 ✓ 5 ✓ 6 ✓ 7 ✓ 8 <div style="margin-left: 20px;"> <p>Exemples de concepts Lean : 5S, Production/livraison en juste à temps, Préfabrication, Last Planner System, VSM, Gestion de la chaîne logistique, Analyse du Percent Plan Complete (PPC soit % de tâches effectuées telles que planifiées)</p> </div> </div>			

Q 27	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Fondamentaux ✦ Ressources 	<i>Convention BIM</i> : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	FCS N° 39 Concept d'alliance et de coopération
Quelles sont vos attentes en matière de certification BIM ?		Source : AP	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune intention ou connaissance relative à la certification BIM. ✓ Entreprise consciente de l'importance de posséder des partenaires certifiés. ✓ Entreprise consciente de l'importance d'avoir des partenaires certifiés en interne. ✓ L'ensemble des membres de l'entreprise est certifié. ✓ Un suivi des mises à jour des certifications est en place. La certification est nécessaire pour travailler avec une tierce entité. </div>			
Q 28	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Stratégie ✦ Fondamentaux ✦ Collaboration 	<i>Convention BIM</i> : Oui <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/>	Concept d'alliance et de coopération FCS N° 38
Quelle est votre position au sujet du Code d'éthique BIM (http://www.mediaconstruct.fr/travaux/code-dethique-bim) ?		Source : AP	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aucune intention ou connaissance relative à ce code. ✓ Un membre référent de la société a l'intention de le signer. ✓ Un membre référent de la société l'a déjà signé. ✓ Tous les membres de la société ont signé ce code. ✓ Un suivi des mises à jour de ce code existe. Avoir adhéré à ce dernier est une condition nécessaire pour accepter une tierce entité sur un projet. </div>			

Tableau 14 : Vision prospective : Réflexions à ne pas négliger Précisions et exploitations des résultats

4.6 Précisions et exploitations des résultats

4.6.1 Bloc de questions IPro

Les premières questions qui constituent notre MM traitent principalement de notions, de stratégies et de fondamentaux à aborder en amont d'un projet de mise en œuvre du BIM. Dans le but d'accentuer la portée du modèle, une maturité minimale obtenue dans une de ces questions du bloc lié au **processus de démarrage** (IPro tel que présenté dans la partie 2.5.1) renverra une valeur de restitution finale nulle pour le regroupement correspondant. Ainsi un signal fort est renvoyé aux entreprises interrogées n'ayant pas encore abordé en interne certains fondements du management de projet. Cela correspond aux 5 premières questions du BiM²FR présentées dans le Tableau 12 et concerne les thèmes *Stratégie*, *Fondamentaux*, *Ressources humaines*, *Collaboration* et *Ressources*. Un minimum de réflexion et certains basiques devront ainsi avoir été mis en place pour que la maturité dans ces domaines vaille vraiment la peine d'être caractérisée, quelques soient les efforts consentis, par ailleurs, dans ces domaines.

4.6.2 Index de Maturité de Convention BIM

La nécessité de développer et de disposer d'une *Convention BIM* reliant les parties prenantes d'un projet a été largement examinée et démontrée précédemment. Notre MM aborde naturellement quelques-uns des thèmes fondamentaux de ces conventions présentées en 2.5.2. Il était alors assez aisé de proposer un indicateur spécifique à cette préoccupation qui soit simple et efficace. Il s'agit dans notre cas de la « *Maturité de Convention BIM* ». Il devra apporter un éclairage fort sur d'éventuelles lacunes de l'entreprise, et rendre compte de la situation mesurée « à l'instant t » au regard du niveau de maturité à atteindre pour participer à la mise en œuvre de *Conventions BIM* collaboratives. Cette « *Maturité de Convention BIM* » sera calculée à partir de toutes les maturités obtenues sur les sujets

contenus dans ces *Conventions BIM*. L'originalité réside dans le fait que la moyenne sera le fruit d'une moyenne géométrique :

$$\text{BEP maturity index ou Maturité de Convention BIM} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n}$$

Ainsi constitué, cet indice reflète la maturité vis-à-vis de l'élaboration de ce document « contractuel ». Toute question non traitée renvoie une valeur nulle pour l'index final. Cela révèle, de manière exacerbée, des insuffisances dans l'approche et dans les réflexions mises alors en place par l'entreprise pour pouvoir espérer commencer un travail collaboratif BIM. Les 20 questions, de 6 à 25, proposées dans le Tableau 13 sont concernées. Des exemples et des applications concrètes sont également présentés au chapitre 4.8.

4.7 Synthèse et justifications des choix finaux

La Figure 28 offre une aide à la visualisation de l'évaluation des maturités.

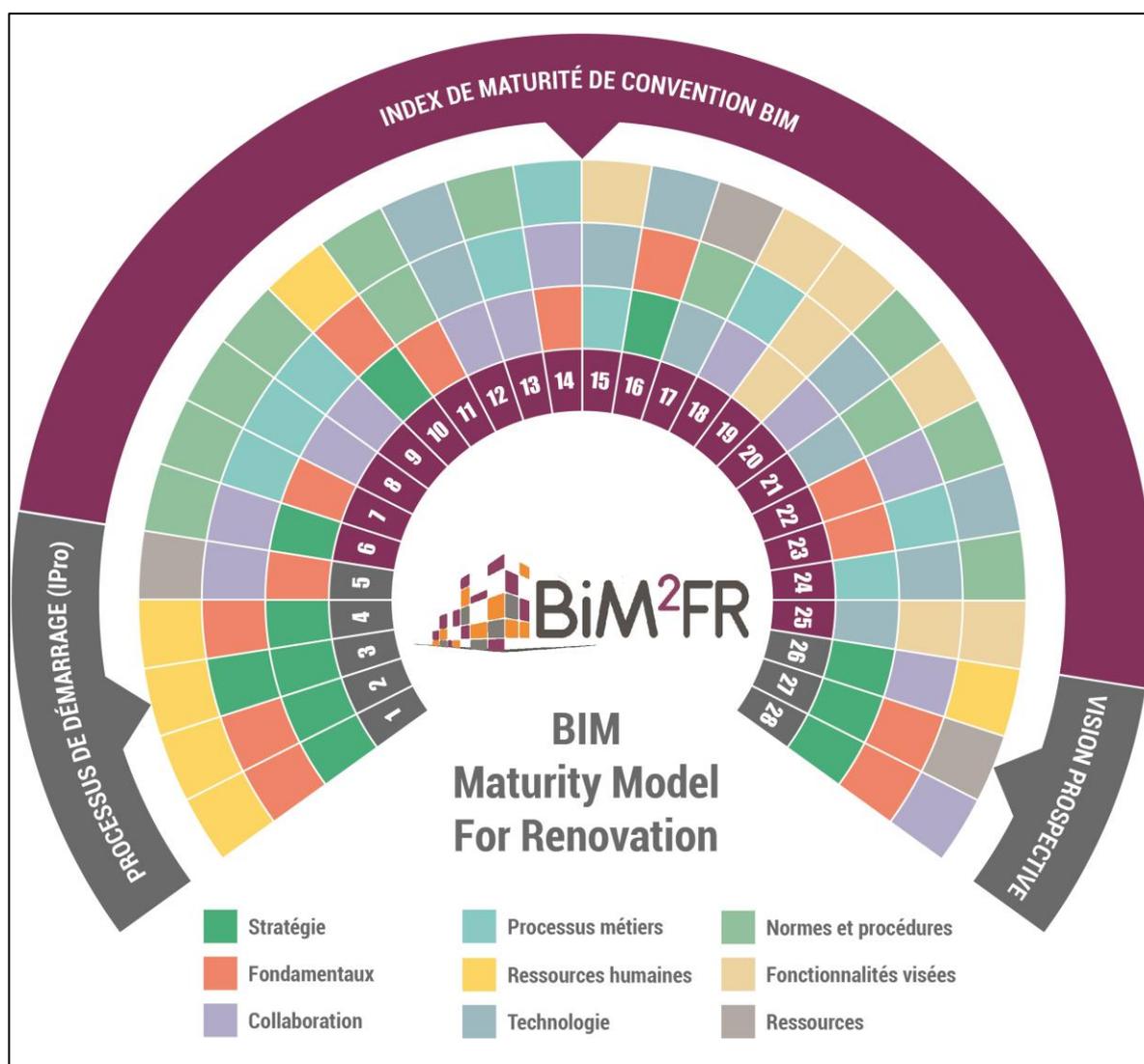


Figure 28 : Répartitions des différentes maturités et approches abordées à travers les 28 mesures proposées

Cette première synthèse résume les différents points abordés au travers des 28 questions retenues. Pour mémoire, les 5 premières questions abordent des points importants qu'il convient de maîtriser dès le démarrage d'un projet de mise en œuvre du BIM. Ces derniers, considérés comme indispensables au Processus de Démarrage (IPro), conditionnent de ce fait assez fortement les maturités des thèmes **Stratégie, Fondamentaux, Ressources humaines, Collaboration et Ressources**, selon le mode de calcul précisé au chapitre 4.6.1. Par ailleurs, la partie centrale du MM, constituée des questions 6 à 25, aborde de nombreux aspects et FCS intégrés aux *Conventions BIM* et alimentent l'index de **Maturité de Convention BIM**, maturité que nous avons jugé judicieux de caractériser au regard de la littérature scientifique et des pratiques industrielles. Au-delà de cette mesure, chaque question peut influencer jusqu'à 3 autres maturités selon le sens et les intérêts visés par celle-ci. Enfin, le Tableau 15 permet de mettre en évidence et de justifier les questions choisies. Il apporte, en effet, un éclairage sur les principes sur lesquels BIM²FR incite, en particulier, les entreprises à travailler.

FCS ou concepts « scientifiques » soulignés	Questions retenues pour le BIM ² FR																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
² FCS de type IPro	■	■	■	■	■																							
FCS de type Lean				■							■																■	
FCS de type IPD						■	■	■	■					■														
Alliance/Coopération						■						■	■														■	■
Adapter les fonctionnalités BIM et les compétences RH (FCS 10 et 30)				■	■					■		■			■			■	■		■							
Autres FCS (cf. Tableau 9)			40		37		34	37		39				38	35	35	37	41	37	37	37	37	37	37	33	40	39	38

Tableau 15 : Synthèse des FCS ou concepts « scientifiques » forts soulignés au travers des différentes mesures du MM

Cette synthèse permet de démontrer que la quasi-totalité des 40 FCS les plus mentionnés dans la littérature sont bel et bien abordés à travers les questions sélectionnées. L'ensemble des leviers, à même d'augmenter les chances de réussite ou de faciliter l'implantation du BIM conformément à notre état de l'art, forment bien la colonne vertébrale du MM proposé. La problématique et la maîtrise de l'information (FCS n° 37) se retrouvent également, de façon logique, au cœur du MM, et indirectement, au centre des préoccupations des entreprises lors du déploiement du BIM, Système d'Information par excellence.

Cet outil allie la force de fondements scientifiques reconnus et une certaine simplicité d'utilisation. Comme le montrent les Tableaux 12, 13 et 14, les notions employées correspondent pour beaucoup à celles déjà en vigueur chez les industriels. Les plus « novatrices » ont, de plus, été simplifiées ou clarifiées pour être appréhendées par une entreprise « novice » se lançant dans la démarche du BIM.

En organisation industrielle, la théorie des contraintes démontre que « *la somme des optimums locaux n'est pas égale à l'optimum global* » (Goldratt et Cox, 2016). Dans cette logique, il faudra donc viser une approche globale et limiter au maximum les impasses que certaines entreprises pourraient imprudemment faire. La réussite sera le fruit d'un travail long, régulier et effectué selon l'ensemble des axes que nous proposons ici.

4.8 Validation du modèle : trois profils d'entreprises

Trois cas assez représentatifs des situations rencontrées au cours de nos entretiens sont proposés dans la présente section. Ce premier panel permet de vérifier que le modèle développé, les visuels et les informations en résultant sont pertinents, exploitables et instructifs pour les entreprises concernées.

4.8.1 Cas d'une entreprise artisanale

Pour mettre en évidence l'intérêt et la pertinence du modèle, une première étude de cas est proposée Figure 29. Elle correspond à la synthèse obtenue après renseignement dans la base BiM²FR des informations obtenues auprès de la Société X lors de notre enquête initiale. Cette société de deux personnes se concentre exclusivement sur des travaux de rénovation (toiture et isolation de combles). Elle ne possède aucune compétence numérique particulière, seules quelques données 2D sont parfois utilisées.

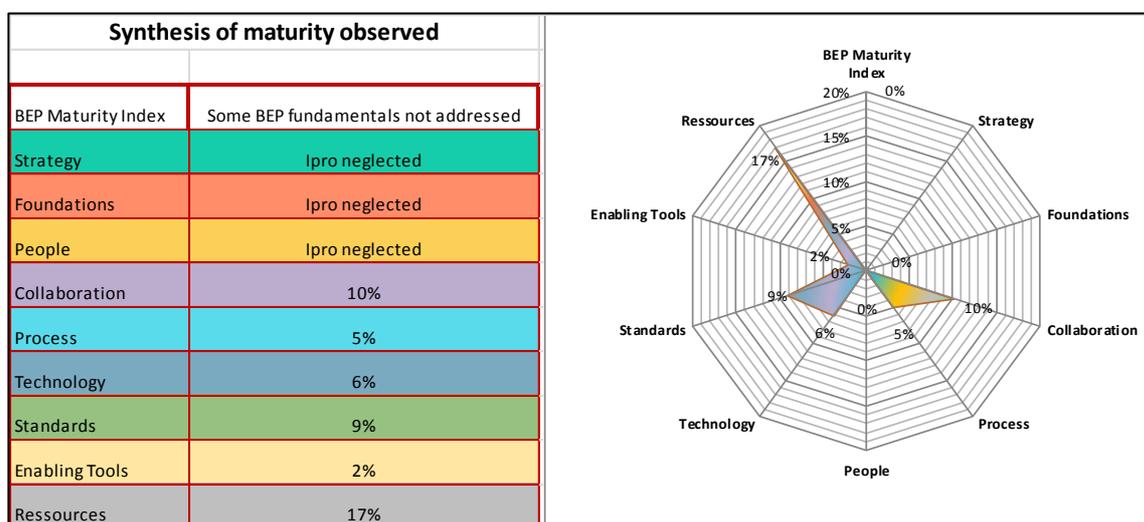


Figure 29: Société X : activités traditionnelles en toiture, aucune compétence numérique particulière et n'ayant pas encore l'intention d'implanter le BIM

De toute évidence, il y a, à ce stade, assez peu de conseils à apporter à la société X qui n'envisage pas d'implanter ou d'utiliser le BIM à court ou moyen terme. Toutefois, si le dirigeant décidait, plus tard, de travailler à sa mise en œuvre, il lui faudrait être particulièrement attentif au processus de démarrage d'un tel projet. Il devrait pour cela :

- se préparer à la conduite du changement, en se formant lui-même ainsi que ses collaborateurs ; tous seront alors impliqués dans l'amélioration des processus métiers actuellement en place pour mieux appréhender les changements à opérer (question 1) ;
- être convaincu de l'intérêt du BIM et convaincre son entourage en communiquant prioritairement sur ce qu'il est réellement, ce qu'il implique et ce qu'il pourra apporter au quotidien des collaborateurs (questions 2 et 3) ;
- s'informer, développer des connaissances, solliciter des avis et des conseils (question 5) ; autant de préalables indispensables à la mise en place des premiers plans de formation des personnes ressources et à la définition, sur le long terme, des budgets associés.

4.8.2 Cas d'une entreprise en cours de réflexion

La deuxième société (Y) de 18 personnes correspond à un cas qui est plus approprié et qui présente plus d'intérêt pour la suite de notre travail. Il s'agit d'une entreprise de couverture, de charpente et de construction à ossature bois. Elle a l'habitude de travailler sur des applications 3D. La société dispose de machines à commandes numériques et les responsables sont conscients de la nécessité d'introduire et de travailler sur BIM d'ici environ trois ans. La synthèse illustrée Figure 30 montre que l'entreprise n'est actuellement pas en mesure d'intégrer un processus collaboratif BIM et est encore loin de maîtriser tout le contenu des *Conventions BIM*. Un effort et une attention particulière devront être accordés aux phases d'initiations (questions 1 à 5 du MM). Le projet et la vision de l'entreprise ne sont pas encore assez matures. Le modèle et la sortie radar soulignent enfin d'importantes lacunes vis-à-vis des processus en place.

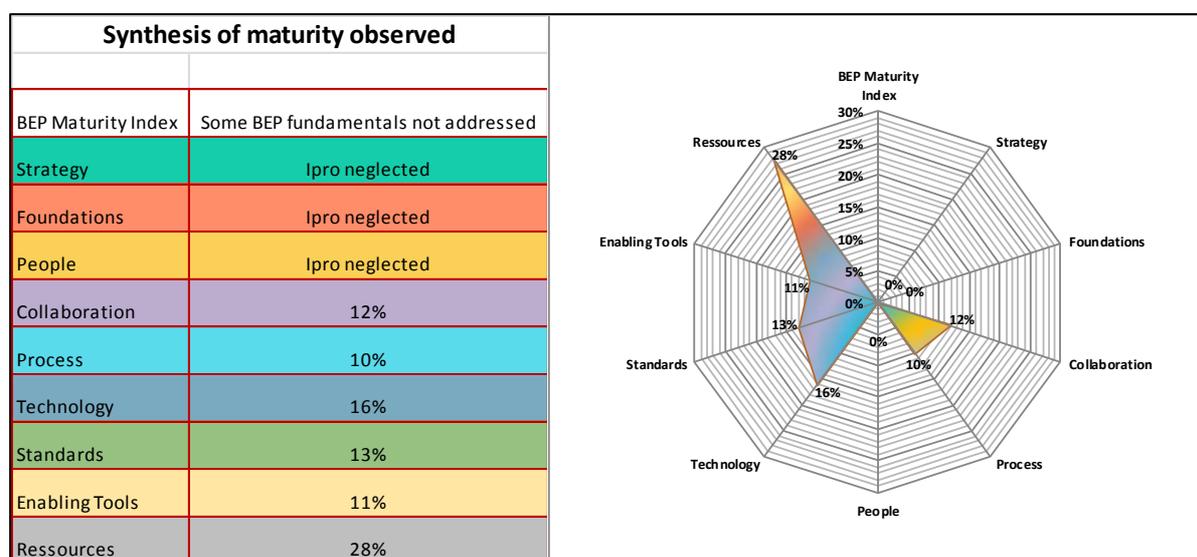


Figure 30: Société Y, entreprise de construction de menuiseries et charpentes bois, prévoyant d'être en mesure de travailler en BIM d'ici 3 ans

Un début de plan d'action qu'une telle structure pourrait déployer pour adopter méthodiquement le BIM est proposé en 4.9. Ce plan s'appuie sur les notions et réflexions initiées par le MM.

4.8.3 Cas d'une entreprise déjà en BIM

Le dernier cas proposé correspond aux compétences et aux fonctionnements observés au sein d'une société d'ingénierie et de conseil de 4 personnes travaillant exclusivement en BIM. Elle a pour rôle d'aider les entreprises de rénovation ou de démolition. Comme le montre la Figure 31, le processus de collaboration BIM est complètement maîtrisé. Pour cette entreprise, la maturité est proche de 100 % pour la plupart des 10 groupes proposés en synthèse.

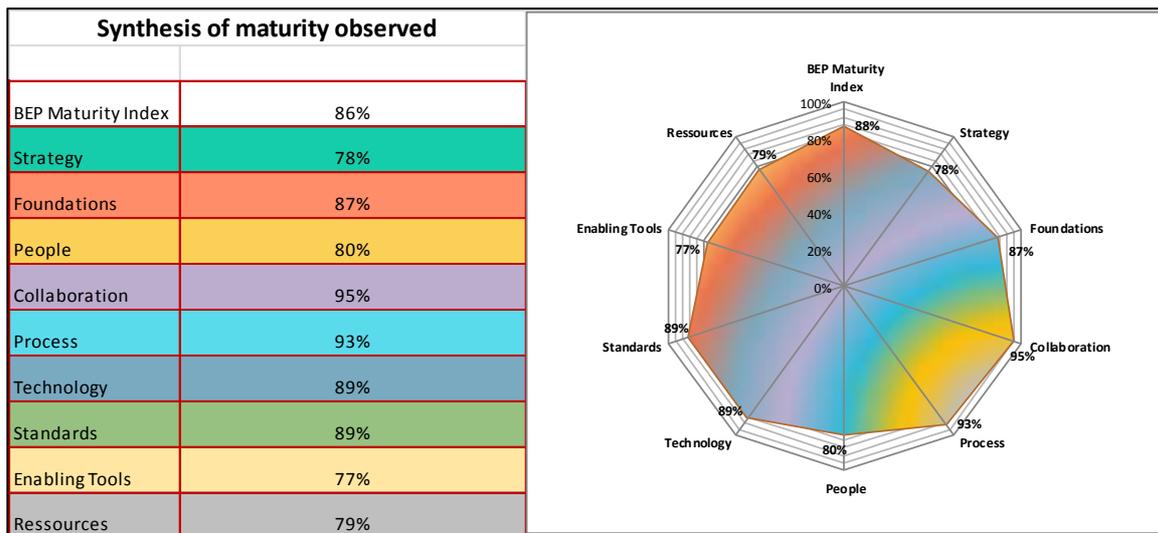


Figure 31: Société Z, société mature spécialisée dans les projets de rénovation et de démolition BIM

Des améliorations pourraient toutefois être envisagées pour obtenir davantage de maturité relativement aux *Fonctionnalités visées, Stratégie et Fondamentaux*. Les niveaux obtenus proviennent du fait qu'aucune étude de coût n'émane de la maquette et des modèles (Question 19). Par ailleurs, l'entreprise ne s'est encore ni intéressée à la certification de son entreprise ni positionnée en faveur du code éthique proposé par Mediaconstruct (Questions 27 et 28).

De toute évidence le BiM²FR proposé permet de bien discerner les différences qui existent entre ces trois types d'entreprises aux approches et fonctionnements très distincts. Il permet pour chacune d'entre elles de souligner les points forts, les points faibles, mais aussi, au cours de son utilisation, de rappeler à la fois les étapes à suivre ou les leviers à ne pas négliger. Nous allons maintenant détailler ce que, après diagnostic (Figure 30), le modèle peut apporter à une société proche de l'entreprise Y.

4.9 Bilan détaillé : Exemple d'accompagnement d'une entreprise s'inscrivant dans la démarche BIM

BiM²FR est en mesure de communiquer un grand nombre d'informations : cette partie propose l'inventaire, non exhaustif, des apports concrets dont l'utilisateur peut bénéficier grâce à lui. Pour une entreprise de même profil que l'entreprise Y (visant, pour mémoire, l'implantation et l'exploitation du BIM à moyen terme), l'outil de diagnostic proposé est une réponse innovante car il peut satisfaire nombre de ses attentes et l'aider à structurer sa démarche numérique.

Pour commencer, un ou plusieurs des scénarii suivants semblent pouvoir apparaître et caractériser le fonctionnement actuel de ce type d'entreprises :

- un manque de préparation,
- une méconnaissance des approches de conduite du changement avant ou lors de la mise en œuvre du BIM,
- l'inexistence de processus de formation, d'appuis ou d'avis extérieurs, etc.

L'existence, ou la coexistence de ces situations sera alors « sanctionnée » par une maturité bloquée au niveau 0 dans tout ou partie des thèmes **Stratégie, Fondamentaux, Ressources humaines, Collaboration et Ressources**. Toutes ces éventuelles lacunes sont, en effet, abordées entre autres dans le premier bloc de 5 questions lié au **processus de démarrage**. Ainsi, un signal fort est envoyé aux entreprises interrogées n'ayant pas encore abordé en interne certains de ces fondements du management de projet. Un minimum de réflexion et certains basiques devront avoir été mis en place pour démarrer un quelconque travail en BIM. Au vu des questions 1, 3, 4 ou 5, il s'agira alors, par exemple :

- de définir des processus métiers et de conduite du changement dans l'organisation,
- d'établir une stratégie de mise en œuvre BIM,
- de définir des exigences de formation et les budgets associés,
- de collecter des informations, avis ou conseils.

C'est alors seulement que la maturité dans les 5 domaines dont il est question vaudra la peine d'être caractérisée puis suivie.

Concrètement, pour une entreprise de couverture, de charpente et la construction à ossature bois, avant de vouloir monter en compétence et de prendre le risque alors d'apporter d'éventuelles inconnues et « instabilités » supplémentaires, cela pourrait correspondre à :

- approfondir le budget nécessaire à une telle mise en œuvre ;
- améliorer et mieux formaliser certains processus partiellement mis en place à ce jour (comme l'utilisation de certaines CN ou de logiciels de conceptions de charpente) ;
- se renseigner auprès de la FFB au sujet de formations ou d'organismes à même de les dispenser.

Dans un second temps, de façon assez intuitive, les interrogations que constituent les questions 6 à 25 poursuivront « l'évaluation » de l'entreprise en révélant, entre autres, sa capacité à participer à la mise en œuvre de *Conventions BIM* collaboratives. Pour certaines sociétés, le premier apport du MM proposé pourrait bien être de révéler l'existence même des conventions à travers la restitution de la **Maturité de Convention BIM**. Ensuite, par mesures de maturité successives, les contenus des conventions²⁶ seront progressivement intégrés à la réflexion de l'industriel. Rappelons par exemple la nécessité de clarifier les vecteurs de communication retenus, les termes à utiliser, les rôles, les données échangées, les droits, etc. Ces connaissances et ces approches, souvent nouvelles pour l'entreprise, apparaissent à travers l'ensemble des questions/réponses proposées. La nécessité de les aborder constituera la feuille de route de l'entreprise pour gagner en autonomie, en maturité et en performance.

En outre, l'ensemble des points abordés par le BiM²FR et les mesures de maturité qui en résultent, pourront également constituer un outil permettant de diagnostiquer d'éventuelles lacunes et constituer une aide en vue de prendre les bonnes décisions/orientations stratégiques. Par exemple :

²⁶ Tableau 5 : Cas d'usages BIM retenus par Mediaconstruct, et Tableau 6 : Synthèse des données que doivent expliciter ou aborder les *Conventions BIM* (Mediaconstruct)

- Les *fonctionnalités visées*, et les *technologies* adaptées à celles-ci sont autant de questions qu'il convient de se poser bien en amont pour éviter des choix inappropriés ou coûteux. Grâce au MM l'entreprise s'interrogera très tôt sur les logiciels et les équipements à déployer, les simulations, la traçabilité ou le suivi des données, et elle sera ainsi à même d'aborder ces investissements plus sûrement en y intégrant l'ensemble des enjeux.
- Parallèlement à cela, et au-delà de la seule représentation 3D d'un bien, le MM insiste également sur l'enjeu que représente la gestion de l'information lors de la mise en œuvre et de l'exploitation du BIM. L'entreprise novice ou confirmée est de ce fait contrainte grâce au MM de s'interroger et de progresser relativement :
 - à la justesse des données qu'elle utilise ou soumet à ses collaborateurs,
 - aux moyens à mettre en place pour ces échanges (Google Drive, Dropbox)
 - aux formats d'échanges envisageables (format IFC / COBie²⁷)
 - à l'utilisation qu'elle peut ou a le droit d'en faire (propriété intellectuelle, sécurité, 4D et 5D)
 - aux procédures en place pour consulter ces dernières, etc.
- Selon le niveau de rigueur que l'entreprise a l'habitude de déployer, et le formalisme en place pour l'accompagnement et l'implication des *Ressources humaines*, plus ou moins d'efforts devront être consentis pour parfaire les scores de maturité de type *Processus métiers* ou *Normes et procédures*. Le diagnostic initial, ou le suivi régulier que permet le MM lors des différentes phases du projet de rénovation est, en lui-même, force de proposition pour inciter à :
 - parfaire les procédures de mise à jour des données et d'accompagnement des opérationnels dans ces tâches,
 - davantage travailler sur la montée en compétence et en autonomie des piliers puis de l'ensemble des membres de l'entreprise,
 - mieux cartographier et maîtriser les flux de travail, les échanges et les prises de décisions,
 - formaliser les compétences BIM, les externaliser ou les acquérir,
 - approfondir ou mieux structurer les revues de projet et les exigences qualités,
 - se conformer aux normes en vigueur (fichiers IFC, LOD des données),
 - introduire davantage de rigueur dans le séquençage des tâches au cours des différentes phases du cycle de vie du projet (du détail chantier au phasage global en passant par le besoin client initial et la gestion des actifs par l'utilisateur final).

²⁷ **COBie** : abréviation de « Construction Operations Building Information Exchange ». C'est un format d'échange, basé sur les définitions des IFC, qui se concentre sur la transmission des informations majoritairement non-graphiques du bâtiment.

- S'interroger sur la réelle prise en compte des exigences du client (questions 7, 9, 20, 21 ou 25), met en évidence leur caractère essentiel dans la réussite d'un projet. De plus, mesurer la maturité croissante en termes d'échange et de capitalisation des données (*contrainte inconnue* → *non considérée* → *prise en compte* → *réévaluée régulièrement*) recentre progressivement l'attention sur ces points capitaux (notamment questions 7 et 9). Ainsi présenté, le MM oriente fortement l'entreprise, le client et l'ensemble des acteurs du projet vers une approche IPD et davantage de *collaboration*.

D'un point de vue plus prospectif, l'entreprise sera enfin incitée (notamment sur la base des 3 dernières mesures) à mettre en place des alliances de plus en plus fortes et durables vis-à-vis de collaborateurs et partenaires avec lesquels elle travaille régulièrement. Privilégier des échanges avec ces derniers, partageant une même éthique et une même approche du travail, permettra de migrer progressivement vers une approche numérique et organisationnelle « robuste ». Pour cela, il pourra être envisagé :

- de clarifier certains fondamentaux éthiques ou de valider les acquis par la certification de tout ou partie des ressources et des approches en place (pour encore davantage de rigueur et de visibilité face à la concurrence) ;
- d'effectuer des choix organisationnels innovants en s'alliant durablement avec quelques partenaires privilégiés et en déployant l'approche Lean Construction (suivi et amélioration des engagements pris, accentuation de la préfabrication, réduction des délais d'exécution, etc.).

Ces engagements constituent autant de gains de productivité potentiels. Ils permettront également d'accroître les maturités relatives à la *Stratégie*, aux *Fondamentaux*, à la *Collaboration* ou aux *Ressources humaines*.

4.10 Déploiement du modèle

Afin d'aider un large public d'entreprises à s'interroger sur les changements engendrés par l'implantation du BIM et à appréhender leviers et concepts à approfondir pour débiter l'expérience, il a semblé indispensable de proposer un moyen de diffusion adapté et de rendre la prise en main du modèle des plus simples. Pour cela, nous avons donc développé une plateforme WEB libre, permettant à chaque entreprise, en répondant aux 28 questions (sur PC, tablettes ou Smartphone) d'obtenir en quelques minutes un retour objectif sur la situation dans laquelle elle se trouve sur la voie du BIM. Cela facilitera, en première approche, un questionnement des entreprises, puis/ou en mode « mise en œuvre », l'animation de tableaux de bord ou d'outils de suivi des améliorations déployées.

4.10.1 Développement d'une version web

Pour assurer une communication et une diffusion en phase avec les attentes actuelles du marché et des consommateurs, la marque BiM2FR a été déposée auprès de l'INPI, et le logo présenté Figure 32 a été conçu.



Figure 32 : Visuel retenu pour la marque BiM2FR

De la même façon, le nom de domaine www.BiM2FR.eu a été acquis et pourra être, pour la suite de nos travaux, un vecteur de communication, de diffusion d'informations et d'accès au MM conçu.

Ce dernier est opérationnel depuis avril 2018 et met à disposition une version test du BiM2FR. La conception même du site nous permet surtout :

- de capter les avis et remarques laissés par les utilisateurs et ainsi pouvoir faire évoluer notre recherche ;
- de nouer des contacts avec les entreprises intéressées par notre démarche puisque les entreprises répondant au questionnaire ont la possibilité, après avoir renseigné tous les items, de demander quelques précisions sur le fond, la forme ou les principes sous-jacents aux notions de Maturité ;
- de commencer à constituer une base de données d'utilisateurs qui doivent renseigner les quelques points suivants pour pouvoir caractériser leur entreprise *via* le MM :
 - Nom d'entreprise
 - Code postal
 - Contact mail
 - Proportion de projets de rénovation (entre 0 et 100 %)
 - Taille de l'entreprise
 - Activité(s) principale(s)²⁸

Charge à nous ensuite, selon nos besoins, de compléter les informations relatives à l'entreprise (CA, adresse, etc.) via des bases de données professionnelles. Seules des questions « essentielles » et relatives à l'entreprise sont ainsi posées en préambule ou à travers le BiM2FR. Cette restriction nous permet d'être en accord avec la législation et la nouvelle régulation européenne concernant le *Règlement Général sur la Protection des Données* (RGPD) entré en application le 25 mai 2018 (Anon, 2018). Une « donnée personnelle » est, en effet, définie par la CNIL²⁹ comme « toute information se rapportant à une **personne physique** identifiée ou identifiable » :

- directement, par exemple par son nom, prénom...
- indirectement, par exemple par un identifiant (n° client), un numéro (de téléphone), une donnée biométrique, plusieurs éléments spécifiques propres à son identité physique, physiologique, génétique, psychique, économique, culturelle ou sociale, mais aussi la voix ou l'image.

²⁸ A choisir parmi les principaux métiers de la construction définis par l'Insee et les codes NAF (Nomenclature d'activités française) (INSEE, 2015b). Cette répartition est également reprise par l'Observatoire des métiers du BTP Figure 11 et dans notre enquête en partie 3.1.

²⁹ CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés.

Aucune information récoltée ne permettant l'identification d'une personne physique, il n'est pas utile de prendre de précaution supplémentaire pour l'utilisation de notre plateforme www.BiM2FR.eu.

Par ailleurs, il sera également possible de filtrer les retours qui sont automatiquement mis en forme au format CSV. Cela permettra de produire diverses analyses ciblées sur quelques entreprises partenaires ou que nous aurions accompagnées lors du questionnement. Les données recueillies peuvent aussi facilement enrichir certains résultats obtenus lors de l'enquête réalisée en début de projet.

Le développement du site est basé sur un langage HTML (Hypertext Markup Language), qui est un code simple d'utilisation, employé ici pour structurer le contenu des pages web. Deux autres langages ont été nécessaires pour obtenir de façon rapide, mais robuste de premiers résultats, à savoir :

- des fonctions PHP (Hypertext Preprocessor ; langage de script côté serveur) utiles par exemple pour l'envoi de mail ou l'indexation des fichiers et ainsi constituer la base de données des réponses apportées par les entreprises ;
- le JavaScript pour plus de fluidité lors, par exemple, de l'affichage de la restitution finale (programmation et exécution côté client sans échange avec le serveur).

4.10.2 Diffusion restreinte d'une première version

La version **française et anglaise** disponible à ce jour correspond à la version test en place depuis le 20 mai 2018. Même si quelques imperfections mineures sont décelables, il a été décidé de ne pas proposer d'évolution et de mises à jour intempestives afin que toutes les informations et remarques recueillies lors des premiers mois d'existence de l'outil, soient comparables et basées sur un même environnement. Aucune donnée ou réflexion économique et marketing n'étant à l'origine de ce développement, nous avons souhaité rester prudent au cours du « démarrage » de ce projet. La communication et diffusion de l'adresse et des objectifs du site a donc été restreinte à un réseau proche dans un premier temps, même s'il est bien difficile, aujourd'hui, de mettre en équation le modèle de diffusion de l'information sur internet et les réseaux sociaux. Après un mois et quelques retours, une diffusion à plus large échelle a été proposée à travers le réseau hexabim et ses 7000 adhérents (www.hexabim.com/discussions/bim-et-renovation-aide-au-diagnostic-specifique-au-secteur).

4.11 Premiers retours et synthèse

Après quelques semaines d'existence en libre accès de BiM²FR, les conclusions partielles suivantes peuvent être formulées :

- Les entreprises les plus concernées et en veille sur le sujet du BIM en rénovation s'avèrent être, à ce jour, les Bureaux d'Etudes Techniques. Quatre sociétés ont, en effet, été intéressées par la proposition et ont réalisé le diagnostic de leur entreprise.
- Trois sociétés dont les activités principales ont été caractérisées par « Tous travaux » ont également pris le temps de se connecter à la plateforme. Elles sont, *a priori*, plus curieuses qu'intéressées et ne souhaitent pas approfondir la question

de la maturité de leurs organisations pour le moment. Dans la mesure où nous ne connaissons pas les entreprises en question, pour de tels cas de figure, deux questions peuvent se poser, et mériteraient éventuellement des compléments au niveau du site en fin de questionnaire :

- Comment s'assurer que les données renseignées sont exploitables et fiables pour de futures analyses scientifiques ou statistiques ?
- Quelles sont les raisons expliquant le souhait de ne pas aller au-delà d'une simple consultation ou renseignement rapide du MM ?

Ces points pourraient être traités sous forme de questions ouvertes ou à choix multiples complémentaires en toute fin de questionnaire.

- Un autre cas de figure apparaît et correspond à des entreprises visant simplement quelques-unes des pages et questions web sans même prendre le temps de renseigner un nom d'entreprise ou un mail de contact. Ce cas est bien évidemment sans intérêt mais interroge également sur la mise en place, à l'avenir, d'une condition sur la première page (caractérisation obligatoire de l'entreprise par exemple) pour ensuite pouvoir accéder aux questions et à la mesure de la maturité.
- Le dernier cas de figure a consisté à aller à la rencontre de professionnels et de prendre le temps de présenter l'outil et les objectifs de celui-ci. Le diagnostic d'entreprises davantage concentrées sur la réalisation de travaux, réalisé directement sur la plateforme www.BiM2FR.eu, révèle alors :
 - Que ces entreprises approchées étant encore trop peu réceptives aux enjeux du BIM, de nombreux thèmes abordés à travers le BiM²FR restent assez complexes et éloignés des compétences actuelles des entreprises. Les résultats en termes de maturité sont alors assez similaires à ceux obtenus et présentés au 4.8.1 pour une entreprise dite artisanale. Le MM joue ainsi bien son rôle en révélant non seulement l'incapacité actuelle de ces entreprises à aller sur des réalisations en BIM, mais aussi les enjeux et les problématiques à gérer lorsqu'il sera question de déployer le BIM et les conventions associées.
 - Les entreprises rencontrées rencontrent le besoin d'être guidées pour renseigner certaines questions. Pour faciliter encore la prise en main, quelques définitions sont manquantes et pourraient être ajoutées pour éclairer les concepts. Ce point pourrait, par la suite, être résolu *via* de simples fonctions HTML de type `onMouseOver` faisant apparaître des informations ou définitions complémentaires au passage de la souris.
 - Que BiM²FR sera, aux dires des entrepreneurs rencontrés, utile pour guider ou suivre ensuite les évolutions de l'entreprise qui souhaiterait progressivement s'équiper en BIM. L'outil et l'interface sont jugés conviviaux et simples d'utilisation (même si quelques désagréments que nous n'avons pas décelés sont alors apparus avec les navigateurs Internet Explorer utilisés par ces derniers). Ainsi la caractérisation régulière et autonome par l'entreprise elle-même semble largement envisageable après cette première étape de « démystification » et lors de la mise en œuvre du BIM.

Même s'il estime être encore peu concerné et ressentir peu d'incitations à cette transition numérique, l'ensemble de ces dernières remarques, dans leur ensemble, reflètent bien les propos émis, par exemple, par M. Pascal Bruno que nous avons pu rencontrer. Ce dernier est, avec sa fille, responsable d'une entreprise de maçonnerie générale de 15 personnes, et a été président de la FFB Bourgogne de 2012 à 2014. Il serait, selon lui, intéressant de comparer les évaluations obtenues par un panel représentatif d'entreprises françaises par rapport à un équivalent dans différents pays européens. En fonction des résultats et écarts constatés, une analyse des causes identifiables serait particulièrement porteuse de sens pour la profession. Soulignons pour finir, que contrairement à d'autres entrepreneurs rencontrés, M Bruno est persuadé que son entreprise familiale, fondée en 1875, sera amenée à prendre le virage du BIM et du numérique d'ici moins de 5 ans :

- en montant lentement en compétence au gré des projets et des sollicitations,
- à condition toutefois que les éditeurs de logiciels soient en mesure de fournir des solutions robustes et adaptées.

Il s'avère donc, que les retours les plus riches devraient pouvoir être obtenus, à terme, auprès de sociétés ou de groupements d'entreprises sur le point ou en train d'implanter le BIM dans le but de l'utiliser, effectivement, sur des projets de rénovation. Pour enrichir le développement de BiM²FR, il convient logiquement, soit d'attendre que la diffusion du BIM, ou tout au moins le souhait de l'implanter, prenne de l'ampleur chez les acteurs du secteur, soit d'accélérer encore les retours en allant au contact de nombreuses entreprises prêtes à monter en compétence BIM. Pour cela il sera possible de réaliser nous-même l'accompagnement d'entreprises, ou bien de proposer et confier l'utilisation du MM à une entreprise de conseil spécialisée. Ainsi des tests à plus grande échelle pourraient être réalisés pour permettre de prendre davantage de recul sur les apports du BiM²FR. Ces évolutions et choix seront approfondis dans les prochains mois.

Ce démarrage, somme toute assez lent, n'est toutefois pas surprenant. Ce type d'outil n'est pas dans les habitudes métiers des *petites entreprises* auxquelles il s'adresse. Sa prise en main et son usage ne pourront être instantanés et demanderont donc une phase d'acculturation. Les premiers retours révèlent également que la réflexion scientifique qui a animé ce travail de recherche est, en quelque sorte, en « avance de phase » par rapport aux réflexions menées au sein de nombreuses entreprises. Les ajustements et perspectives qui seront proposés à terme, et présentés au chapitre 5, contribueront à parfaire cet outil pour en faire un support robuste et de référence lorsque le marché deviendra plus mature à l'idée d'exploiter le BIM en rénovation.

Pour toutes les raisons présentées dans les dernières parties de ce travail de recherche, nous sommes convaincus que le BiM²FR peut représenter un outil de diagnostic efficace, et un moyen adapté pour accompagner sur la voie du BIM les entreprises de petite taille spécialisées en rénovation. Cette proposition n'est qu'un premier pas vers plus de numérique et, nous l'espérons, plus de productivité et de prospérité pour les acteurs d'un secteur en pleine mutation. La section suivante synthétise l'ensemble de cette étude et dresse un bilan des principaux apports qui en découlent. Les nombreuses perspectives de recherche que notre développement laisse présager sont également précisées.

Conclusions générales et perspectives

Réponses apportées

A l'issue de ce travail de recherche, force est de constater que si les notions d'industrie 4.0 et de BIM sont sujets de multiples publications scientifiques et constituent des éléments majeurs pour l'avenir des entreprises du bâtiment, ces deux notions restent encore éloignées des préoccupations quotidiennes des milliers de petites entreprises qui forment le cœur des métiers de la rénovation en France. Le lien entre ce secteur d'activité et le monde de la recherche reste, d'ailleurs, extrêmement fin et si notre étude a modestement contribué à le développer, il n'en demeure pas moins qu'il reste encore beaucoup à construire. Les outils diagnostiques tels que les MM, s'ils ont un rôle essentiel à jouer pour la pérennité et la durabilité de ces entreprises qui, rappelons-le, représentent quand même une valeur annuelle proche de 48 milliards d'euros, doivent donc encore faire l'objet de réflexions approfondies.

Notre travail a toutefois permis de **démontrer que le BIM pouvait être une aide appropriée pour les entreprises de la rénovation** dans la mesure où il est synonyme d'interopérabilité entre les différents partenaires du processus et donc d'efficacité industrielle et économique (productivité). Cette interopérabilité permet l'échange et la vérification de nombreuses données, évitant ainsi erreurs et problèmes, tout en facilitant les prises de décisions. Nous avons également mis en évidence qu'il constituait une opportunité (voire une obligation) à davantage de coopération entre les entreprises. Il est, de plus, apparu comme un outil précieux pour convaincre et satisfaire le client, le BIM permettant à terme à l'entreprise inscrite dans cette démarche, de se démarquer pour maintenir voire gagner des marchés. Notre étude a enfin souligné que la capitalisation d'informations sur le long terme serait forcément un atout pour une entreprise de rénovation. Cette dernière intervient, en effet, tout au long du cycle de vie d'un bâtiment mais, sans BIM, elle peut rapidement être confrontée à des surcoûts et à des ralentissements par méconnaissance d'éléments structurels de la construction ou de modifications antérieures.

L'état de l'art a, de plus, révélé que les entreprises engagées en rénovation n'étaient pas suffisamment caractérisées et comprises pour pouvoir être accompagnées efficacement. Elles ne sont même pas, dans bien des cas, simplement consultées. Cette absence de considération nous est apparue comme véritablement surprenante au regard du poids qu'elles ont dans l'économie. Elle s'explique, cependant et sans doute, par la taille même de ces structures (la quasi-totalité des entreprises concernées a moins de 10 salariés et rentre dans la catégorie des *microentreprises*). Notre travail se positionne donc comme l'un des premiers qui leur est vraiment consacré et il constitue, à ce titre, une avancée dans leur accompagnement, et dans celui des *petites entreprises*, sur la voie du BIM.

La compréhension du fonctionnement, des usages et des capacités de ces entreprises de petite taille, a été un des objectifs premiers de l'enquête effectuée auprès de tous les acteurs essentiels de ce secteur du bâtiment. Nous avons pu constater que l'étude de leur profil et de la gestion de leurs activités devait être au cœur de toute tentative pour implanter et développer le BIM dans le domaine de la rénovation. Nos différents interlocuteurs se sont avérés, en effet, qualifiés techniquement, mais souvent démunis face aux outils de l'industrie 4.0 tels que la maîtrise des logiciels, l'exploitation de la maquette numérique - cette dernière étant même souvent inexistante dans leur processus métier – ou l'échange de données digitales. Ils sont, de plus, contraints par des réalités budgétaires fortes et liées aux capacités mêmes de leurs structures. L'analyse que nous avons pu tirer des interviews a, par ailleurs, montré que ces acteurs n'avaient que peu de connaissances du BIM, qu'ils ne se montraient pas particulièrement désireux de changer leurs pratiques et que **leurs besoins d'accompagnements seraient donc conséquents.** Notre cartographie des processus courants en rénovation a, enfin, fait ressortir, avec le fonctionnement en silo, de nombreuses incertitudes décisionnelles mais aussi la place prépondérante de l'élaboration des devis en amont des projets.

Les éléments évoqués précédemment nous ont ainsi permis **d'identifier et de mettre en exergue les nombreux freins à la mise en œuvre du BIM** ; notre recherche a aussi **mis au jour des facteurs clés de succès à une intégration réussie du BIM.** Ce sont ces facteurs clés que nous avons pris en compte et exploités lors de la conception d'un Modèle de Maturité original à l'usage exclusif de ces petites entreprises si souvent délaissées.

Pertinence et forces d'un Modèle de Maturité BIM spécifique à la rénovation : BiM²FR

Le MM proposé n'est pas, bien entendu, la réponse universelle attendue par l'ensemble des entreprises spécialisées en travaux de rénovation, mais il est un premier élément de réponse innovant aux besoins de ces *micros et petites entreprises*. Contrairement aux modèles existants, il présente, en effet, des atouts majeurs pour leur correspondre :

- Son caractère spécifique a un côté rassurant et peut aisément **jouer un rôle d'analyse, de diagnostic ou de suivi des évolutions au sein des entreprises tout au long du processus de mise en œuvre du BIM.** Ce point est accentué par le fait que le vocabulaire est adapté aux organisations généralement de petite taille, très techniques mais assez peu robustes d'un point de vue administratif et organisationnel.
- Il requiert, par son mode de calcul même, en plus d'un réel désir de changement, **une interrogation et une mise en œuvre préalable des fondamentaux de l'organisation industrielle sans lesquels il n'est pas possible, quelle que soit la volonté affichée, d'implanter du BIM.** Pour mémoire, toutes les maturités (par exemple les 5 premières questions du bloc Ipro) ne peuvent pas être calculées si certaines réponses restent au niveau le plus bas.
- BiM²FR tient compte des **spécificités du secteur en intégrant la problématique des devis** en amont de toute réalisation, ce qu'aucun autre MM n'évoquait encore.
- Il soulève la question et aide à **généraliser l'utilisation d'une Convention BIM entre les différents acteurs. Il participe ainsi à une homogénéisation**

des pratiques et des contenus de cette dernière (Questions 6 à 25). BiM²FR peut accessoirement constituer une aide à sa rédaction.

- Comme le préconisaient certains auteurs, **il incite à réfléchir à de nombreuses notions ou principes décrits comme étant des FCS dans de multiples travaux scientifiques et indispensables au déploiement réussi du BIM.** Ceci n'est abordé que de façon partielle par les MM les plus diffusés à ce jour.
- **Il insiste sur les intérêts de l'Approche Intégrée en sensibilisant le responsable d'un projet aux rôles que le client et toutes les parties prenantes doivent jouer tôt dans les projets.** Il conseille et oriente plus que tout autre MM sur des **choix organisationnels innovants** tels que le Lean Construction, la certification ou la charte d'éthique.
- **Enfin, ce MM encourage les entreprises à davantage de coopération et d'alliance à long terme** entre partenaires complémentaires, afin de mettre en place et suivre des indicateurs, pour développer, par exemple, une approche par processus.

Évolutions du modèle

En accord avec les travaux de De Bruin *et al.*, dont la synthèse est proposée Figure 33, nous sommes convaincus que BiM²FR se doit d'être à présent testé à plus grande échelle pour déterminer comment cette première version devra être améliorée à l'avenir (De Bruin *et al.*, 2005).



Figure 33: Principales phases de l'élaboration d'un modèle d'évaluation de la maturité selon T. De Bruin *et al.*

De manière générale, les premières évolutions nécessaires ou envisageables pour une diffusion à plus grande échelle de BiM²FR pourraient être fonction des utilisateurs eux-mêmes. Étant donné que les petites structures ayant principalement de solides compétences techniques sont la cible de ce MM, il devra vraisemblablement être adapté d'un point de vue linguistique pour en faciliter l'utilisation en fonction des pays visés ou intéressés. Une version en langue anglaise est, bien évidemment, déjà disponible et proposée sur www.BiM2FR.eu, mais d'autres partenariats ou comparaisons d'approches en vigueur pourraient peut-être être envisagés à l'échelle internationale et nécessiteront alors un travail de traduction.

D'autres données d'entrée imposées par les pays utilisateurs ou des évolutions au sein de ces derniers (et non prises en compte dans notre proposition), peuvent conduire à des ajustements. Évoquons, par exemple, les contraintes législatives et locales suivantes :

- l'exigence de données numériques dès les dépôts de demandes de construction ou de réhabilitation de certains édifices,
- l'exigence de modèles BIM pour certains travaux coûteux,
- le remplacement de « lots consommables » tous les 30 ans tels que les systèmes de plomberie, par exemple, en Finlande, pour ne citer que ce pays.

Enfin, d'autres éléments d'intérêt soulevés dans la littérature et n'ayant été que partiellement abordés ici pourraient être intégrés dans des développements et versions futurs pour accélérer encore la digitalisation des projets de rénovation et compléter ce travail. Par exemple :

- En adaptant la programmation, et en analysant de manière instantanée les résultats obtenus aux questions du BiM²FR, le nombre de questions à poser pourrait être aisément revu à la baisse. L'audit de 20 items pour une plus grande implication et davantage d'efficacité pourrait être apprécié. Certaines questions non nécessaires à la lumière des premières réponses obtenues pourraient, par exemple, être éliminées. Cela entraînerait certes une légère perte d'information et de précision dans les résultats obtenus, cependant, il est anecdotique de s'intéresser, par exemple, à divers points spécifiques liés au BIM si les fondamentaux (à savoir l'organisation générale, la gestion du projet) ne sont pas acquis. Cette réflexion pourra être affinée après quelques mois d'utilisation et après avoir « complété » notre base de connaissances des scénarii typiques rencontrés chez nos partenaires.
- Pour compléter nos données de sortie, en plus de la visualisation Kiviat proposée, un positionnement dans un référentiel ISO pourrait être envisagé. L'adossement à des standards et des documents normatifs représentent généralement un levier supplémentaire pour aider les entreprises à se positionner et tracer une voie de progression. Pour ce faire le modèle proposé par Succar (Succar, 2009b), dont les niveaux de capacité correspondent aux niveaux de maturité du BSI (BSI, 2013) (lui-même référentiel de la toute dernière norme ISO 19650 (ISO, 2018)), pourrait être utilisé. En répondant au BiM²FR, il serait envisageable en adaptant, une fois encore, la programmation de notre version web, de positionner *in fine* une entreprise dans un ensemble de compétences proposées par l'auteur dans sa BIM³, et par extension, rendre compte du niveau de maturité vis-à-vis de l'ISO 19650.

Nous sommes conscients qu'à l'image du modèle mis au point par l'équipe de recherche VDC Scorecard en 2009, modèle qui est progressivement passé d'une version 1 à l'actuelle version 8, nous n'échapperons pas à tout ou partie des perfectionnements évoqués ici. Nous nous inscrivons clairement dans un processus long et délicat qui ne fait que commencer. C'est ce qu'ont révélé nos interviews, et qui ressortait également d'une enquête de 2012, déployée à l'échelle du secteur de la construction dans son ensemble et relative au temps nécessaire avant que 90 % de l'industrie de l'AEC du Royaume-Uni n'ait commencé à utiliser le BIM sur une base régulière (Figure 34) (Khosrowshahi et Arayici, 2012) : 65 % des professionnels interrogés étaient convaincus à ce moment-là que plus de 10 années de travail seraient nécessaires.

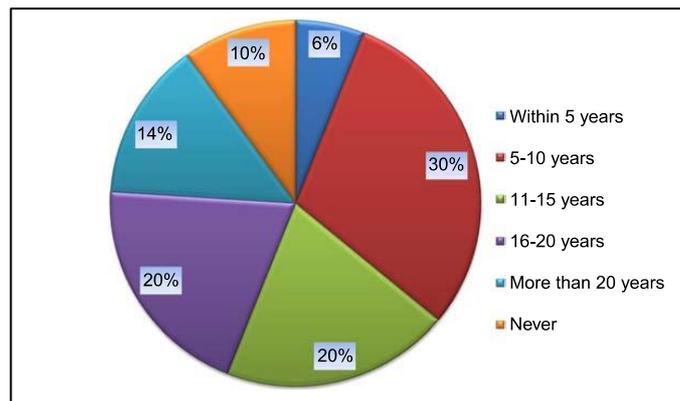


Figure 34: Temps requis pour obtenir un taux d'utilisation du BIM dans 90 % de l'industrie de l'AEC du Royaume-Uni, selon F. Khosrowshahi et Y. Arayici

Perspectives de Recherche

Nous espérons, en tout cas, que l'outil que nous venons de mettre au point saura contribuer à transformer de manière structurée et pérenne le secteur de la rénovation. Il ouvre un très large spectre de recherche et de vastes études complémentaires pourraient être inspirées par ce travail.

Les évolutions incessantes des technologies, des exigences et de la concurrence sont autant de réalités qu'il convient de mettre en perspective et qu'il faut considérer pour espérer maintenir notre MM en adéquation avec les besoins et les réalités du marché. Pour commencer, à l'image de l'outil Quickscan <https://app.bimsupporters.com/quickscan/> (MM resté indisponible pendant plus d'un an durant notre travail et à nouveau accessible courant 2018), pourquoi ne pas prévoir de compléter BiM²FR d'un module d'aide à la rédaction de *Conventions BIM*? Moyennant quelques ajustements, il est également possible d'adjoindre aux restitutions finales des propositions de plan de formation ou des conseils encore plus explicites concernant la marche à suivre compte tenu du ou des bilans successifs renseignés sur notre plateforme. Pour ce faire, il sera nécessaire d'intégrer au BiM²FR une fonction de base de données constituant pour l'entreprise un véritable tableau de bord et un outil de Benchmark au vu des résultats des autres acteurs du marché. Ce faisant, il deviendrait alors un puissant outil statistique permettant de comparer les approches et les résultats par typologie d'entreprises, par activité, entre pays, ou à travers les années. En d'autres termes, après un recensement méthodique des « états » successifs d'un panel de partenaires, une analyse de ces derniers et des conditions de réussite de mise en œuvre du BIM en rénovation pourrait permettre :

- de cartographier les processus d'amélioration des pratiques BIM en rénovation,
- de formaliser un modèle dynamique, connecté à BiM²FR pour diagnostiquer puis accompagner le changement.

L'autre défi, souvent évoqué parallèlement à l'utilisation à la fois des MM et du BIM, correspond à la nécessité d'une capture automatique des données qui reste la première étape de la création du modèle BIM. Il s'agit de limiter certaines erreurs et de réduire les étapes chronophages (Khaddaj et Srour, 2016). Réduire les interventions/interprétations humaines permettra d'augmenter l'accessibilité à ces technologies, quels que soient le type d'entreprise

et la taille du projet de rénovation. De telles évolutions font de toute évidence partie des clés pour accélérer de façon pérenne la propagation du BIM au secteur de la rénovation.

Enfin, la transposition de l'approche générale déployée au cours de cette réflexion, avec pour objectif d'aider à la transition numérique des PME à d'autres domaines face aux enjeux de l'industrie 4.0, pourrait permettre de riches pistes de recherche « connexes ». Il pourrait s'agir, par exemple, de développer et déployer des outils similaires de type IOTM for μ Ent ou Big Data for μ Ent.

Le numérique, ses outils, son développement sont au cœur des préoccupations industrielles actuelles ; sans son intégration au secteur de la rénovation, celui-ci ne pourra suivre les évolutions de la société. Tel pourrait être le bilan de ce travail, mais il serait alors incomplet. Il nous faut effectivement rappeler que pour faire vivre ces outils, pour convaincre les utilisateurs potentiels des bienfaits du BIM ou pour animer et développer des Modèles de Maturité, il faut des hommes et des femmes, qu'il convient d'écouter, mais aussi de former et que la 4^e révolution, celle du digital, ne sera une réussite qu'à la condition de leur conserver une place centrale.

Bibliographie

- 3dlasermapping. 2015. « ZEB1 ». <<http://www.3dlasermapping.com/wp-content/uploads/2015/04/ZEB1-HANDHELD-LASER-SCANNER-USED-FOR-UNDERGROUND-DOCUMENTATION-OF-RISING-STAR-CAVE.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Abhinav, Shubham Panjwani et Aishwarya Varshney. 2017. « Augmented Reality for nDimensional Multimedia Digital Marketing. » *International Conference on Research Trends in Engineering, Applied Science and Management (ICRTESM-2017)*, Modi Institute of Technology, Kota, Rajasthan, India, p. 304- 308 (ISBN: 978-81-933746-1- 0).
- Ademe. 2014. « Bâtiment : chiffres clés 2013 ». <<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/chiffres-cles-batiment-edition-2013-8123.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Ademe. 2015. « OPEN : Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement. Camp... » In *ADEME*. <<http://www.ademe.fr/open-observatoire-permanent-lamelioration-energetique-logement-campagne-2015>>. Consulté le 28 juin 2018.
- AFNOR. 2007. « NF X50-501 Maintenance - Reference conditions for items : vocabulary of renovation and reconstruction activities ».
- AFNOR. 2010. *Norme NF EN 13306*.
- Ahmad, Ahmad M. 2014. « The use of refurbishment, flexibility, standardisation and BIM to support the design of a change-ready healthcare facility ». Thesis, © Ahmad Mohammad Ahmad. <<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/14907>>.
- AIA. 2007. « Integrated Project Delivery: A Guide - The American Institute of Architects ». <<http://www.aia.org/contractdocs/AIAS077630>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Aldanondo, Michel, A. Barco-Santa, E. Vareilles, M. Falcon, Paul Gaborit et L. Zhang. 2014. « Towards a BIM Approach for a High Performance Renovation of Apartment Buildings ». In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*. (2014), p. 21–30. Springer.
- Alliata, Andrea. 2015. « Involucri innovativi per il retrofit energetico - Pametrizzazione BIM e applicazione di un sistema tecnologico sperimentale ». Doctoral dissertation, Politecnico di Torino. <<https://webthesis.biblio.polito.it/4130/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Alwan, Zaid. 2015. « A proposal for a BIM performance framework for the maintenance and refurbishment of housing stock ». *Structural Survey*. <<http://nrl.northumbria.ac.uk/23775/>>. Consulté le 3 février 2016.

- Anon. 2018. « RGPD : notions clés et bons réflexes | CNIL ». <<https://www.cnil.fr/fr/rgpd-notions-cles-et-bons-reflexes>>. Consulté le 29 mai 2018.
- ARUP. 2015. « New BIM Maturity Measure model launches - Arup ». <<http://www.arup.com/en/news-and-events/news/new-bim-maturity-measure-model-launches>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Azhar, Salman. 2011. « Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry ». *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, n° 3, p. 241-252.
- Azzouz, Ammar, Alex Copping, Paul Shepherd et Andrew Duncan. 2016. « Using the Arup BIM Maturity Measure to Demonstrate BIM Implementation in Practice ». In *annual conference of the Association of Researchers in Construction Management (ARCOM), Manchester, September*. (2016), p. 5-7. <<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33188.27527>>.
- Azzouz, Ammar, Paul Shepherd et Alexander Copping. 2016. « The emergence of Building Information Modelling Assessment Methods ». *Integrated Design at 50: Building our Future*. <http://opus.bath.ac.uk/52088/1/id50_preprint.pdf>. Consulté le 25 juin 2018.
- Babiceanu, Radu F. et Remzi Seker. 2016. « Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook ». *Computers in Industry*, vol. 81, p. 128-137. <<https://doi.org/doi:10.1016/j.compind.2016.02.004>>.
- Badrinath, Amarnath Chegu, Shang-Hsien Hsieh et Niranjana Kumar. 2016. « BIM performance assessments and its application in Indian AECO Industry - A case study ». In *Proceedings of the 16th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*. (2016), p. 13. <<https://www.researchgate.net/publication/311575835>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Barbosa, Filipe, Jonathan Woetzel, Jan Mischke, Maria Joao Ribeirinho, Mukund Sridhar, Matthew Parsons, Nick Bertram et Stephanie Brown. 2017. « Reinventing construction through a productivity revolution | McKinsey & Company ». <<https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>>. Consulté le 22 mars 2018.
- Barlish, Kristen et Kenneth Sullivan. 2012. « How to measure the benefits of BIM — A case study approach ». *Automation in Construction*, vol. 24, p. 149-159. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008>>.
- Beach, Thomas, Ioan Petri, Yacine Rezugui et Omer Rana. 2017. « Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models ». *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 31, n° 4. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000657](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000657)>.
- Bew, M., J. Underwood, J. Wix et G. Storer. 2008. « Going BIM in a commercial world ». In *Editors, Zarli, A. and Scherer, R., eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, ECPPM 7 th European Conference on Product and Process*

- Modelling*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Sophia Antipolis, France. (2008), p. 139–150. <<https://doi.org/10.1201/9780203883327.ch16>>.
- BIM4SME. 2016. « Home | BIM4SME ». <<http://www.bim4sme.org/>>. Consulté le 25 juin 2018.
- BIMetric. 2016. « La méthode BIMetric ». <<http://bimetric.list.lu/>>. Consulté le 25 juin 2018.
- BIS. 2011. *A report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper*. Department for Business Innovation & Skills (BIS). <<https://www.cdbb.cam.ac.uk/Resources/ResoucePublications/BISBIMstrategyReport.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Blenkarn, Nick. 2015. « Building Information Modelling (BIM) for refurbishment ». *Journal of Building Survey, Appraisal & Valuation*, vol. 4, n° 1, p. 55-62.
- Braaksma, H. H. 2016. « Smart Asset Management in the construction sector: A holistic research into utilising the potential of sensor technology ». <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:af074ec5-b8c7-4a30-9f16-e3ac7ff5e900>>. Consulté le 25 juin 2018.
- BSI. 2013. « PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling ».
- Bu, Shanshan, Geoffrey Shen, Chimay J. Anumba, Andy K.D. Wong et Xin Liang. 2015. « Literature review of green retrofit design for commercial buildings with BIM implication ». *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 4, n° 2, p. 188-214.
- BuildingSMART. 2017. « Professional Certification ». In *buildingSMART*. <<https://www.buildingsmart.org/compliance/professional-certification/>>. Consulté le 15 janvier 2018.
- CAD-UC. 2017. « Grand évènement BIM du 19 janvier 2017 - CAD-U.C. ». <<http://www.caduc.fr/shop/content/84-grand-evenement-bim-du-19-janvier-2017>>. Consulté le 4 avril 2018.
- Cao, Dongping, Heng Li et Guangbin Wang. 2017. « Impacts of building information modeling (BIM) implementation on design and construction performance: a resource dependence theory perspective ». *Frontiers of Engineering Management*, vol. 4, n° 1, p. 20–34. <<https://doi.org/10.15302/J-FEM-2017010>>.
- CAPEB. 2016. « Les chiffres de l'Artisanat ». In *Les chiffres de l'Artisanat*. <<http://www.capeb.fr/les-chiffres-de-lartisanat>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Cau, Emmanuel et André Pouget. 2014. « Rapport final du groupe de travail : Rénovation des logements : Du diagnostic à l'usage inventons ensemble la carte vitale du logement ». <http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Rapport_-_Construisons_ensemble_la_carte_vitale_du_logement_VD.pdf>. Consulté le 29 mai 2018.

- Cha, Hee Sung et Dong Gun Lee. 2014. « A case study of time/cost analysis for aged-housing renovation using a pre-made BIM database structure ». *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 19, n° 4, p. 841-852.
- Charalambos, G. et V. Dimitrios. 2014. « Damage Assessment, Cost Estimating, and Scheduling for Post-Earthquake Building Rehabilitation Using BIM ». In *Proceedings of the 31st International Conference of CIB W78, Orlando, Florida, USA, 23-25 June, 398-405*. (2014). <<https://doi.org/10.1061/9780784413616.050>>.
- Chaves, Fernanda, Patricia Tzortzopoulos, Carlos Formoso et Jeferson Shin-Iti Shigaki. 2015. *Using 4D BIM in the Retrofit Process of Social Housing*. <<http://eprints.hud.ac.uk/25563/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Cheng, Jack C. P. et Lauren Y. H. Ma. 2013. « A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning ». *Waste Management*, vol. 33, n° 6, p. 1539-1551.
- CIC. 2013. « BIM Planning Guide for Facility Owners ». <http://bim.psu.edu/Owner/Resources/download_thank_you.aspx>. Consulté le 6 juin 2018.
- CIC Research Group. 2011a. « BIM project Execution Planning V2.1 ». <<http://bim.psu.edu/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- CIC Research Group. 2011b. « BIM Project Execution Planning Guide ». <http://bim.psu.edu/Project/resources/download_thank_you.aspx>. Consulté le 25 juin 2018.
- Cimino, Selma et Michela Colombo. 2015. « BIM and interoperability : the lighting retrofit of Palazzo di Città in Turin ». Doctoral dissertation, Politecnico di Torino. <<http://webthesis.biblio.polito.it/4309/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Commission européenne. 2017. « Statistiques structurelles sur les entreprises – vue d'ensemble - Statistics Explained ». <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Structural_business_statistics_overview/fr>. Consulté le 12 janvier 2018.
- Cong Liang, Weisheng Lu, Steve Rowlinson et Xiaoling Zhang. 2016. « Development of a Multifunctional BIM Maturity Model ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, n° 11. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001186](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001186)>.
- CONSTRUCTIF. 2011. « Grands chiffres et figures - Le Bâtiment : regards, enjeux, défis ». <<http://www.constructif.fr/bibliotheque/>>. Consulté le 6 février 2017.
- Cribbs, John. 2016. « Workflow Management Using Building Information Modeling (BIM) for Prefabrication in a Construction Retrofit Environment ». Doctoral dissertation, Arizona State University. <<https://repository.asu.edu/items/38424>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Crosby, Philip B. 1980. « Quality is free: the art of making quality certain ». (1980), p. 496 (ISBN 13: 978-0070145122). Penguin.

- Curatolo, N., S. Lamouri, J. -C. Huet et A. Rieutord. 2015. « Démarches d'amélioration en milieu hospitalier : du management de la qualité totale au Lean ». *Annales Pharmaceutiques Françaises*, vol. 73, n° 4, p. 245-256.
<<https://doi.org/10.1016/j.pharma.2014.12.001>>.
- Cuš Babic et Danijel Rebolj. 2016. « Culture change in construction industry: from 2D toward BIM based construction ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 21, p. 86- 99 (ISSN: 1874- 4753).
- Da Silva, Fabiana Dias, Mônica Santos Salgado et Carolina Mendonça Da Silva. 2015. « PLATAFORMA BIM, RETROFIT E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO ». *Blucher Engineering Proceedings*, vol. 2, n° 2, p. 329–341.
- Dakhil, Ammar, M. Alshawi et J. Underwood. 2015. « BIM Client Maturity: Literature Review ». *Proceedings of 12th International Post-Graduate Research Conference, University of Salford*.
<https://www.researchgate.net/profile/Ammar_Dakhil/publication/279293516>.
Consulté le 25 juin 2018.
- Dakhil, Ammar, Jason Underwood et Mustafa Al Shawi. 2016. « BIM benefits-maturity relationship awareness among UK construction clients. » In *Proceedings of the First International Conference of the BIM Academic Forum*. (Glasgow Caledonian University, 2016). <(ISBN 9781905866816)>.
- Dalla Valle, Anna, Monica Lavagna et Andrea Campioli. 2016. « Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence ». In *41st IAHS WORLD CONGRESS Sustainability and Innovation for the Future*. (Albufeira, Algarve, Portugal, 2016). <(ISBN 978-989-98949-4-5)>.
- De Bruin, Tonia, Ronald Freeze, Uday Kaulkarni et Michael Rosemann. 2005. « Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model ». In *Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*. (Australia, New South Wales, Sydney, 30 décembre 2005), p. 8- 19 (ISBN 978- 0-9758417- 0- 9).
- Delcambre, Bertrand. 2014. « rapport mission numerique batiment ». <http://www.territoires.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_mission_numerique_batiment.pdf>.
Consulté le 19 septembre 2015.
- Di Mascio, Danilo et Xiangyu Wang. 2013. « Building information modelling (BIM)-supported cooperative design in sustainable renovation projects ». In *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, p. 205–212. Springer.
- Dijkman, R. M., B. Sprenkels, T. Peeters et A. Janssen. 2015. « Business models for the Internet of Things ». *International Journal of Information Management*, vol. 35, n° 6, p. 672-678. <<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.07.008>>.
- Dupin, Patrick. 2014. *Le lean appliqué à la construction: comment optimiser la gestion de projet et réduire coûts et délais dans le bâtiment. 5.1 Maitrise d'ouvrage : IPD p.49-55*. Editions Eyrolles, 161 p.

- Eastman, C. M. 1999. *Building product models: computer environments supporting design and construction*. 1999. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Eastman, Charles et Max Henrion. 1977. « Glide: a language for design information systems ». In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. (1977), p. 24–33. ACM.
- Eastman, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks et Kathleen Liston. 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons, 648 p.
- El Asmar, Mounir, Awad S. Hanna et Wei-Yin Loh. 2013. « Quantifying performance for the integrated project delivery system as compared to established delivery systems ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n° 11, p. 04013012.
- Elmani, Ahmad Hussein. 2015. « A Framework for Benchmarking Energy Retrofit Systems through Building Information Modeling (BIM) ». Thesis. <<https://dspace.aus.edu:8443/xmlui/handle/11073/7974>>. Consulté le 28 juin 2018.
- European Committee for Standardization. 2011. « CEN - EN 15898 ». <<https://standards.cen.eu>>.
- European commission. 2003. « Micro-, small- and medium-sized enterprises: definition and scope ». <<http://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2003/361/oj>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Falcon, Marie. 2013. « Proposition d'un processus et d'outils pour industrialiser la rénovation énergétique des bâtiments ». phd. <<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002406/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Finnemore, M. et M. Sarshar. 2002. *Standardised Process Improvement for Construction Enterprises (SPICE)*. University of Salford, UK. <<https://pdfs.semanticscholar.org/e899/f85a3621fc84f2a7c2857a2b11af3c4502e7.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Folorunso, T. A. et T. A. Uthman. 2015. « The Process of Implementing Building Information Modelling (BIM) in the UK: A Contractor's Perspective ». In *The Nigerian Institute of Quantity Surveyors: 2nd Research Conference*. (septembre 2015), p. 496- 517 (ISBN 978 – 978 – 949 – 128 – 5).
- Françoise, Olivier, Mario Bourgault et Robert Pellerin. 2009. « ERP implementation through critical success factors' management ». *Business Process Management Journal*, vol. 15, n° 3, p. 371–394. <<https://doi.org/10.1108/14637150910960620>>.
- Georgiou, C, S Christodoulou et D Vamvatsikos. 2014. « BIM-based damage assessment and scheduling for post-earthquake building rehabilitation ». In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, p. 187- 193. CRC Press.
- Gerbert, Philipp, Santiago Castagnino, Christoph Rothballer, Andreas Renz et Rainer Filitz. 2016. « The Transformative Power of Building Information Modeling ». In *www.bcgperspectives.com*. <<http://futureofconstruction.org/content/uploads/2016/09/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.

- Ghaffarianhoseini, Ali, Dat Tien Doan, Tongrui Zhang, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Nicola Naismith et John Tookey. 2016. « A BIM Readiness & Implementation Strategy for SME Construction Companies in the UK ». *Proceedings of the 33rd International Conference of CIB W78*, (2016). <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2016-paper-008.pdf>>. Consulté le 28 mai 2018.
- Ghaffarianhoseini, Ali, John Tookey, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Nicola Naismith, Salman Azhar, Olia Efimova et Kaamran Raahemifar. 2017. « Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, p. 1046-1053. <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>>.
- Gholami, Elaheh, Arto Kiviniemi, Tuba Kocaturk et Steve Sharples. 2015. « Exploiting BIM in Energy Efficient Domestic Retrofit: Evaluation of Benefits and Barriers ». In *ICCBEI 2015 (2nd International Conference on Civil and Building Engineering Informatics)*. (Tokyo, Japan, 30 janvier 2015). <<https://pdfs.semanticscholar.org/6e4e/ac05fed22e0d7965d6ebddb725aac6b6eef8.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Gholami, Elaheh, Arto Kiviniemi et Steve Sharples. 2015. « Implementing Building Information Modelling (BIM) in Energy-Efficient Domestic Retrofit: Quality Checking of BIM Model ». In *32nd CIB W78 Conference*. (Eindhoven, The Netherlands, octobre 2015), p. 1-10.
- Gholami, Elaheh, Stephen Sharples, Sepehr Abrishami et Tuba Kucaturk. 2013a. « Exploiting BIM in energy efficient refurbishment: a paradigm of future opportunities ». In *PLEA2013*, sous la dir. de Lang, Werner, p. 1-6. Munich, Germany : Fraunhofer IRB Verlag. <<http://eprints.port.ac.uk/17918/>>. Consulté le 3 février 2016.
- Gholami, Elaheh, Stephen Sharples, Sepehr Abrishami et Tuba Kucaturk. 2013b. « Exploiting BIM in energy efficient refurbishment: a paradigm of future opportunities ». In *PLEA2013*, sous la dir. de Lang, Werner, p. 1-6 (ISBN 978-3816790549). Munich, Germany : Fraunhofer IRB Verlag.
- Ghosh, Arundhati. 2015. « Analyzing the Impact of Building Information Modeling (BIM) on Labor Productivity in Retrofit Construction: Case Study at a Semiconductor Manufacturing Facility ». Thesis, Doctoral dissertation, Arizona State University. <<https://repository.asu.edu/items/29664>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Ghosh, Saamyendu, Sam Negahban, Young Hoon Kwak et Miroslaw J. Skibniewski. 2011. « Impact of sustainability on integration and interoperability between BIM and ERP- A governance framework ». In *First International Technology Management Conference*. (2011), p. 187-193. IEEE. <<https://doi.org/10.1109/ITMC.2011.5995975>>.
- Giel, Brittany et Raja RA Issa. 2013. « Synthesis of existing BIM maturity toolsets to evaluate building owners ». *Computing in civil engineering*, p. 451-458. <<https://doi.org/10.1061/9780784413029.057>>.

- Giroud, Marion. 2017. « Baromètre des entreprises du bâtiment / KPMG ». In *KPMG*. <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/fr/pdf/2017/01/fr-barometre-entreprises-batiment-2016.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Giuda, Giuseppe Martino Di, Valentina Villa et Paolo Piantanida. 2015. « BIM and Energy Efficient Retrofitting in School Buildings ». *Energy Procedia*, vol. 78, p. 1045-1050.
- Gledson, Barry, Daniel Henry et Paula Bleanch. 2012. « Does size matter? Experiences and perspectives of BIM implementation from large and SME construction contractors ». In *1st UK Academic Conference on Building Information Management (BIM) 2012*. (Northumbria University, Newcastle upon Tyne, UK, 5 septembre 2012). <<http://nrl.northumbria.ac.uk/10069/>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Göçer, Özgür, Ying Hua et Kenan Göçer. 2016. « A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping ». *Building Simulation*, vol. 9, n° 5, p. 513-527. <<https://doi.org/10.1007/s12273-016-0293-4>>.
- Goldratt, Eliyahu M. et Jeff Cox. 2016. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Routledge, (ISBN : 978-1-351-98211-5) 321 p.
- Guo, Li, Shan Shan Bu, Zhi Gang Zhu, Yan Fei Su et Xin Liang. 2014. « The Research of BIM Theory Applied in Decision Making of Commercial Building Green Retrofit ». *Applied Mechanics and Materials*, vol. 667, p. 68-71.
- Ham, Youngjib. 2015. « Vision-based building energy diagnostics and retrofit analysis using 3D thermography and building information modeling ». University of Illinois at Urbana-Champaign. <<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/87974>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Hammond, Nawari et Walters. 2014. « BIM in Sustainable Design: Strategies for Retrofitting/Renovation ». In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, p. 1969-1977. American Society of Civil Engineers.
- Hartmann, T. et M. Fischer. 2009. « A process view on end-user resistance during construction IT implementations ». *Journal of Information Technology in Construction: Special Issue Next Generation Construction IT: Technology Foresight, Future Studies, Roadmapping, and Scenario Planning*, vol. 14, p. 353-365.
- Hartmann, Timo, Hendrik van Meerveld, Niels Vossebeld et Arjen Adriaanse. 2012. « Aligning building information model tools and construction management methods ». *Automation in Construction*, vol. 22, p. 605-613. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.12.011>>.
- Harty, James, Tahar Kouider et Graham J. Paterson. 2015. *Challenges, risks and benefits for SMEs*. Routledge, chapter 8 (ISBN 9781138843974). <<https://openair.rgu.ac.uk/handle/10059/1843>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Harvard University. 2017. « Renovation Spending Continues to Grow, But More Slowly (Press release from the Joint Center for Housing Studies, Harvard University) ». <<http://www.jchs.harvard.edu/renovation-spending-continues-grow-more-slowly>>. Consulté le 28 juin 2018.

- Helander, David et Vishal Singh. 2016. « BIM in building renovation projects: what is the useful minimum information requirement? » *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 9, n° 1, p. 65-86.
<<https://doi.org/10.1504/IJPLM.2016.078863>>.
- HIA. 2016. « Australia's \$31.4 Billion Home Renovations Market ». <[https://hia.com.au/-/media/HIA-Website/Files/Media-Centre/Media-Releases/2016/national/Australia-\\$31-Billion-Home-Renovations-Market.ashx](https://hia.com.au/-/media/HIA-Website/Files/Media-Centre/Media-Releases/2016/national/Australia-$31-Billion-Home-Renovations-Market.ashx)>. Consulté le 28 juin 2018.
- Hovorka, Frank et Pierre Mit. 2014. « Plan Bâtiment Durable Rapport groupe de travail BIM et Gestion du patrimoine ». <<http://www.planbatimentdurable.fr/publication-du-rapport-final-bim-et-gestion-du-a790.html>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Humphrey, Watts S. 1988. « Characterizing the Software Process A Maturity Framework ». *IEEE software*, vol. 5, n° 2, p. 73-79. <<https://doi.org/10.1109/52.2014>>.
- Ibem, Eziyi O. et Samuel Laryea. 2014. « Survey of digital technologies in procurement of construction projects ». *Automation in Construction*, vol. 46, p. 11-21.
<<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.003>>.
- Ilter, Deniz et Esin Ergen. 2015. « BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions ». *Structural Survey*, vol. 33, n° 3, p. 228-256.
<<https://doi.org/10.1108/SS-02-2015-0008>>.
- INSEE. 2015a. « Les entreprises en France ». <http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ENTFRA15.pdf>. Consulté le 2 février 2018.
- INSEE. 2015b. « Insee - Définitions, méthodes et qualité - NAF rév. 2, 2008, édition 2015 - Section F Construction ». <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=nomenclatures/naf2008/n1_f.htm>. Consulté le 2 février 2018.
- INSEE. 2016a. « Nombre de défaillances d'entreprises par date de jugement - Cumul brut glissant sur 12 mois - France - Construction ». In *Bases de données Insee*. <<http://www.bdm.insee.fr/bdm2/index>>. Consulté le 2 février 2018.
- INSEE. 2016b. « Caractéristiques des établissements au 31/12/2014 ». <<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2021289>>. Consulté le 2 février 2018.
- INSEE. 2017a. « Valeur ajoutée par branche en 2016 | Insee ». <<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2830197>>. Consulté le 23 mars 2018.
- INSEE. 2017b. « Valeur ajoutée, rémunération et emploi en 2016 – Les comptes de la Nation en 2016 | Insee ». <<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2832668?sommaire=2832834>>. Consulté le 23 mars 2018.
- ISO. 2003. *ISO/IEC 15504-2:2003 - Information technology -- Process assessment -- Part 2: Performing an assessment*.
- ISO. 2008. « ISO 15686-5:2008 - Bâtiments et biens immobiliers construits - Prévion de la durée de vie - Partie 5 : approche en coût global ».

- ISO. 2010. *ISO 13822:2010 Bases du calcul des constructions - Évaluation des constructions existantes*.
- ISO. 2013. *ISO 11297-1:2013 Systèmes de canalisations en plastique pour la rénovation des réseaux de branchements et de collecteurs d'assainissement enterrés sous pression*.
- ISO. 2015. *ISO 16711:2015 Évaluation sismique et réhabilitation de structures en béton*.
- ISO. 2016. « ISO 16739:2013 - Classes de fondation d'industrie (IFC) pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations ».
- ISO. 2018. « ISO/DIS 19650-1 - Organisation des informations concernant les ouvrages de construction -- Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction -- Partie 1: Concepts et principes ».
- Jansson, Johan, Jonas Nilsson, Frida Modig et Gabriella Hed Vall. 2017. « Commitment to sustainability in small and medium-sized enterprises: The influence of strategic orientations and management values ». *Business Strategy and the Environment*, vol. 26, n° 1, p. 69–83. <<https://doi.org/10.1002/bse.1901>>.
- Joblot, L, T Paviot, D Deneux et S Lamouri. 2016. « Analyse du BIM appliqué à la rénovation ». In *11th International Conference on Modeling, Optimization and SIMulation (MOSIM 2016)*. (Montréal, Canada, août 2016). ETS Montréal. <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01493629>>. Consulté le 24 mars 2017.
- Joblot, Laurent, Dominique Deneux, Thomas Paviot et Samir Lamouri. 2017. « Survey of the Renovation Sector in France: A Necessary Step Towards Implementing BIM in Microenterprises ». In *IESM 2017 - International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*. (Saarbrücken, Germany, octobre 2017). <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01666318>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Joblot, Laurent, Thomas Paviot, Dominique Deneux et Samir Lamouri. 2017. « Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects ». *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, n° 1, p. 10518-10525. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1298>>.
- Jung, Youngsoo et Mihee Joo. 2011. « Building information modelling (BIM) framework for practical implementation ». *Automation in Construction*, vol. 20, n° 2, p. 126-133. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.010>>.
- Kagermann, Henning, Johannes Helbig, Ariane Hellinger et Wolfgang Wahlster. 2013. *Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 : Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion. <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf>. Consulté le 17 mars 2018.
- Kagermann, Henning, Wolf-Dieter Lukas et Wolfgang Wahlster. 2011. « Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution ». *VDI nachrichten*, vol. 13, p. 2011.

- Kam, Calvin, Min Ho Song et Devini Senaratna. 2016. « VDC Scorecard: Formulation, Application, and Validation ». *Journal of Construction Engineering and Management*, p. 04016100. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001233](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001233)>.
- Keegan, Christopher James. 2010. « Building information modeling in support of space planning and renovation in colleges and universities ». Worcester Polytechnic Institute. <<http://m.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042910-162540/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Khaddaj, Maggie et Issam Srour. 2016. « Using BIM to Retrofit Existing Buildings ». *Procedia Engineering*, vol. 145, p. 1526-1533. <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.192>>.
- Khodeir, Laila M., Dalia Aly et Shaimaa Tarek. 2016. « Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) Tools in the Application of Sustainable Retrofitting of Heritage Buildings in Egypt ». *Procedia Environmental Sciences*, vol. 34, p. 258-270. <<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.024>>.
- Khosrowshahi, Farzad et Amir Alani. 2011. « Visualisation of impact of time on the internal lighting of a building ». *Automation in Construction*, vol. 20, n° 2, p. 145-154. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.012>>.
- Khosrowshahi, Farzad et Yusuf Arayici. 2012. « Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry ». *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 19, n° 6, p. 610-635. <<https://doi.org/10.1108/09699981211277531>>.
- Kim, Ki. 2015. « Conceptual Building Information Modelling Framework for Whole-house Refurbishment based on LCC and LCA ». <[https://research.aston.ac.uk/portal/en/theses/conceptual-building-information-modelling-framework-for-wholehouse-refurbishment-based-on-lcc-and-lca\(f808ac76-7ce8-4c09-8b9b-266f11815cf9\).html](https://research.aston.ac.uk/portal/en/theses/conceptual-building-information-modelling-framework-for-wholehouse-refurbishment-based-on-lcc-and-lca(f808ac76-7ce8-4c09-8b9b-266f11815cf9).html)>. Consulté le 28 juin 2018.
- Kim, Ki Pyung et Kenneth S. Park. 2013. « BIM Feasibility Study For Housing Refurbishment Projects In The UK ». *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal*, vol. 5, n° Special, p. 765-774.
- Kim, Ki Pyung et Kenneth Sungho Park. 2016. « Exploratory research on BIM integration in housing refurbishment in the UK ». <<http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/52b3e7514863624237f3a7398c0fbef5.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Koskela, Lauri. 1992. « Application of the New Production Philosophy to Construction ». *CA: Stanford university*, vol. 72. <<http://faculty.ce.berkeley.edu/tommelein/Koskela-TR72.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Kouider, Tahar et Graham J. Paterson. 2013. « Architectural technology and the BIM acronym: critical perspectives of evangelical and evolutionary paradigms for technical design. » In *Architectural Technology: The Defining Features. Proceedings*

- of the 4th International Congress of Architectural Technology*. (mars 2013), p. 122-141. <<https://openair.rgu.ac.uk/handle/10059/1162>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Krafcik, John F. 1988. « Triumph of the lean production system ». *MIT Sloan Management Review*, vol. 30, n° 1, p. 41.
- KYU Lab. 2016. « Etude sur l'évolution de l'ingénierie française de la construction liée au BIM ». <<http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/8118/8118-la-synthese.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Lad, Vishal Harshadbhai, H. R. Patel et Mr Hiren A. Rathod. 2016. « Application of Building Information Modeling (Bim) for Renovation Project ». *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*, vol. 2, n° 12, p. 282–287.
- Lagüela, S., L. Díaz-Vilariño, J. Martínez et J. Armesto. 2013. « Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy rehabilitation purposes ». *Automation in Construction*, vol. 31, p. 230-240. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.013>>.
- Landrieu, Jérémie, Christian Père, Yudi NUGRAHA BAHAR et Ghislain NICOLAS. 2013. « Représentation hybride du modèle numérique pour la gestion d'un patrimoine bâti dit ancien ». In *Confere 2013*. (Biarritz, France, 2013). <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01097492/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Landscape Institute. 2012. « You searched for BIM Capability Self Assessment ». <<https://www.landscapeinstitute.org/PDF/Contribute/BIMSelfAssessmentv2.xls>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Larsen, Knut Einar, Frank Lattke, Stephan Ott et Stefan Winter. 2011. « Surveying and digital workflow in energy performance retrofit projects using prefabricated elements ». *Automation in Construction*, vol. 20, n° 8, p. 999-1011. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.001>>.
- Léglise, Michel et Bernard Ferriès. 2009. « Evaluation des coûts des défauts d'interopérabilité supportés par entreprises, maîtres d'ouvrage et exploitants, dans le cadre de la construction et l'exploitation de bâtiments ». <http://lra.toulouse.archi.fr/club-des-usages/file.php/1/Documentation/Rapp_Final_FFB_35.pdf>. Consulté le 28 juin 2018.
- Leidecker, Joel K. et Albert V. Bruno. 1984. « Identifying and using critical success factors ». *Long Range Planning*, vol. 17, n° 1, p. 23-32. <[https://doi.org/10.1016/0024-6301\(84\)90163-8](https://doi.org/10.1016/0024-6301(84)90163-8)>.
- Lin, Chung-chiang. 2012. « BIM-SCM-RFID Oriented Study for Open Building Renovation-The Old Building Case Study ». Master's Thesis. <<http://ir.lib.ntust.edu.tw/handle/987654321/34569>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Lindgren, John et Kristian Widén. 2016. « Diffusing BIM – knowledge integration mechanisms and their effects ». In *CIB World Building Congress 2016, Tampere, Finland, May 30-June 3, 2016*. (2016), p. 832-843. Tampere University of

- Technology. <<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-32722>>. Consulté le 28 mai 2018.
- Mahamadu, Abdul-Majeed, Lamine Mahdjoubi et Colin A. Booth. 2014. « Determinants of Building Information Modelling (BIM) acceptance for supplier integration: A conceptual model ». In *Proceedings 30th Annual ARCOM Conference*. (2014), p. 723– 732 (ISBN 978- 0-9552390-8- 3).
- Mäkeläinen, T., J. Hyvärinen et M. Rekola. 2017. « Methodology for tracking BIM benefits on project level ». In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2016: Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2016), Limassol, Cyprus, 7-9 September 2016*. (2017), p. 417- 426 (ISBN 978-113803280- 4). CRC Press.
- Masson, Thibault. 2016. *La solution BIM IFC au service de la gestion patrimoniale du conseil régional*. <http://www.cotita.fr/IMG/pdf/4-2_Masson_Demarche_BIM_CRBFC.pdf>. Consulté le 4 avril 2018.
- Mazzarol, Tim. 2004. « Strategic management of small firms: a proposed framework for entrepreneurial ventures ». In *17th Annual SEAANZ Conference*. (2004), p. 1–23. <<https://cemi.com.au/sites/all/publications/Mazzarol%20SEAANZ04%20paper.pdf>>. Consulté le 2 février 2018.
- McAuley, Barry, Alan Hore et Roger West. 2017. « BICP Global BIM Study-Lessons for Ireland's BIM Programme ». <<http://arrow.dit.ie/beschrecrep/17/>>. Consulté le 1 mai 2018.
- McKinsey. 2014. « Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France ». <http://lionelmaltese.fr/wp-content/uploads/2015/10/Rapport_McK-Accelerer_la_mutation_numerique_des_entreprises_2014.pdf>. Consulté le 25 juin 2018.
- McKinsey France. 2014. *Accélérer la mutation numérique des entreprises : un gisement de croissance et de compétitivité pour la France*. <http://lionelmaltese.fr/wp-content/uploads/2015/10/Rapport_McK-Accelerer_la_mutation_numerique_des_entreprises_2014.pdf>.
- Mediaconstruct. 2016. *Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM*. <<http://blogs.caduc.fr/blogs/revit/files/downloads/2016/04/guide-methodologique-convention-bim-mediaconstruct.pdf>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Mediaconstruct. 2017. « Code d'éthique BIM ». <<http://www.mediaconstruct.fr/travaux/code-dethique-bim>>. Consulté le 15 janvier 2018.
- Mellon, Stephanie et Tahar Kouider. 2014. « SMEs and BIM in preparation for 2016: a case study. » In *Architectural Technology, Towards Innovative Professional Practice: Conference Proceedings of the 5th International Congress of Architectural Technology, Aberdeen 2014*. (2014). Robert Gordon University. <<http://openair.rgu.ac.uk/handle/10059/1151>>. Consulté le 25 juin 2018.

- Merle, Alexandre. 2012. « Analyse de l'implantation d'outils de Lean Construction au chantier AP60 Phase 1 ». MERLE, Alexandre. Analyse de l'implantation d'outils de Lean Construction au chantier AP60 Phase 1. 2012. Thèse de doctorat. Polytechnique Montréal, Polytechnique Montréal. <<https://publications.polymtl.ca/974/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Miettinen, Reijo et Sami Paavola. 2014. « Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling ». *Automation in Construction*, vol. 43, p. 84-91. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>>.
- Miller, Clayton. 2014. « Bim-Extracted Energyplus Model Calibration for Retrofit Analysis of a historically listed Building in Switzerland ». In *Building Simulation Conference*. (2014), p. 331-338. ASHRAE. <<https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.1.1671.7285>>.
- Ministère de l'agriculture et de la pêche. 2001. *Guide de valorisation du patrimoine rural*. Ministère de l'agriculture et de la pêche.
- Ministère du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité. 2015. « FEUILLE DE ROUTE OPÉRATIONNELLE ». <<http://www.batiment-numerique.fr/uploads/PDF/PTNB%20-%20Feuille%20de%20route%20operationnelle.pdf>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Ministère Français de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce Extérieur. 1994. « modalités techniques d'exécution des éléments de mission de maîtrise d'oeuvre confiés par des maîtres d'ouvrage publics à des prestataires de droit privé ». <<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000728300&categorieLien=id>>. Consulté le 25 juin 2018.
- MIQCP. 2016. « La réforme de la commande publique de 2016 applicable à la commande de projets de construction : quelles évolutions pour choisir les concepteurs ? » <<http://www.miqcp.gouv.fr/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Mlecnik, Erwin, Irena Kondratenko, Johan Cré, Jeroen Vrijders, Pieter Degraeve, Joeri Aleksander van der Have, Trond Haavik, Synnøve A. Aabrekk, Matilde Grøn et Sanne Hansen. 2012. « Collaboration opportunities in advanced housing renovation ». *Energy Procedia*, vol. 30, p. 1380-1389. <<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.152>>.
- Moeuf, Alexandre, Robert Pellerin, Samir Lamouri, Simon Tamayo-Giraldo et Rodolphe Barbaray. 2018. « The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0 ». *International Journal of Production Research*, vol. 56, n° 3, p. 1118-1136. <<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>>.
- Mohd, Suzila, Juliana Brahim, Aryani Ahmad Latiffi, Mohamad Syazli Fathi et Aizul Nahar Harun. 2016. « Developing Building Information Modelling (BIM) Implementation Model for Project Design Team ». In *Proceedings International Conference on Innovation and Management*,. (Malaysia, 2016). <<https://www.researchgate.net/publication/314100194>>. Consulté le 25 juin 2018.

- Morlhon, Romain, Robert Pellerin et Mario Bourgault. 2015. « Defining Building Information Modeling implementation activities based on capability maturity evaluation: a theoretical model ». *International Journal of Information Systems and Project Management*, 3(1), p. 51-65. <<https://doi.org/10.12821/ijispm030103>>.
- Motawa, Ibrahim et Abdulkareem Almarshad. 2013. « A knowledge-based BIM system for building maintenance ». *Automation in Construction*, vol. 29, p. 173-182. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.008>>.
- Nath, Tushar, Meghdad Attarzadeh, Robert L. K. Tiong, C. Chidambaram et Zhao Yu. 2015. « Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering ». *Automation in Construction*, vol. 54, p. 54-68.
- NBIMS-US. 2015. « National BIM Standard-United States® Version 3 | National BIM Standard - United States ». <<https://www.nationalbimstandard.org/nbims-us>>. Consulté le 28 juin 2018.
- NBS-RIBA. 2016. « Periodic Table of BIM ». In *NBS*. <<https://www.thenbs.com/knowledge/periodic-table-of-bim>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Nicolas, Ghislain, Jérémie Landrieu, Yudi Nugraha Bahar et Christian Père. 2013. « Hybrid representation of digital mockup for heritage buildings management ». In *XXIV International CIPA Symposium*. (Strasbourg, France, septembre 2013), p. 453-457. <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01111064/document>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Noori, Adel, Masran Saruwono, Hamimah Adnan et Ismail Rahmat. 2016. « Conflict, Complexity, and Uncertainty in Building Refurbishment Projects ». In *InCIEC 2015*. (2016), p. 251-258. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0155-0_24>.
- Observatoire des Métiers du BTP. 2016. « Chiffres clés des entreprises ». <<https://www.metiers-btp.fr/les-chiffres.html>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Office fédéral des questions conjoncturelles. 1995. *Vieillesse des éléments de construction et coût d'entretien. Données pour l'entretien et la rénovation des immeubles d'habitation. Programme PI BAT- Entretien et rénovation des constructions*. Office fédéral des questions conjoncturelles. <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_843943609.PDF>. Consulté le 28 juin 2018.
- Office for National Statistics. 2016a. « Output in the construction industry - Office for National Statistics ». <<https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/constructionindustry/bulletins/constructionoutputingreatbritain/january2016andnewordersquarter42015>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Office for National Statistics. 2016b. « UKBC Enterprise/local units by Industry, Employment size band and Legal status ». <<https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/business/activitysizeandlocation/a>>

- dhocs/006961analysisoflocalunitsandenterprisesintheunitedkingdombyuksicsectionand deploymentsizeband2016>. Consulté le 25 juin 2018.
- Oloke, David. 2016. « Health and Safety Management in Alteration and Refurbishment Projects using Building Information Modelling: An Exploratory Study ». <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC25804.pdf>. Consulté le 28 juin 2018.
- Onyango Allan Fred. 2016. *Interaction between Lean Construction and BIM : How effectiveness in production can be improved if lean and BIM are combined in the design phase A literature review*. <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1048993>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Owen, Alice. 2016. « The challenges of implementing low carbon retrofit in existing buildings—attending to installers and micro-enterprises ». In *Sustainable Ecological Engineering Design for Society (SEEDS) Conference 2015: Conference Proceedings*. (2016), p. 55– 66 (ISBN 978- 0-9955690- 0- 3). LSIPublishing.
- Owen, Robert L., Robert Amor, John Dickinson, Matthijs Prins et Arto Kiviniemi. 2013. « Research roadmap report: Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS) ». p. (ISBN 9789063630720) 39.
- Ozturk, Z, Y. Arayici et SP Coates. 2012. « Post Occupancy Evaluation (POE) in Residential Buildings Utilizing BIM and Sensing Devices: Salford Energy House Example ». In *ResearchGate*. (2012). <<https://www.researchgate.net/publication/228438888>>. Consulté le 25 juin 2018.
- Papadonikolaki, Eleni. 2016. « Alignment of Partnering with Construction IT ». *A+BE / Architecture and the Built Environment*, vol. 6, n° 20, p. 1-328. <<https://doi.org/10.7480/abe.2017.19>>.
- Park, Kenneth Sungho et Ki Pyung Kim. 2014. « Essential BIM Input Data Study for Housing Refurbishment: Homeowners' Preferences in the UK ». *Buildings*, vol. 4, n° 3, p. 467-487.
- Pärn, E. A., D. J. Edwards et M. C. P. Sing. 2017. « The building information modelling trajectory in facilities management: A review ». *Automation in Construction*, vol. 75, p. 45–55. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.12.003>>.
- Pärn, Erika Anneli et David Edwards. 2017. « Vision and advocacy of optoelectronic technology developments in the AECO sector ». *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 7, n° 3, p. 330-348. <<https://doi.org/10.1108/BEPAM-11-2016-0081>>.
- Peabody, Eric et Christie Coffin. 2008. « BIM Augments Sustainability in UCSF Laboratory Renovation: A Case Study in Sustainable BIM Use ». *Sustainability Conference*. <<http://digitalcommons.calpoly.edu/susconf/31>>.
- Pôle emploi. 2017. « Pole emploi BMO 2017 ». <<http://statistiques.pole-emploi.org/bmo/>>. Consulté le 23 mars 2018.

- Proença, Diogo et José Borbinha. 2016. « Maturity Models for Information Systems - A State of the Art ». *Procedia Computer Science*, vol. 100, p. 1042-1049. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>>.
- QUALITEL. 2015. « GISELE L'EXTRANET DU LOGEMENT ». <<https://www.qualite-logement.org/nos-activites/information/nos-outils-daccompagnement/gisele.html>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Ramanayaka, Chamila D. et Senthilkumar Venkatachalam. 2015. « Reflection on BIM Development Practices at the Pre-maturity ». *Procedia Engineering*, vol. 123, p. 462-470. <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.092>>.
- Rasiulis, Romas, Leonas Ustinovichius, Darius Migilinskas, Jovita Cepurnaite et Arvydas Virbickas. 2015. « Energy efficiency of a public building renovation and reconstruction using base model passive house and BIM technology ». *Engineering Structures and Technologies*, vol. 7, n° 3, p. 114-125. <<https://doi.org/10.3846/2029882X.2016.1123896>>.
- Redwood, James, Sasha Thelning, Abbas Elmualim et Stephen Pullen. 2017. « The proliferation of ICT and digital technology systems and their influence on the dynamic capabilities of construction firms ». *Procedia Engineering*, vol. 180, p. 804-811. <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.241>>.
- Rezgui, Yacine et John Miles. 2010. « Exploring the Potential of SME Alliances in the Construction Sector ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, n° 5, p. 558-567. <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000150](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000150)>.
- Rochard, Ulrich. 2015. « La fièvre du BIM ». (21 octobre 2015), p. 138. les cahiers techniques du bâtiment N°345. <<http://www.lemoniteur.fr/articles/la-fievre-du-bim-30179415>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Rockart, John F. 1979. « Chief executives define their own data needs. » *Harvard business review*, vol. 57, n° 2, p. 81-93.
- Roorda, Derrick et Kuen Mei Liu. 2008. « Implementation of Building Information Modeling (BIM) on the Renovation of the Art Gallery of Alberta in Edmonton, Alberta ». In *Structures Congress 2008*. (2008), p. 1-15. American Society of Civil Engineers. <[https://doi.org/10.1061/41000\(315\)6](https://doi.org/10.1061/41000(315)6)>.
- Rosenfeld, Yehiel et Igal M Shohet. 1999. « Decision support model for semi-automated selection of renovation alternatives ». *Automation in Construction*, vol. 8, n° 4, p. 503-510. <[https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00097-1)>.
- Sackey, Enoch et Julius Akotia. 2017. « Spanning the multilevel boundaries of construction organisations: towards the delivery of BIM-compliant projects ». *Construction Innovation*, vol. 17, n° 3. <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/CI-09-2016-0047>>.
- Sacks, Rafael, Lauri Koskela, Bhargav A. Dave et Robert Owen. 2010. « Interaction of lean and building information modeling in construction ». *Journal of construction*

- engineering and management*, vol. 136, n° 9, p. 968–980.
<[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)>.
- Sandberg, Nina Holck, Igor Sartori, Oliver Heidrich, Richard Dawson, Elena Dascalaki, Stella Dimitriou, Tomáš Vimm-r, Faidra Filippidou, Gašper Stegnar et Marjana Šijanec Zavrl. 2016. « Dynamic building stock modelling: Application to 11 European countries to support the energy efficiency and retrofit ambitions of the EU ». *Energy and Buildings*, vol. 132, p. 26–38.
<<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.100>>.
- Santos, Rúben, António A. Costa et António Grilo. 2017. « Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015 ». *Automation in Construction*, vol. 80, p. 118- 136.
<<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>>.
- Savall, Henri et Véronique Zardet. 2004. *Recherche en Sciences de Gestion : Approche Qualimétrique, observer l'objet complexe*, Economica. Coll. « Recherche en Gestion ». Economica, (ISBN 978-2717847765) 432 p.
- Sebastian, Rizal et Léon van Berlo. 2010. « Tool for Benchmarking BIM Performance of Design, Engineering and Construction Firms in The Netherlands ». *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 6, p. 254–263.
<<https://doi.org/10.3763/aedm.2010.IDDS3>>.
- Segarra Cañamares, M., B. M. Villena Escribano, M. N. González García, A. Romero Barriuso et A. Rodríguez Sáiz. 2017. « Occupational risk-prevention diagnosis: A study of construction SMEs in Spain ». *Safety Science*, vol. 92, n° Supplement C, p. 104-115. <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.016>>.
- Sheth, Amey Z., Andrew D. F. Price et Jacqueline Glass. 2010. « BIM and refurbishment of exisiting healthcare facilities ». In *Proceedings 26th Annual ARCOM Conference*. (Leeds, United Kingdom, 2010), p. 1497-1506. <<https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/6653>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Snyder, Cynthia Stackpole. 2014. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK (®) Guide*. Project Management Institute.
- Souder, David, Greg Reilly et Rebecca Ranucci. 2015. « Bringing Long-Term Thinking into Business ». In *Network for Business Sustainability*. <<https://nbs.net/p/bringing-long-term-thinking-into-business-377e84dd-8234-4488-8c6d-f7b91e2add33>>. Consulté le 30 mai 2018.
- Succar, Bilal. 2009a. « Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders ». *Automation in Construction*, vol. 18, n° 3, p. 357-375. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>>.
- Succar, Bilal. 2009b. « Building information modelling maturity matrix ». *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics, IGI Global*, p. 65-103. <<https://doi.org/10.4018/978-1-60566-928-1.ch004>>.

- Succar, Bilal et Mohamad Kassem. 2015. « Macro-BIM adoption: Conceptual structures ». *Automation in Construction*, vol. 57, p. 64–79. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>>.
- Succar, Bilal, Willy Sher et Anthony Williams. 2012. « Measuring BIM performance: Five metrics ». *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 8, n° 2, p. 120–142. <<https://doi.org/10.1080/17452007.2012.659506>>.
- Succar, Bilal, Willy Sher et Anthony Williams. 2013. « An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application ». *Automation in Construction*, vol. 35, p. 174–189. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.016>>.
- Takim, Roshana, Mohd Harris et Abdul Hadi Nawawi. 2013. « Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry ». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 101, p. 23–32. <<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>>.
- Tang, Pingbo, Daniel Huber, Burcu Akinci, Robert Lipman et Alan Lytle. 2010. « Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques ». *Automation in Construction*, vol. 19, n° 7, p. 829–843. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>>.
- Teo, Evelyn Ai Lin et Guangming Lin. 2011. « Determination of strategic adaptation actions for public housing in Singapore ». *Building and Environment*, vol. 46, n° 7, p. 1480–1488. <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.021>>.
- Tersigni, Enza. 2013. « Strumenti ICT e processi progettuali di riqualificazione edilizia II Building Information Modelling per il controllo tecnico-prestazionale degli interventi di retrofit ». Tesi di dottorato. <<http://www.fedoa.unina.it/9504/>>. Consulté le 28 juin 2018.
- Torrès, Olivier. 1999. *les PME*. Flammarion Paris.
- Tsai, Meng-Han, Mony Mom et Shang-Hsien Hsieh. 2014. « Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: part I. Methodology and survey ». *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 37, n° 7, p. 845–858. <<https://doi.org/10.1080/02533839.2014.888811>>.
- Vicosoftware. 2017. « Calculating Your BIM Score | BIM Scorecard | BIM Maturity ». <<http://support.vicosoftware.com/login.aspx?ReturnUrl=%2f>>. Consulté le 25 mars 2018.
- Vital, R. et J. Cory. 2015. « Digital Documentation integrated in BIM for Building Reuse and Sustainable Retrofit ». In *CAADRIA 2015 / Daegu 20-22 May 2015*, pp. 407–416. (2015).
- Volk, Rebekka, Sevilmis et Frank Schultmann. 2015. « Deconstruction project planning based on automatic acquisition and reconstruction of building information for existing buildings ». In *Conference: SASBE2015, At Pretoria, South Africa*. (Pretoria, South Africa, 2015), p. 47–56 (ISBN: 978- 0-7988-5624- 9).

- Volk, Rebekka, Julian Stengel et Frank Schultmann. 2014. « Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs ». *Automation in Construction*, vol. 38, p. 109-127.
- Wang, Calvin, Elizabeth Walker et Janice Redmond. 2007. « Explaining the lack of strategic planning in SMEs: The importance of owner motivation ». *International Journal of Organisational Behaviour*, vol. 12, n° 1, p. 1– 16 (ISSN 1440- 5377).
- Wang, Jun, Sijie Zhang et Jochen Teizer. 2015. « Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling ». *Automation in Construction*, vol. 49, Part B, p. 250-261. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.09.002>>.
- Won, Jongsung et Jack C. P. Cheng. 2017. « Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization ». *Automation in Construction*, vol. 79, p. 3-18. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>>.
- Wu, Chengke, Bo Xu, Chao Mao et Xiao Li. 2017. « Overview of BIM maturity measurement tools ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 22, n° 3, p. 34– 62 (ISSN: 1874- 4753).
- Xu, Xun. 2012. « From cloud computing to cloud manufacturing ». *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 28, p. 75–86. <<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.07.002>>.

Index des figures

<i>Figure 1: Approche du travail</i>	5
<i>Figure 2 : Synthèse des connotations des termes Building Information Modeling selon Succar</i>	8
<i>Figure 3 : La gestion du cycle de vie à l'aide du BIM</i>	8
<i>Figure 4 : L'interopérabilité facilitée par les IFC</i>	10
<i>Figure 5 : Stratégies en vigueur dans différents pays selon McAuley, Hore et West</i>	11
<i>Figure 6 : Importance de différents secteurs de l'industrie dans l'économie française</i>	12
<i>Figure 7 : Indice de productivité du travail en construction et activités manufacturières selon McKinsey</i>	13
<i>Figure 8 : Imbrication des termes utilisés en rénovation selon Rosenfeld et Shohet</i>	17
<i>Figure 9 : Proposition de hiérarchisation des concepts en fonction du degré d'obsolescence d'après Teo et Lin</i>	17
<i>Figure 10: Nombre de logements devant être construits ou rénovés dans la période 2016-2050 en Europe selon Sandberg et al. En haut : Le pourcentage de parts de marché par pays. En Bas : Le nombre absolu de logements</i>	19
<i>Figure 11 : Répartition des entreprises françaises par corps d'état selon l'Observatoire des Métiers</i>	20
<i>Figure 12 : Répartition des publications issues des bases de données GS et SD comportant BIM et Renovation, Refurbishment, Rehabilitation ou Retrofit dans le titre</i>	26
<i>Figure 13 : Synthèse du processus de création de la maquette BIM au regard du cycle de vie d'une construction neuve ou existante d'après Volk et al.</i>	29
<i>Figure 14: Groupes de processus de management de projet selon le Guide PMBOK (®)</i>	37
<i>Figure 15 : Élaboration d'une charte de projet selon le Guide PMBOK (®)</i>	38
<i>Figure 16 : Répartition des rôles et fonctionnement des équipes au sein d'un projet collaboratif BIM inspiré de Mediaconstruct</i>	41
<i>Figure 17 : Processus de conception intégrée (Inspiré de l'IPD (AIA, 2007))</i>	50
<i>Figure 18 : Concept IDDS (Integrated Design and Delivery Solutions) proposé par le CIB</i>	51
<i>Figure 19: Étapes d'évolution et visualisation des phases PRE-BIM jusqu'à l'approche IPD, selon B. Succar</i>	56
<i>Figure 20 : Relations entre le nombre d'employés, la proportion de projets réalisés avec architectes et l'importance des AO dans le CA</i>	68
<i>Figure 21 : Relations entre le nombre d'employés, la part de projets de rénovation face aux travaux neufs et l'importance des AO dans le CA</i>	68
<i>Figure 22 : Contrastes fondamentaux</i>	70
<i>Figure 23 : Recensement d'opinions auprès de 1500 clients suite à l'intervention d'artisans selon l'Ademe</i>	71
<i>Figure 24 : Proposition d'une modélisation des processus « courants » en rénovation</i>	74
<i>Figure 25 : Leviers de mise en œuvre du BIM</i>	76

<i>Figure 26: Tableau périodique BIM regroupant selon 9 thèmes les éléments d'importance à considérer lors de la mise en œuvre du BIM (NBS-RIBA, 2016).....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 27 : Thèmes et formalisme retenus pour la restitution du BiM²FR.....</i>	<i>84</i>
<i>Figure 28 : Répartitions des différentes maturités et approches abordées à travers les 28 mesures proposées.....</i>	<i>92</i>
<i>Figure 29: Société X : activités traditionnelles en toiture, aucune compétence numérique particulière et n'ayant pas encore l'intention d'implanter le BIM.....</i>	<i>94</i>
<i>Figure 30: Société Y, entreprise de construction de menuiseries et charpentes bois, prévoyant d'être en mesure de travailler en BIM d'ici 3 ans.....</i>	<i>95</i>
<i>Figure 31: Société Z, société mature spécialisée dans les projets de rénovation et de démolition BIM.....</i>	<i>96</i>
<i>Figure 32 : Visuel retenu pour la marque BiM²FR</i>	<i>100</i>
<i>Figure 33: Principales phases de l'élaboration d'un modèle d'évaluation de la maturité selon T. De Bruin et al.</i>	<i>107</i>
<i>Figure 34: Temps requis pour obtenir un taux d'utilisation du BIM dans 90 % de l'industrie de l'AEC du Royaume-Uni, selon F. Khosrowshahi et Y. Arayici</i>	<i>109</i>
<i>Figure 35 : Les quatre révolutions du secteur industriel (Kagermann et al., 2013)</i>	<i>138</i>

Index des tableaux

<i>Tableau 1 : Comparaison des valeurs ajoutées par heure travaillée de différents secteurs (INSEE, 2017b).....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 2 : Synthèse des publications issues des bases de données GS et SD comportant BIM et Renovation, Refurbishment, Rehabilitation ou Retrofit dans le titre</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 3 : Format générique d'une analyse SWOT</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 4 : Analyse SWOT par rapport au choix de l'implant, ou non, du BIM à des fins de rénovation</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 5 : Cas d'usages BIM retenus par Mediaconstruct</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 6 : Synthèse des données que doivent expliciter ou aborder les Conventions BIM (Mediaconstruct)</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 7 : Principaux Facteurs Clés de Succès à considérer lors de l'implantation du BIM</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 8 : Mise en perspective des travaux de Merle et Dupin reliant le LC et nos futurs travaux.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 9 : Distribution par taille des entreprises françaises de la construction</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 10 : Éléments graphiques utilisés.....</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 11 : Objets, contenus et mise en forme des questions.....</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 12 : Les 5 premières questions retenues intégrées au processus de démarrage</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 13 : Questions liées à l'indice de Maturité de conventions BIM.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 14 : Vision prospective : Réflexions à ne pas négliger Précisions et exploitations des résultats</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 15 : Synthèse des FCS ou concepts « scientifiques » forts soulignés au travers des différentes mesures du MM.....</i>	<i>93</i>

Glossaire

4

4D	Ajout d'une donnée de temps aux trois dimensions géométriques des objets. Cela permet de les relier au planning de construction.....	26
----	--	----

5

5D	Ajout d'une donnée "coût" aux 4 dimensions précédentes. Cela permet de lier les éléments géométriques aux coûts de construction ou obtenir un aperçu de la situation financière d'un projet à un moment donné.	33
5S	Seiri-Seiton-Seiso-Seiketsu-Shitsuke pour Supprimer l'inutile, Ranger, Nettoyer, Standardiser, Pérenniser	49

A

AEC	Entreprises d'Architecture, d'Ingénierie et de la Construction.....	1
AO	Appels d'Offres.....	65
AP	Analyse Personnelle	81
APD	Avant Projet Définitif.....	50
APS	Avant Projet Sommaire	50

B

BEP	BIM Project Execution Plan ou Conventions BIM	38
BFC	Bourgogne-Franche-Comté.....	64
BIM	Building Information Modeling (Modelling) ou Building Information Model.....	1
BiM ² FR	Maturity Model For Rénovation.....	57
BIM ³	BIM Maturity Matrix de Succar	58
BIM-AM	BIM-Assessment Method.....	57
BPMI	Business Process Management Initiative	71
BPMN	Business Process Model and Notation	71

C

CA	Chiffre d'affaires.....	2
CAO	Conception Assistée par Ordinateur.....	3
CDE	Common Data Environment.....	38
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés.....	99

COBie

Abréviation de Construction Operations Building Information Exchange. Format d'échange, basé sur les définitions des IFC, qui se concentre sur la transmission des informations majoritairement non-graphiques du bâtiment..... 97

CVC

Chauffage, Ventilation et Climatisation 34

D

DCE

Dossier de Consultation des Entreprises..... 50

DOE

Dossier des Ouvrages Exécutés 10

E

EIR

Employer Information Requirements soit Exigences d'échange d'informations 77

EPO

Evaluation ou étude post occupationnelle 32

ERP

Enterprise Resource Planning..... 22

ESQ

Phase d'esquisse..... 60

EXE

Phase d'exécution 60

F

FAO

Fabrication Assistée par Ordinateur 68

FAT

Facteurs d'Acceptation de la Technologie 43

FCS

Facteurs clés de succès..... 35

FFB

Fédération Française du Bâtiment..... 29

FM

Facility Management..... 10

G

GAFA

Acronyme désignant quatre des entreprises les plus puissantes du monde de l'internet à savoir

Google, Apple, Facebook et Amazon 1

GRA

23 sociétés « techniques » interviewées 65

GRB

Autres entreprises interviewées dont les principales missions sont de conseiller et d'organiser des projets de construction..... 65

GS

Google Scholar 25

H

HTML

Hypertext Markup Language..... 100

I

IDDS

Integrated Design and Delivery Solutions..... 51

IFC

Industry Foundation Classes..... 9

Ifs

Facteurs d'influences 44

IoT

Internet of Things..... 1

IPD

Integrated Project Delivery, ou Réalisation intégrée de projets..... 44

IPro

Initiating Processes 37

L

LC

Lean Construction 47

LOD

Level Of Detail, ou Niveau de Détail de la Maquette Numérique..... 46

LPS

Last Planner System 48

M

MN	
Maquette numérique	7

N

NBS	
National Building Specification	79

O

OMG	
Object Management Group.....	71
OPAC	
Office Public d'Aménagement et de Construction	68

P

PEnt	
Petites entreprises.....	21
PHP	
Hypertext Preprocessor.....	100
PLM	
Product Lifecycle Management	8
PME	
Petites et Moyennes Entreprises.....	21
PMI	
Project Management Institute	36
PPC	
Planned Percent Completed.....	49

R

RFID	
Radio frequency identification	32

S

SD	
Science Direct.....	25
SI	
Système d'information.....	22
SPICE	
Standardized Process Improvement for Construction Enterprises.....	55
SWOT	
Analyse des Strengths (forces), Weaknesses (faiblesses), Opportunities (opportunités), Threats (menaces)	4

T

TIC	
Technologies de l'information de la communication	33
TPE	
Très Petites Entreprises.....	21
TPS	
Toyota Production System	47

V

VA	
Valeur Ajoutée	12
VAH	
Valeur Ajoutée par Heure travaillée	13
VDC	
Virtual Design and Construction.....	57

W

WBS	
Work Breakdown Structure.....	26

μ

μEnt	
Microentreprises.....	21

Annexe 1 : La quatrième révolution industrielle : Industrie 4.0

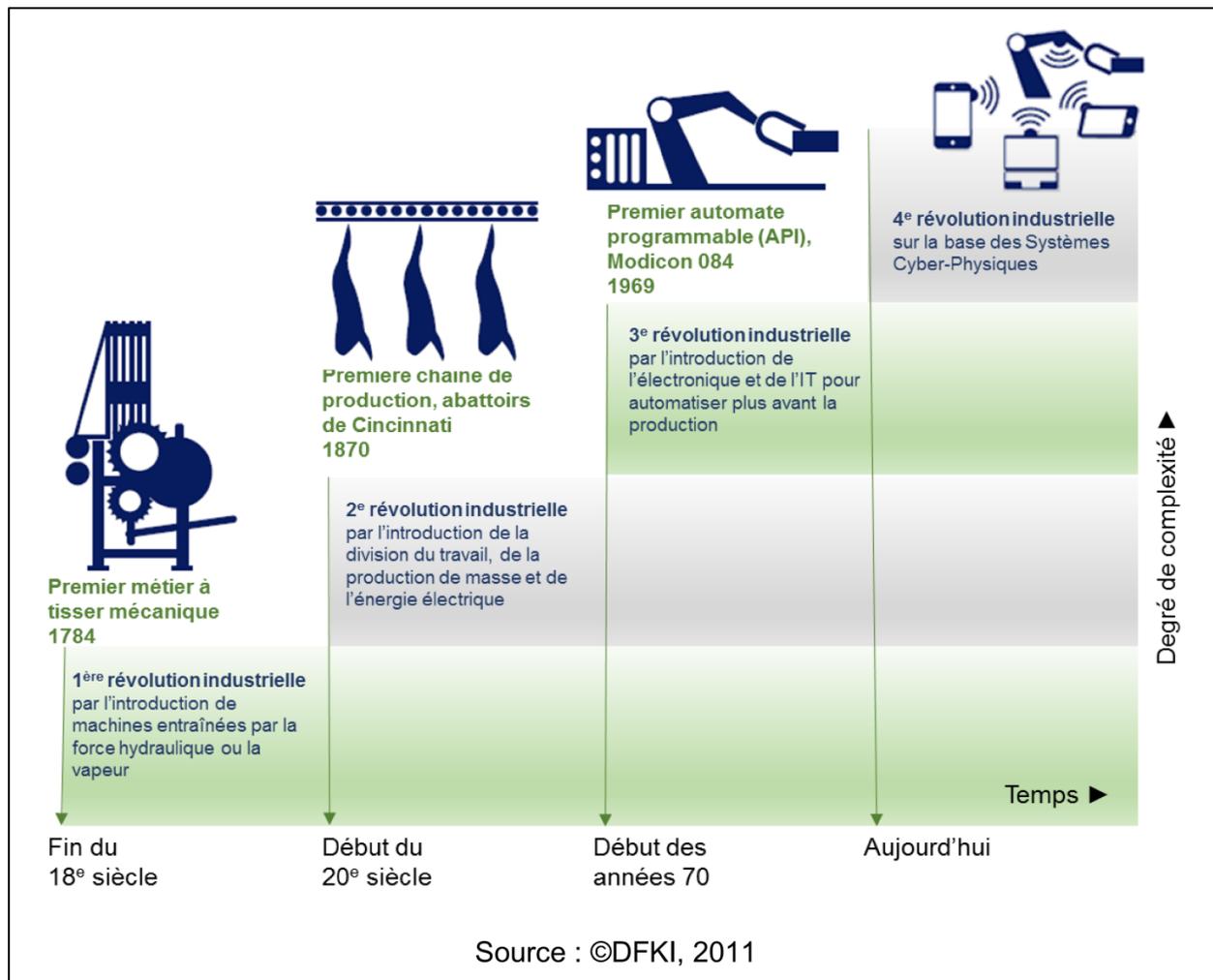


Figure 35 : Les quatre révolutions du secteur industriel (Kagermann *et al.*, 2013)

Annexe 2 : Questions retenues pour l'enquête

Etude des processus en rénovation

ENSAM

Liste des questions retenues

Typologie d'entreprise

1. Nom de l'entreprise

2. Date de création

3. Adresse n°

4. Rue

5. Code postal

6. Ville

7. Contact

8. Mail

9. Téléphone

10. Ancienneté dans l'entreprise

11. Formation

1. BEP/CAP 2. BAC
 3. BTS 4. IUT
 5. Ingénieur 6. Architecte
 7. Géomètre 8. Dr
 9. Autodidacte 10. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

12. Rôle dans la société

1. Dirigeant 2. Commercial
 3. Responsable de Travaux 4. Collaborateur
 5. Comptable 6. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

13. Si autre, lequel ?

14. Plus haut niveau des collaborateurs

1. BEP/CAP 2. BAC
 3. BTS 4. IUT
 5. Ingénieur 6. Architecte
 7. Géomètre 8. Dr
 9. Autodidacte 10. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

15. Structure juridique de l'entreprise

1. SAS 2. SARL 3. SA
 4. AE 5. EURL 6. EURL
 7. SNC 8. EI 9. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

16. Si autre, laquelle ?

17. Appartenez-vous à un groupe

1. Oui 2. Non

18. Si oui, lequel ?

19. Nombre de salariés

20. Nombre approximatif de chantiers / an

21. Rénovation / neuf

1. 100% 2. 80-100% 3. 50-80%
 4. 20 à 50% 5. moins de 20% 6. 50%

22. Proportion de vos réalisations de rénovation contraintes par la loi MOP ? (MOP : Loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée => programme, APS, APD, EXE...)

23. Précisez le format

1. Concours
 2. Appel d'offre
 3. Procédure adaptée
 4. Conception réalisation
 5. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

24. Autre ou développement :

25. Rayon d'action en km ?

26. Possédez-vous un logiciel/solution d'aide à la réalisation de devis ?

1. Oui 2. Non

27. Lequel ?

1. Ebp
 2. Ciel
 3. Sage
 4. Mediabat
 5. Autre
 6. Simple tableur de type EXCEL

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

28. Si autre, lequel ?

29. Proportion de devis acceptés

30. Pourquoi de tels résultats ? (positifs ou négatifs selon les cas)

31. Proportion de projets de rénovation sujets à permis de construire ?

32. CA HT annuel

1. moins de 32900 euros (seuil 1 AE)
 2. entre 33 et 82200 euros (seuil 2 AE)
 3. entre 82200 et 250000
 4. entre 250000 et 500000 euros
 5. entre 500000 et 1 million
 6. 1 à 2 millions
 7. plus de 2 millions

33. Entreprise labellisée

1. RGE 2. Qualibat 3. Autre 4. ISO 9000

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

34. Autres labels ?

35. Entreprise adhérente

1. FFB 2. CAPEB 3. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

36. Autres adhésions ?

Activités

37. Corps d'état (selon code NAF (NOMENCLATURE D'ACTIVITES FRANCAISE) en construction)

1. ARCHITECTE
 2. ARCHITECTE D'INTERIEUR
 3. GEOMETRE
 4. ECONOMISTE
 5. COORDONNATEUR SPS (SECURITE ET PROTECTION DE LA SANTE)
 6. TRAVAUX DE MAÇONNERIE GÉNÉRALE ET GROS ŒUVRE DE BÂTIMENT
 7. TRAVAUX D'INSTALLATION ÉLECTRIQUE DANS TOUS LOCAUX
 8. TRAVAUX DE PEINTURE ET VITRERIE
 9. TRAVAUX DE MENUISERIE BOIS ET PVC
 10. TRAVAUX D'INSTALLATION D'EAU ET DE GAZ EN TOUS LOCAUX
 11. TRAVAUX DE PLÂTRERIE
 12. TRAVAUX DE REVÊTEMENT DES SOLS ET DES MURS
 13. CONSTRUCTION DE MAISONS INDIVIDUELLES
 14. TRAVAUX D'INSTALLATION D'ÉQUIPEMENTS THERMIQUES ET DE CLIMATISATION
 15. AUTRES TRAVAUX DE FINITION
 16. TRAVAUX DE COUVERTURE PAR ÉLÉMENTS
 17. TRAVAUX DE MENUISERIE MÉTALLIQUE ET SERRURERIE
 18. CONSTRUCTION D'AUTRES BÂTIMENTS
 19. TRAVAUX DE CHARPENTE
 20. TRAVAUX D'ISOLATION
 21. TRAVAUX D'ÉTANCHÉIFICATION
 22. AUTRES TRAVAUX D'INSTALLATION N.C.A.
 23. AGENCEMENT DE LIEUX DE VENTE
 24. TRAVAUX DE MONTAGE DE STRUCTURES MÉTALLIQUES
 25. TRAVAUX DE DÉMOLITION
 26. TOUS TRAVAUX
 27. BUREAU D'ETUDES
 28. AUTRE

Vous pouvez cocher plusieurs cases (10 au maximum).

38. Si Autre :

39. Activité de l'entreprise

1. Fabricant
 2. Poseur
 3. A la fois Fabricant et Poseur
 4. Architecture
 5. Activité de "relevé"
 6. BE
 7. Maîtrise d'ouvrage

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

40. Etapes clés et "standards" d'un projet (devis ?, demande de permis ?, modification suite aux demandes de permis ou client ?, montage de dossier de financement ?, montage de dossier d'aide (ADEME...)?, attente des autres entreprises ?, reprises ?...)

41. Durée moyenne des interventions

42. Difficultés rencontrées en rénovation

1. Techniques
 2. Relationnelles avec les parties prenantes
 3. Echanges d'informations
 4. Administratives
 5. Imprévus (influent sur les coûts, charges, délais)
 6. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

43. Autres ou détails :

47. Faites-vous par fois appel à des relevés topographiques extérieurs ? (%)

La question n'est pertinente que si Corps d'état # "GEOMETRE"

44. Autres acteurs avec lesquels vous êtes le plus en relation/interaction au cours des projets :

1. ARCHITECTE
 2. ARCHITECTE D'INTERIEUR
 3. GEOMETRE
 4. ECONOMISTE
 5. COORDONNATEUR SPS (SECURITE ET PROTECTION DE LA SANTE)
 6. TRAVAUX DE MAÇONNERIE GÉNÉRALE ET GROS ŒUVRE DE BÂTIMENT
 7. TRAVAUX D'INSTALLATION ÉLECTRIQUE DANS TOUS LOCAUX
 8. TRAVAUX DE PEINTURE ET VITRERIE
 9. TRAVAUX DE MENUISERIE BOIS ET PVC
 10. TRAVAUX D'INSTALLATION D'EAU ET DE GAZ EN TOUS LOCAUX
 11. TRAVAUX DE PLÂTRERIE
 12. TRAVAUX DE REVÊTEMENT DES SOLS ET DES MURS
 13. CONSTRUCTION DE MAISONS INDIVIDUELLES
 14. TRAVAUX D'INSTALLATION D'ÉQUIPEMENTS THERMIQUES ET DE CLIMATISATION
 15. AUTRES TRAVAUX DE FINITION
 16. TRAVAUX DE COUVERTURE PAR ÉLÉMENTS
 17. TRAVAUX DE MENUISERIE MÉTALLIQUE ET SERRURERIE
 18. CONSTRUCTION D'AUTRES BÂTIMENTS
 19. TRAVAUX DE CHARPENTE
 20. TRAVAUX D'ISOLATION
 21. TRAVAUX D'ÉTANCHÉIFICATION
 22. AUTRES TRAVAUX D'INSTALLATION N.C.A.
 23. AGENCEMENT DE LIEUX DE VENTE
 24. TRAVAUX DE MONTAGE DE STRUCTURES MÉTALLIQUES
 25. TRAVAUX DE DÉMOLITION
 26. TOUS TRAVAUX
 27. BUREAU D'ETUDES
 28. AUTRE

Vous pouvez cocher plusieurs cases (20 au maximum).

45. Selon votre expérience, les chantiers se passent-ils mieux à la suite de l'intervention de géomètre ou d'Architecte (=> mesures/relevés plus précis) ?

La question n'est pertinente que si Corps d'état # "ARCHITECTE"

46. Proportion de chantiers avec Architecte

La question n'est pertinente que si Corps d'état # "ARCHITECTE"

48. Faites-vous par fois appel à des relevés d'intérieur ? (%)

La question n'est pertinente que si Corps d'état # "GEOMETRE"

49. Compléments

50. Faites-vous, vous même, appel à la sous traitance en rénovation ?

1. oui 2. non

51. Difficultés, changements managériaux/organisationnels engendrés ?

La question n'est pertinente que si ST = "oui"

52. Etes-vous sollicités en tant que sous-traitant en rénovation ?

1. oui 2. non

53. Difficultés, différences ?

La question n'est pertinente que si ST2 = "oui"

54. Jouez-vous par fois un rôle (aide) lors de montage de dossiers :

- 1. Dépôts de permis
- 2. Dossiers pour bénéficier d'aides environnementales
- 3. Dossier d'assurance (en cas de sinistre..)
- 4. Déclaration préalable de travaux
- 5. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (4 au maximum).

55. Autre ou détails

56. Proportion de chantiers dont la déclaration préalable de travaux est faite

Organisation

57. Avez-vous des indicateurs de performance ?

1. Oui 2. Non

58. Si oui, lesquels ?

59. Avez-vous des procédures ou des standards en place ?

1. Oui 2. Non

60. Si oui, lesquelles ?

61. Comment se déroule le processus de commande/livraisons de marchandises ?

- 1. En ligne
- 2. "achat" en magasin
- 3. Livraison au dépôt de l'entreprise
- 4. Livraisons sur Chantier
- 5. Commandes groupées
- 6. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

62. Autre ou détails

63. Obligations ou exemples de DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés, ou équivalents) à votre échelle ?

1. Oui 2. Non

64. Proportion de projets concernés

65. Formats et cas de figure ?

La question n'est pertinente que si DOE = "Oui"

66. Proportion de chantiers obtenus à la suite, ou dans le prolongement d'autres projets ?

67. Constat dans l'entreprise d'une évolution / saut technologique au cours de ces 25 dernières années ?

1. Oui 2. Non

68. Détails

69. Etes-vous familier avec la conduite du changement (anticipation, acceptation, accompagnement...) au sein de vos équipes ?

70. Présentez-vous et/ou êtes-vous préparés à d'éventuels changements au sein de l'entreprise et/ou de la profession dans les années à venir ?

71. Estimez-vous suffisants les programmes/cycles/logiques de formation proposés par diverses institutions ?

1. oui 2. non

72. Détails

Technologie

73. En dehors des logiciels d'élaboration de devis, êtes-vous équipés de solutions informatiques pour suivre :

1. La facturation
 2. La production des plans (2D)
 3. La lecture de plans 2D
 4. La réalisation de maquettes 3D
 5. Le visionnage de maquettes 3D
 6. Le dimensionnement mécanique
 7. Les calculs thermiques
 8. Les descriptifs quantitatifs
 9. La planification et la gestion des ressources
 10. L'achat et le suivi des matériaux (stocks)
 11. Les coûts
 12. Le contrôle et l'entretien des installations (gestion du patrimoine)
 13. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (10 au maximum).

74. Comment effectuez-vous la lecture de plans 2D ?

1. Dessins réalisés à la main
 2. Lecture sur AutoCAD
 3. ArchiCAD
 4. Revit Architecture
 5. Revit Structure
 6. Revit MEP
 7. PDF
 8. autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

75. Si autre :

76. Proportion de projets pour lesquels des plans 2D vous sont fournis ?

77. Les plans 2D reçus, sont-ils globalement

1. 100% exploitables et à jour
 2. Exploitables et à jour à + de 80%
 3. Exploitables et à jour dans + de 50%
 4. Entre 20 et 50%
 5. Moins de 20 % des cas
 6. Inexistants

78. Proportion de projets nécessitant que vous réalisiez vous-même des plans 2D ?

79. Solutions alors utilisées :

1. Dessin à la main
 2. AutoCAD
 3. ArchiCAD
 4. Revit Architecture
 5. Revit Structure
 6. Revit MEP
 7. WORD
 8. Logiciel métier ==> conversion en PDF
 9. Autre logiciel métier (CFAO...)

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

80. Autre ou détails :

81. Quelles solutions informatiques possédez-vous pour visionner des données de construction 3D ?

1. AutoCAD 2. ArchiCAD
 3. Revit Architecture 4. Revit Structure
 5. Revit MEP 6. SketchUp
 7. PDF 8. Naviswork
 9. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

82. Autre ou détails :

83. Etes-vous équipés pour réaliser vous-même des maquettes 3D lors d'un projet ?

1. AutoCAD 2. ArchiCAD
 3. Revit Architecture 4. Revit Structure
 5. Revit MEP 6. SketchUp
 7. 3DSMax 8. Naviswork
 9. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

84. Autre ou détails :

85. Quelle proportion de projets de rénovation nécessite de travailler en 3D ?

86. Qu'est-ce que la 3D apporte ou pourrait vous apporter ?

- 1. Diminuer les conflits
- 2. Une information à jour
- 3. Plus de réactivité
- 4. Convaincre le client
- 5. Mieux appréhender les difficultés du projet
- 6. Non concerné ou sans intérêt apparent
- 7. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (4 au maximum).

87. Autre ou détail :

La question n'est pertinente que si 3D = "Mieux appréhender les difficultés du projet"

88. Remarques plus générales concernant les logiciels :

89. Modalités d'échanges d'informations avec les clients et les entreprises extérieures ?

- 1. Mail
- 2. Boite à plan
- 3. Clef USB
- 4. Papier
- 5. Réunion
- 6. Téléphone
- 7. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (6 au maximum).

90. Si autre :

91. Eventuelles données atypiques échangées avec les entreprises extérieures et lors de quelles phases du projet ?

92. Modalités d'échanges d'informations (consignes...) en interne ?

- 1. Mail
- 2. Boite à plan
- 3. Clef USB
- 4. Papier
- 5. Réunion
- 6. Téléphone
- 7. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (6 au maximum).

93. Si autre :

94. Eventuelles données atypiques échangées en interne et lors de quelles phases du projet ?

95. Vous arrive-t-il d'utiliser des boîtes (armoire) à plans numériques pour échanger des données avec vos collègues, sur un chantier ?

- 1. Jamais
- 2. - de 20% des cas
- 3. Entre 20 et 50 %
- 4. Entre 50 et 80%
- 5. Toujours

La question n'est pertinente que si Echanges = "Boite à plan"

96. Quelle proportion de chantiers nécessiterait ou serait facilitée par l'utilisation d'internet sur site ?

97. Des routeurs 4G sont-ils parfois déployés sur les chantiers où vous intervenez ? (Proportion)

98. Equipements "numériques" dont vous disposez et que vous utilisez :

- 1. PC fixe
- 2. PC portable
- 3. Tablette
- 4. Système de sauvegarde
- 5. Serveur Informatique
- 6. Smartphone
- 7. Ap photo
- 8. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

99. Autre ou utilisation des photos :

100. Proportion de chantiers au cours desquels certains collaborateurs utilisent des tablettes ?

101. Utilité :

BIM

102. Connaissez-vous le BIM jusqu'à cette rencontre ?

- 1. Oui
- 2. Non

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

103. Quelles sont vos craintes à ce sujet ?

- 1. Coût des licences et pc
- 2. Coûts de formation
- 3. Pertes d'informations
- 4. Temps de formation
- 5. Sécurité des données
- 6. Complexité
- 7. Interlocuteur (coût) supplémentaire pour le relevé de l'existant
- 8. Identité du BIM Manager ?
- 9. Sans crainte particulière
- 10. Ne se sent pas concerné
- 11. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (6 au maximum).

104. Si autre :

105. Quelles sont vos attentes à ce sujet ?

- 1. Amélioration de la précision
- 2. Gains financiers à longs termes
- 3. Moins de gaspillages
- 4. Capitalisation des données
- 5. Moins de conflits
- 6. Moins de changements de la part du client
- 7. Interopérabilité
- 8. Visualiser les répercussions des modifications
- 9. Sans crainte particulière
- 10. Ne se sent pas concerné
- 11. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (7 au maximum).

106. Si autre :

107. Qu'est-ce qui vous inciterait à passer au BIM ?

- 1. Législation
- 2. Opportunité
- 3. Projet/exigences clients
- 4. Recherche de rentabilité
- 5. Aide au développement/expansion de l'entreprise
- 6. Ne se sent pas concerné
- 7. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (6 au maximum).

108. Si autre :

109. Vous serait (est) il envisageable de mutualiser des investissements avec d'autres entreprises "non concurrentes" (formation, matériel, mise en place de procédures de travail ==> Convention BIM) ?

1. Oui 2. Non

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

110. Détails

111. Vous serait (est) il possible d'influencer un client dès la phase de sélection des autres entreprises avant chantier (pour faciliter l'exploitation du BIM) ?

1. Oui 2. Non

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

112. Détails

113. Vos collaborateurs ont-ils un accès et une maîtrise de solutions informatiques ?

1. Oui 2. Non

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

114. Détails

115. L'entreprise possède-t-elle une personne ressource susceptible d'endosser un rôle de coordination, de management de la maquette numérique ?

1. Oui 2. Non

116. Détails

Suites du projet

117. Proposition de 2 Contacts/collègues susceptibles de répondre à ce questionnaire en BFC

118. Souhaitez-vous être mis au courant et/ou participer aux suites du projet ?

1. Oui 2. Non

119. Divers, compléments, questions posées par l'interlocuteur : âge...

Annexe 3 : Liste des entreprises rencontrées

Nom de l'entreprise	Code postal	Ville	Nom de l'interlocuteur	Rôle dans la société	Nombre salariés	Nombre de chantiers / an	Rénovation / neuf	% devis acceptés	CA HT annuel en euros
AUX CUISINES DE MARIE	71 150	CLUNY	M Pierre Yves CORLIER	Dirigeant	2	60	80-100 %	60	entre 250000 et 500000 euros
BECA	71 100	MACON	M Willy BONFY	Dirigeant	6	40	50%	20	entre 250000 et 500000 euros
BERNAUD SEBASTIEN	71 390	BUXY	M Sébastien BERNAUD	Dirigeant	2	60	100%	80	entre 250000 et 500000 euros
BREMAUD	85 120	LA CHATAIGNERAIE	M Stéphane LEFORT	Commercial	170	20 000	80-100 %	30	plus de 2 millions
BRUNO SAS	71 100	CHALON SUR SAONE	M Pascal BRUNO	Dirigeant	14	85	80-100 %	20	1 à 2 millions
BUREAU D'ETUDES BRIERES	74 370	METZ TESSY	M Loïc LE PALLEC	Autre	10	75	moins de 20 %	50	1 à 2 millions
CHARPENTE BERTRAND	71 460	SAINT GENGOUX LE NATIONAL	M Julien BERTRAND	Dirigeant	7	133	50%	40	entre 500000 et 1 million
CLEARD BRICE	71 460	MALAY	M Brice CLEARAD	Autre	1	20	50-80 %	60	moins de 32900 euros
DA SILVA MANUEL	71 240	SENNECEY LE GRAND	M Manuel DA SILVA	Dirigeant	0	150	100%	50	entre 82200 et 250000
DAVID AUGUSTE	71 390	MARCILLY LES BUXY	M David AUGUSTE	Dirigeant	2	75	100%	75	entre 82200 et 250000
EADS ENTREPRISE DA SILVA ALFREDO	71 390	ROSEY	M Alfredo DA SILVA	Dirigeant	2	15	20 à 50 %	70	entre 82200 et 250000
GAMBI-M	30 200	BAGNOLES SUR SEZE	M Christian PERE	Dirigeant	4	4	80-100 %	40	entre 250000 et 500000 euros
GUILLOIN PATRICK	71 460	AMEUGNY	M Patrick GUILLOIN	Dirigeant	0	100	50-80 %	90	entre 33 et 82200 euros
GUILLOTIN PATRICK	71 250	CLUNY	M Patrick GUILLOTIN	Dirigeant	12	175	80-100 %	33	entre 500000 et 1 million
I-TECH-BOIS	71 250	CLUNY	M Thibault CHASTAGNIER	Dirigeant	2	4	100%	10	entre 250000 et 500000 euros
CHRISTOPHE JACOB MAINTENANCE	71 460	SAVIGNY SUR GROSNE	M Christophe JACOB	Dirigeant	0	150	80-100 %	40	entre 82200 et 250000
JEANDIN BATIMENT	71 460	SAINT GENGOUX LE NATIONAL	M Jean JEANDIN	Dirigeant	22	80	50%	50	plus de 2 millions
FIB	21 800	CHEVIGNY SAINT SAUVEUR	M Jérôme DUMONTEI	Commercial	7	200	20 à 50 %	30	1 à 2 millions
LAMBERT	71 460	CORTEVAIX	M Cyril LAMBERT	Dirigeant	10	50	80-100 %	33	entre 500000 et 1 million
MENUISERIE MONTBARBON	71 460	CORMATIN	M Alain MONTBARBON	Dirigeant	4	90	100%	60	entre 250000 et 500000 euros
MICHEL BERTRAND ARCHITECTE	71 250	CLUNY	M Michel BERTRAND	Dirigeant	0	5	100%	50	entre 33 et 82200 euros
MICHEL ROBIN ARCHITECTURE	71 000	MACON	M Saïd BOUNOUADAR	Dirigeant	6	10	50%	90	entre 250000 et 500000 euros
MOLNAR PICCINATO	69 001	LYON	M Pascal PICCINATO	Dirigeant	2	2	80-100 %	3	entre 82200 et 250000
OPAC 71	71 009	MACON	M Philippe RABUEL	Autre	300	1 500	50-80 %		plus de 2 millions
PASCAL GRESSARD SARL	71 250	CLUNY	M Lois RONDIERE	Dirigeant	18	200	50-80 %	50	1 à 2 millions
SARL PICHET	71 250	CLUNY	M Gilles PICHET	Dirigeant	2	200	100%	25	entre 250000 et 500000 euros
PUGEAUT ENTREPRISE	71 100	CHALON SUR SAONE	Sophie et Alain PUGEAUT	Dirigeants	9	250	80-100 %	50	entre 500000 et 1 million
SERRAIN & ASSOCIES	75 008	PARIS	M Jean-François SERRAIN	Dirigeant	25	250	50-80 %	20	plus de 2 millions
CERSOT	71 460	SAVIGNY SUR GROSNE	M Jérémy CERSOT	Dirigeant	0	25	80-100 %	60	entre 33 et 82200 euros
VERONIQUE SURGOT-MEULIEN	21 190	CORPEAU	Mme Sophie DEMORTIERE	Collaborateur	1	30	80-100 %	60	entre 82200 et 250000
ADLCA	39 140	BLETTERANS	M Rémy MAIRE	Dirigeant	20	35	80-100 %	60	entre 250000 et 500000 euros
ELECTRICITE MONTEIL ERIC	71 250	LA VINEUSE	M Eric MONTEIL	Dirigeant	6	650	80-100 %	70	entre 500000 et 1 million
VAGINET (SARL)	71 150	FONTAINES	M Philippe VAGINET	Dirigeant	32	300	50%	50	plus de 2 millions
BUXY ALARME PROTECTION	71 390	BUXY	M Stephane LESPINASSE	Dirigeant	2	175	80-100 %	66	entre 250000 et 500000 euros

Contribution à la mise en œuvre du BIM en rénovation : Proposition d'un Modèle de Maturité BIM spécifique

RESUME : Cette recherche a pour but de répondre à deux impératifs : travailler pour un secteur d'activité porteur économiquement, mais peu étudié scientifiquement : le domaine de la **Rénovation**, et proposer aux acteurs de ce secteur des outils d'accompagnement forts pour leur permettre de réussir leur transition numérique, enjeu majeur du XXI^e siècle. L'état de l'art initial a démontré que, dans un contexte lié à la diffusion d'un Système d'Information tel que le **BIM**, il était indispensable de s'appuyer sur des leviers contribuant à son implantation : les **Facteurs Clés de Succès**, les fondamentaux du **management de projet**, la rédaction de **Conventions BIM**, l'**Approche Intégrée de Projet** et enfin les **Modèles de Maturité**. Pour s'assurer de l'adéquation entre ces différents leviers et les spécificités de la Rénovation, une enquête a été réalisée auprès d'un panel représentatif des *petites entreprises* qui le composent majoritairement. Elle a permis de confirmer l'état peu avancé de ce secteur dans la transition numérique en raison de la taille des structures elles-mêmes et de situations économiques réduisant souvent l'horizon de projection. Les acteurs ne sont, par ailleurs, pas toujours conscients de la nécessité du changement (se satisfaisant généralement de la 2D et de procédés artisanaux) et sont donc peu enclins à investir dans des solutions numériques telles que le BIM. En dépit des réticences qui ont pu être exprimées, la plupart des acteurs ont toutefois bien conscience que pour tirer parti de la transition au lieu de la subir, il faut qu'ils puissent être dotés d'outils d'accompagnement spécifiques à leurs usages et pratiques. Un référentiel permettant de mesurer leur maturité et ensuite de définir de façon réaliste leurs propres objectifs de développement : « **BIM Maturity Model For Renovation** » ou **BiM²FR** a donc été conçu. Le format choisi et la simplicité voulue de mise en œuvre devraient permettre aux *petites entreprises* de facilement caractériser leur situation et d'identifier leurs points faibles et forts, puis d'élaborer les grandes lignes de plans d'action individuels et appropriés à leurs activités. Les facteurs clés de succès étudiés et intégrés en filigrane dans le BiM²FR sont les marqueurs et gages de succès qui permettront aux entreprises de progresser au cours de la mise en œuvre du BIM. Pour élargir la portée de ce travail, une interface WEB libre permettant aux entreprises d'effectuer leur diagnostic de maturité BIM, a été développée. Le site www.BiM2FR.eu, outre l'aide qu'il peut apporter aux entreprises, offre, par l'intermédiaire des données collectées et échangées, un grand nombre de perspectives de recherches.

Mots clés : Building Information Modeling (BIM), Rénovation, Modèle de Maturité, Facteurs Clés de Succès, *Microentreprise, Petite Entreprise.*

Contribution to the implementation of BIM in renovation: Proposal of a BIM specific Maturity Model

ABSTRACT: This research aims to answer two imperatives: 1) promote an economically promising sector, **Renovation**, that has not been subject to much scientific study; and 2) offer companies in this sector useful tools to help them succeed in their digital transition, a major challenge of the 21st century. When it comes to disseminating an Information System such as BIM, it is essential to use levers that enhance its implementation: the **Critical Success Factor**, fundamentals of **Project Management**, drafting **BIM Execution Plans**, an **Integrated Project Delivery** approach and **Maturity Models**. To ensure the right fit between these different levers and the specific needs of the Renovation segment, we conducted a survey with a representative panel of *small enterprises*, predominant in this sector. This survey confirmed that the sector is still in the early days of digital transition due to the small size of companies and economic situations that often reduce visibility and the ability to make long-term investment decisions. Small renovation firms are not always aware of the need for change (they are generally satisfied with 2D drawings and artisanal processes) and are therefore reluctant to invest in digital solutions such as BIM. In spite of this, most stakeholders are aware that in order to benefit from the transition or risk being left behind, they must find support in tools specific to their uses and practices. To measure their maturity and then realistically define their own development objectives, we therefore developed a "**BIM Maturity Model for Renovation**" or **BiM²FR**. The format and ease of implementation should enable *small enterprises* to identify their situation, emphasize their strengths and weaknesses, and then outline individual action plans suited to their activities. The Critical Success Factors analyzed and presented within BiM²FR should guarantee successful progress as companies implement BIM. In order to broaden the scope of this work, we created a free web interface for companies to make their own BIM maturity diagnosis. The site www.BiM2FR.eu, in addition to helping these companies, offers us, through the data collected and exchanged, a large number of research opportunities.

Keywords : Building Information Modeling (BIM), Renovation, Maturity Model, Critical Success Factor, *Micro enterprise, Small enterprise.*