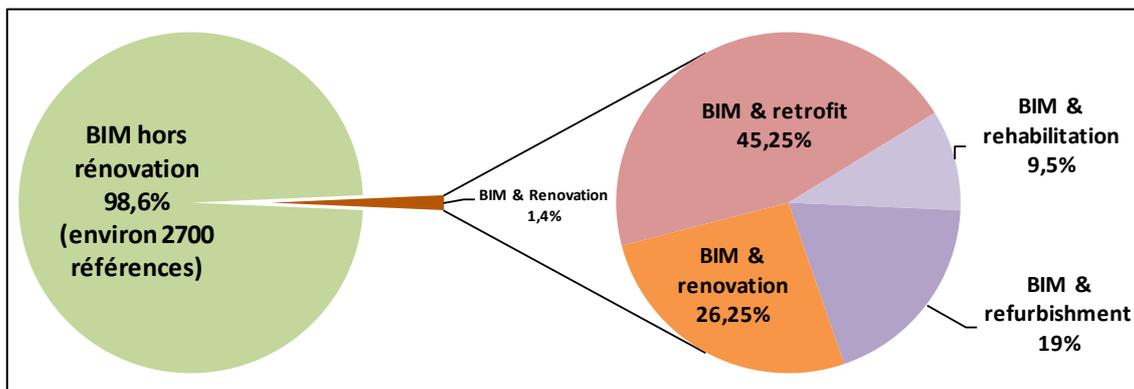


# Adéquation BIM/Rénovation ? Niveau d'avancement du secteur pour l'implantation et l'utilisation du BIM

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 Structure<sup>12</sup> (WBS) défini, par exemple, par le Project Management Institute (Snyder, 2014).
- [4D] Gains liés à la 4D<sup>13</sup>.
- [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.

---

<sup>12</sup> **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.

<sup>13</sup> **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 :

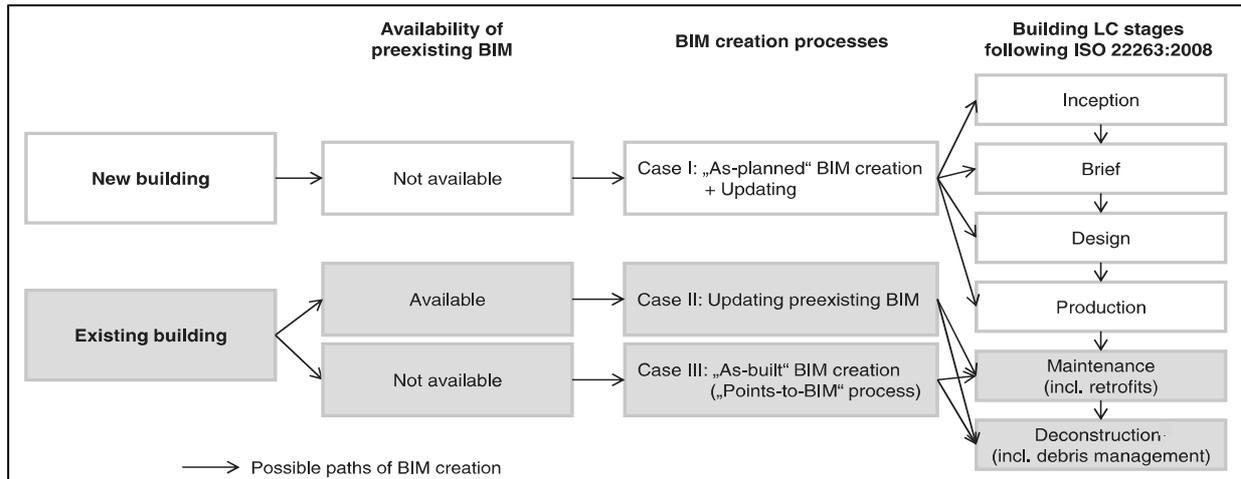
- des coûts de projet de plusieurs centaines de millions d'euros pour le premier ;
- des typologies d'entreprises non représentatives (une entreprise de 4 000 employés aux Pays-Bas pour l'étude d'Hartmann *et al.* et seulement 23 % de petites entreprises ont été interrogées dans la deuxième étude de 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 €/m<sup>2</sup> en construction pour les entreprises et de 2,3 €/m<sup>2</sup>/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](http://buildingsmart.org), [nationalbimstandard.org](http://nationalbimstandard.org) ou [mediaconstruct.fr](http://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.

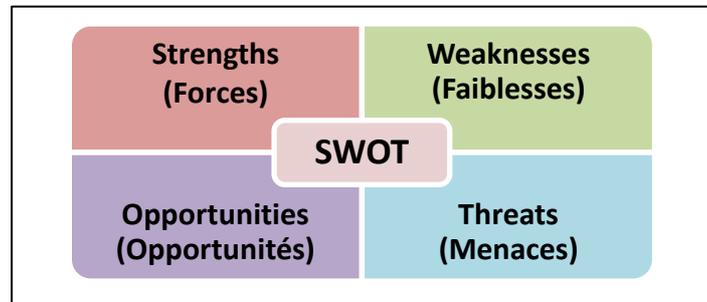
Conscient du retard pris par le secteur de la rénovation, le Ministère français du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité, tente d'inverser la tendance. Pour faciliter l'accès au numérique pour les *microentreprises*, il a lancé un *Recensement d'Initiatives* concernant le *carnet numérique 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.**

<b>Forces des entreprises</b>
Étude mettant en évidence l'ouverture et le souhait de certaines PME d'acquérir de nouvelles compétences (Mellon et Kouider, 2014)
<b>Compétences métier et parts de marché importantes</b> (Joblot, Deneux, <i>et al.</i> , 2017)
<b>Menaces existantes</b>
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)
<b>Manque de maturité BIM pour une adoption complète dans des projets de remise à neuf</b> (Khaddaj et Srour, 2016)
<b>Taux élevé de défaillances d'entreprises au sein du secteur</b> (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)
<b>Manque d'études sur le BIM dans les microentreprises et en rénovation</b> (Santos, Costa et Grilo, 2017) (Joblot, Paviot, <i>et al.</i> , 2017)
<b>Risque de disparition sans une évolution vers le BIM</b> (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017)
<b>Procédures manuelles laborieuses et coûteuses et risques d'erreurs lors de la modélisation à partir de nuages de points</b> (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)
<b>Force du travail collectif et intérêt des notions d'alliance</b> (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)
<b>Constructions actuelles et futures construites en BIM à rénover à terme</b> (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)
<b>Surveillance / gestion / maintenance des équipements et des installations à l'aide de capteurs intégrés</b> (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)
<b>Facilitation d'une prise de décision très en amont lors de la rénovation de logements</b> (Kim et Park, 2016) (Gholami <i>et al.</i> , 2013b)
<b>Facilitation des processus de rénovation durable</b> (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)
<b>« 80 % des coûts d'exploitation, de maintenance et de remplacement d'un bâtiment sont déterminés dans les premiers 20 % du processus de conception »</b> (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
<b>Absence de normalisation</b> (Ghosh <i>et al.</i> , 2011) (Mohd <i>et al.</i> , 2016)
<b>Taux de productivité faible stagnant</b> (INSEE, 2017b)
<b>Résistance culturelle au changement</b> (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)
<b>Ascendant psychologique des coûts de mise en œuvre immédiats sur les avantages</b> (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
<b>Manque de capitaux pour investir et utiliser le matériel et les logiciels appropriés</b> (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)
<b>BIM jugé trop risqué d'un point de vue de la responsabilité pour justifier son utilisation</b> (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)
<b>Forte implication des architectes : nouveaux rôles et nouvelles rétributions à prendre en considération</b> (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)
<b>Efforts requis difficiles pour les microentreprises</b> (Harty, Kouider et Paterson, 2015) (Khaddaj et Srouf, 2016)
<b>Absence d'une stratégie BIM nationale ou professionnelle claire et cohérente</b> (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
<b>Très peu d'indicateurs, de standards ou de procédures normalisées. Besoins de mise à niveau des systèmes d'assurance qualité</b> (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2016)
<b>Peu de plans 2D et des logiciels de dessin dédiés</b> (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)
<b>Difficultés à gérer de nombreux imprévus lors des chantiers</b> (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)
<b>Difficultés à se projeter dans un contexte économique difficile où la survie des entreprises est parfois la seule priorité</b> (Khosrowshahi et Arayici, 2012) (Harty, Kouider et Paterson, 2015)
<b>Pas de stratégie de mise en œuvre pour les PME</b> (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)
<b>Génération de bénéfices grâce au BIM uniquement auprès des grands groupes qui en sont les principaux utilisateurs</b> (Ghaffarianhoseini <i>et al.</i> , 2017)
<b>Pas de familiarité avec le BIM pour la plupart des personnes interrogées</b> (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 Métiers<sup>14</sup> 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,

---

<sup>14</sup> **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.

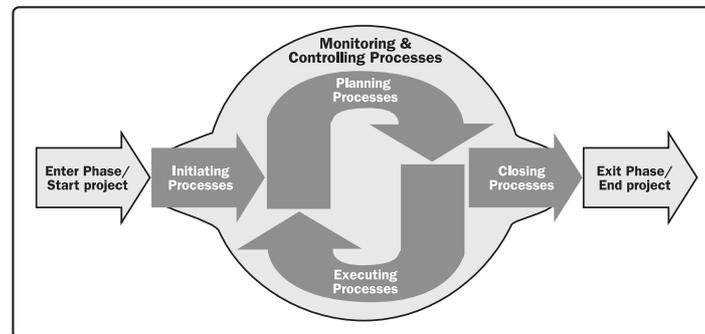
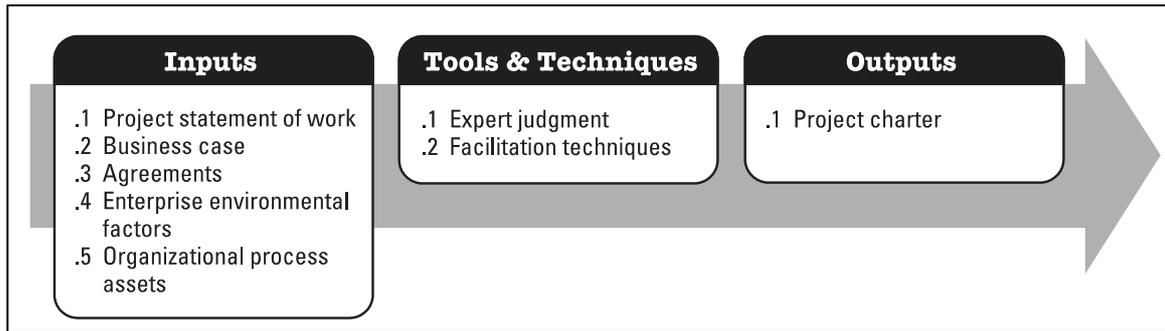


Figure 14: Groupes de processus de management de projet selon le Guide PMBOK (®)

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).

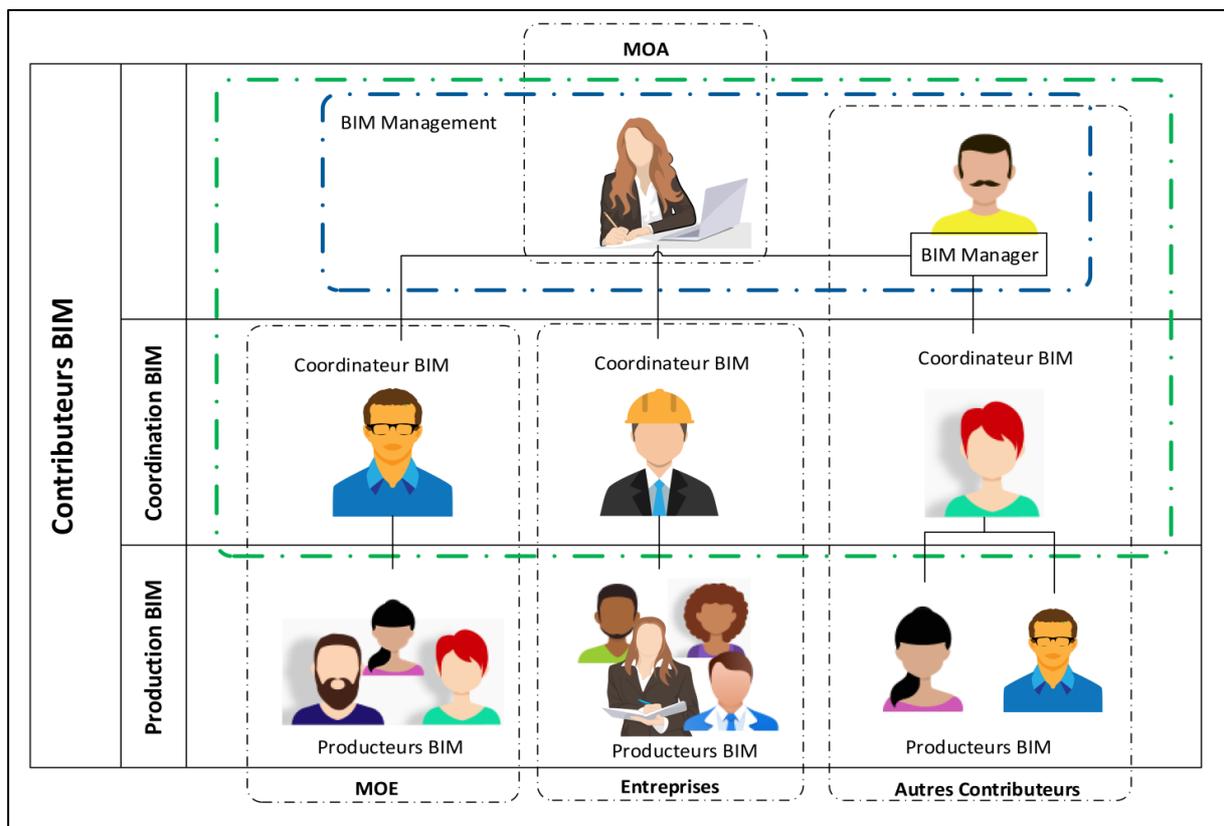


Figure 16 : Répartition des rôles et fonctionnement des équipes au sein d'un projet collaboratif BIM inspiré de Mediaconstruct

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>	Mahamadu <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 Siredey<sup>15</sup>, 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.

---

<sup>15</sup> 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	<b>Propreté et ordre</b>	<b>5S<sup>16</sup></b>
	Juste à temps	
	Outil des technologies de l'information	<b>BIM</b>
	Pré fabrication	
Contrôle de projet et planification (processus)	<b>« Last Planner »</b>	<b>LPS</b>
	Autocontrôle	
	Jalons	Gestion de projet
Fin de focalisation sur le client	<b>Intégration des entrepreneurs dès la phase d'ingénierie</b>	<b>IPD</b>
	Appel d'offres restreint intégrant des paramètres généraux (ex : performance SSE des entrepreneurs)	
Amélioration continue	<b>Contrats et perspectives à long terme</b>	
	<b>Mise en place d'indicateurs de performances</b>	
	Encourager la résolution de problèmes et l'innovation de la part des employés	
	<b>Formation</b> de toutes les parties prenantes	
Relation de coopération	<b>Utilisation d'outils collaboratifs</b>	<b>BIM</b>
	<b>Partage des gains et craintes</b>	<b>IPD</b>
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.

<sup>16</sup> **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 Pourquoi<sup>17</sup>), 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.

---

<sup>17</sup> **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.

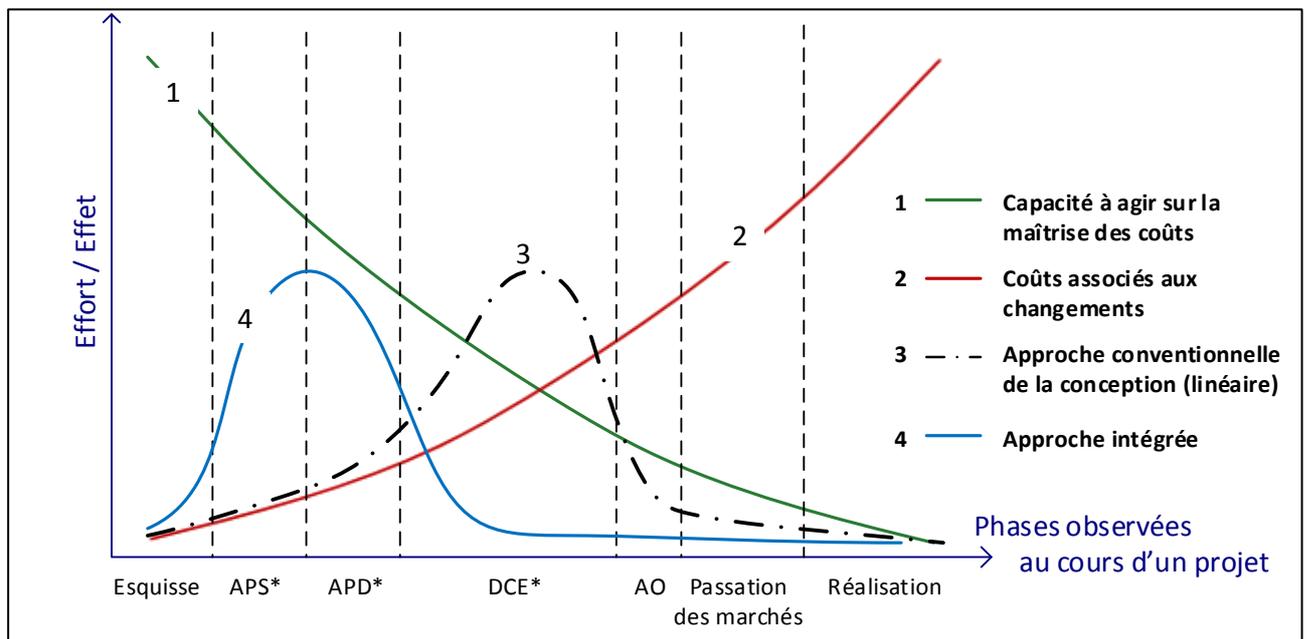


Figure 17 : Processus de conception intégrée (Inspiré de l'IPD (AIA, 2007))

\***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).

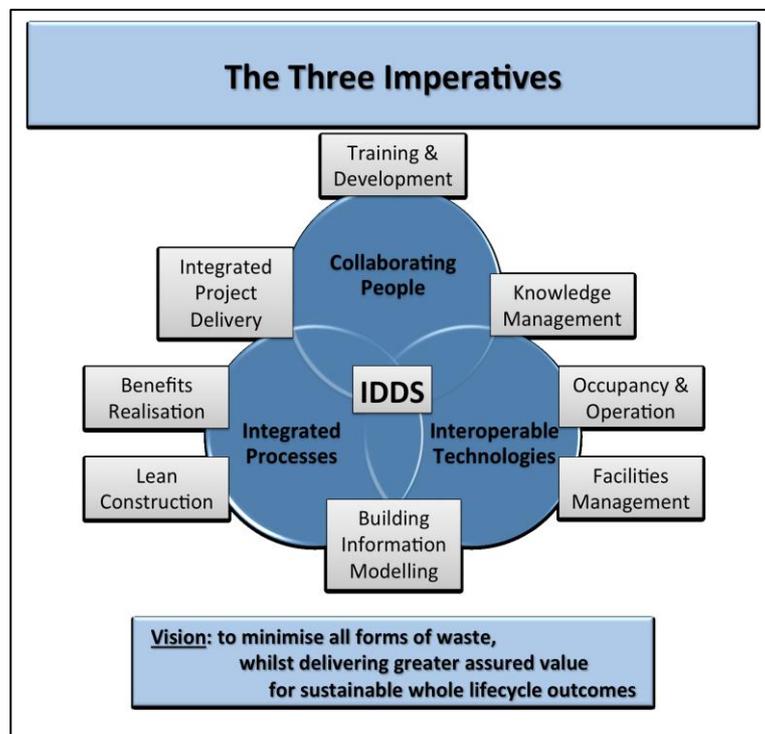


Figure 18 : Concept IDDS (Integrated Design and Delivery Solutions) proposé par le CIB

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 enquête<sup>18</sup>, 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).*

---

<sup>18</sup> 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**<sup>19</sup>. 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.

---

<sup>19</sup> 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

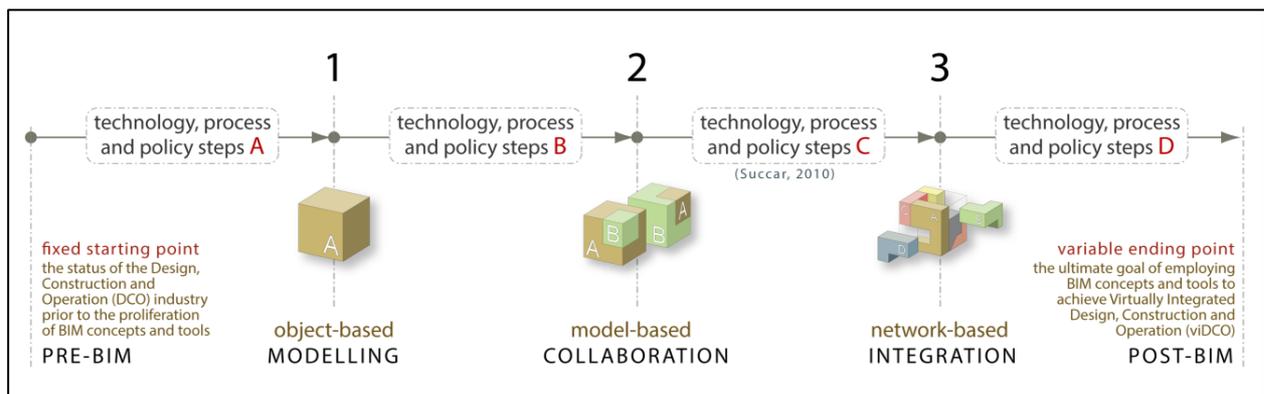
phases BIM comprennent des composantes technologiques, stratégiques et liées aux processus, et sont définies par :

- *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** (BiM<sup>2</sup>FR) que nous proposons, sont par conséquent, détaillés dans le Chapitre 4.

### 2.5.7.3 Modèles, contenus et sources d'inspiration du BiM<sup>2</sup>FR 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'étude<sup>20</sup> ;
- 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 **BIM<sup>3</sup> (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 BIM<sup>3</sup> 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

---

<sup>20</sup> 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 BiM<sup>2</sup>FR, 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 BiM<sup>2</sup>FR.
- 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 BiM<sup>2</sup>FR, 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 **BiM<sup>2</sup>FR**, Modèle de Maturité destiné à la rénovation présenté ensuite au Chapitre 4.

