



HAL
open science

Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction.

Emilien Cristia

► **To cite this version:**

Emilien Cristia. Projet architectural et maquette numérique BIM : Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction.. Architectures Matérielles [cs.AR]. HESAM Université, 2020. Français. NNT : 2020HESAC037 . tel-03710313

HAL Id: tel-03710313

<https://theses.hal.science/tel-03710313>

Submitted on 30 Jun 2022

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

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

ÉCOLE DOCTORALE Abbé-Grégoire

Laboratoire de Modélisations pour l'Assistance à l'Activité Cognitive de la Conception

THÈSE

présentée par : **Emilien CRISTIA**
soutenue le : **jeudi 12 novembre 2020**

pour obtenir le grade de : **Docteur d'HESAM Université**

préparée au : **Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline : **Section CNU 18**

Spécialité : **Architecture (ses théories et ses pratiques)**

Projet architectural et maquette numérique BIM
Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction

THÈSE dirigée par :

M. Guéna François Professeur des écoles d'architecture, ENSA Paris la Villette

et co-dirigée par :

M. Zalio Pierre-Paul Professeur des Universités, ENS Paris Saclay

Jury

M. François GUENA	Professeur des écoles d'architecture, HDR, ENSA Paris La-Villette	Directeur
M. Pierre-Paul ZALIO	Professeur des Universités, HDR, ENS Paris-Saclay	Co-directeur
Mme. Patrizia LAUDATI	Professeure des Universités, HDR, Université Côte d'Azur	Présidente
M. Gilles HALIN	Maître de Conférences, HDR, Université de Lorraine	Rapporteur
Mme. Véronique BIAU	Architecte-Urbaniste en chef de l'Etat, HDR, ENSA Paris La-Villette	Examinatrice
Mme. Anne LEFEBVRE	Maître de Conférences, ENS Paris-Saclay	Examinatrice

Affidavit

Je soussigné, Emilien Cristia, déclare par la présente que le travail présenté dans ce manuscrit est mon propre travail, réalisé sous la direction scientifique de François Guéna directeur et de Pierre-Paul Zalio (co-directeur), dans le respect des principes d'honnêteté, d'intégrité et de responsabilité inhérents à la mission de recherche. Les travaux de recherche et la rédaction de ce manuscrit ont été réalisés dans le respect de la charte nationale de déontologie des métiers de la recherche. Ce travail n'a pas été précédemment soumis en France ou à l'étranger dans une version identique ou similaire à un organisme examinateur.

Fait à Paris, le 06 Avril 2022

Signature

Emilien Cristia

Affidavit

I, undersigned, Emilien Cristia, hereby declare that the work presented in this manuscript is my own work, carried out under the scientific direction of François Guéna (thesis director) and of Pierre-Paul Zalio (co-thesis director), in accordance with the principles of honesty, integrity and responsibility inherent to the research mission. The research work and the writing of this manuscript have been carried out in compliance with the French charter for Research Integrity. This work has not been submitted previously either in France or abroad in the same or in a similar version to any other examination body.

Paris, April 6th 2022

Signature

Emilien Cristia

à Joël Sakarovitch et Bernard Stiegler pour la confiance qu'ils m'ont accordée. Ils m'ont permis de
bifurquer avec sérénité dans mon parcours professionnel.

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur François Guéna, Professeur des Écoles d'architecture à l'ENSA Paris La Villette, qui m'a accueilli au sein de son laboratoire et a dirigé avec une grande qualité et bienveillance cette thèse. Je lui suis très reconnaissant pour sa confiance, la réelle liberté de travail et d'expérimentation qu'il m'a offert ainsi que sa grande disponibilité.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Pierre-Paul Zalio, Professeur des Universités à l'ENS Paris-Saclay, qui a co-dirigé cette thèse. Le regard qu'il a porté sur mon travail et ses conseils ont été stimulants et d'une grande richesse intellectuelle me permettant notamment d'appréhender le champ de la sociologie que je découvrais avec davantage d'assurance. Je souhaite aussi le remercier pour son aide et implication concernant la réalisation et la conduite du travail de terrain.

Ce travail a été soutenu par l'École Normale Supérieure de Paris-Saclay, à qui je suis reconnaissant de m'avoir accordé un contrat doctoral de trois ans me permettant de réaliser cette recherche dans des conditions optimales.

J'adresse tous mes remerciements à Madame Patrizia Laudati, Professeure à l'Université Côte d'Azur, ainsi qu'à Monsieur Gilles Halin, Maître de Conférences à l'Université de Lorraine, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être les rapporteurs.rices de cette thèse.

J'exprime aussi ma gratitude à Madame Véronique Biau, Architecte-Urbaniste en chef de l'Etat et à Madame Anne Lefebvre, Maître de Conférences à l'ENS Paris-Saclay, qui ont bien voulu être examinatrices de cette thèse.

Je souhaite remercier sincèrement l'ensemble des personnes que j'ai pu rencontrer au sein et en

dehors de mon terrain de recherche. Plus particulièrement je souhaite remercier celles et ceux qui ont consacré de leur temps pour répondre à mes questions car sans eux une grande partie de cette thèse n'aurait pas pu voir le jour.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du laboratoire MAP-MAACC pour leur accueil chaleureux et le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de ces années de thèse.

Ce travail a été relu et corrigé à maintes reprises par ma mère à qui j'adresse mes remerciements.

Enfin, je remercie Alison pour tout et plus.

Résumé

La démarche BIM est devenue une nécessité pour le secteur du bâtiment impliquant en particulier la fabrication d'un nouvel objet technique : la maquette numérique. Cette recherche doctorale s'intéresse à ce nouvel impératif de fabrication et à ses effets sur la réorganisation de l'acte de construire, la reconfiguration des pratiques de coordination et de conception collective entre les professionnels de la construction ainsi qu'à la redéfinition des frontières théoriques du projet architectural. Notre travail s'appuie sur une enquête ethnographique menée au sein d'un Grand Projet d'École notamment reconnu pour sa forte implication dans la démarche BIM. C'est au cœur de la phase chantier de ce projet, lors des réunions de synthèse d'exécution, entre les acteurs et les objets, que s'ancre cette investigation. L'analyse du matériel empirique principalement constitué d'observations et d'entretiens menés avec les acteurs du projet (architectes, ingénieurs, maître d'ouvrages, BIM managers, entreprises de construction, entreprise de service informatique), nous permet de comprendre les différentes réorganisations pratiques liées à la fabrication collective d'une maquette numérique. Ce travail nous permet aussi d'esquisser les perspectives de nouvelles pratiques numériques de projet et à préfigurer une évolution théorique des nouvelles limites du projet architectural.

mots-clés : fabrication d'une maquette numérique ; chantier de construction ; pratiques professionnelles ; synthèse d'exécution ; objet-frontière ; théorie architecturale

Abstract

The BIM approach has become a necessity for the building sector involving the realization of a new technical object : the digital model. The research is focused on the new manufacturing of this object and its practical effects on the way to build, the reconfiguration of coordination practices and collective design between construction professionals. We also attempted to draw a new definition of theoretical boundaries of the architectural project. Our work is based on an ethnographic investigation carried out within a Major School Project recognized for its strong involvement in the BIM process. Our investigation takes place on the heart of the construction phase of this project, during the execution summary meetings, between actors and objects. The analysis of this material mainly composed by observations and interviews carried out with the project stakeholders (architects, engineers, project owners, BIM managers, construction companies, IT service company), allows us to understand the different practical reorganizations linked to the collective production of this new digital model. This work also allows us to outline the perspectives of new digital project practices and to prefigure a theoretical evolution of the limits of the traditional architectural project.

keywords : digital model fabrication ; construction site ; professional practices ; BIM coordination meeting ; boundary object ; architectural theory

Table des matières

Remerciements	5
Résumé	9
Abstract	11
Liste des tableaux	16
Liste des figures	19
Introduction	21
Conduire une recherche en architecture	22
Le <i>Grand Projet d'École</i> comme terrain d'investigation	24
Méthodologie : enquêter sur le BIM et la maquette numérique	27
Observer	31
Interviewer	33
La construction du récit	34
1 Irruption BIM : comprendre un nouveau paysage	35
Introduction	36
1.1 Dissiper les incompréhensions autour du BIM et de la maquette numérique	37
1.1.1 Définitions et sémantique	37
1.2 Un nouveau type de maquette numérique	42

1.2.1	La maquette numérique BIM et ses informations	42
1.2.2	La maquette numérique BIM : une nouvelle typologie de maquettes	46
1.2.3	La maquette numérique : un objet pluriel	49
1.3	Cadrage historique : l'introduction du BIM et de la maquette numérique au secteur de la construction.	54
1.4	Les acteurs clés du développement des projets BIM	58
1.4.1	Les politiques publiques face aux enjeux BIM	58
1.4.2	Le rôle des médias	59
1.4.3	Le rôle particulier des maîtres d'ouvrages publics	69
1.4.4	Le secteur du BTP et ses entreprises	78
1.4.5	Les agences d'architecture	84
	Conclusion	88
2	Une maquette numérique au cœur d'un chantier : la construction du <i>Grand Projet d'École</i>	91
	Introduction	92
2.1	Considérer l'élaboration d'une maquette numérique	93
2.1.1	Un objet « en train de se faire »	93
2.1.2	Les non-humains, acteurs du projet	94
2.1.3	La coordination comme activité de conception collective	96
2.2	La réunion de synthèse : un espace-temps privilégié de coordination	98
2.2.1	Structurer la synthèse BIM autour d'une équipe spécialisée	103
2.2.2	Les temporalités de la synthèse : entre co-conception et conception distribuée	105
2.2.3	Le processus de la synthèse BIM	107
2.3	Le rôle des non-humains dans l'activité de synthèse	119
2.3.1	Le logiciel BIM	119
2.3.2	La plateforme de Gestion Électronique de Documents (GED)	123
2.3.3	L'add-on Revit®	125

2.3.4	Le VISA BIM	128
2.4	Le rôle des acteurs humains impliqués dans la synthèse	130
2.4.1	Les membres de l'équipe de synthèse	130
2.4.2	Les entreprises de construction	135
2.4.3	Le cas particulier des BIM managers	137
	Conclusion	145
3	Les effets observables de la maquette numérique en réunion de synthèse	147
	Introduction	148
3.1	Récolter les indices révélateurs de la fabrication d'une maquette numérique	150
3.2	Analyser la transformation des réunions synthèse	164
3.2.1	La maquette synthèse : entre objet-intermédiaire et objet-frontière	164
3.2.2	Retour sur le déroulement des réunions sans maquette numérique	167
3.2.3	La vidéoprojection de la maquette synthèse : un nouveau support de conception collective	169
3.3	Les effets pratiques de l'utilisation de la maquette synthèse sur la coordination des réunions	170
3.3.1	La réorganisation spatiale des réunions de synthèse	170
3.3.2	Le changement du point de vue sur le projet	172
3.4	Coordonner les acteurs du projet grâce à l'immersion dans la maquette synthèse	175
3.4.1	La maquette synthèse comme objet-frontière	175
3.4.2	La fabrication collective de la maquette synthèse	176
3.4.3	La couleur comme outil de repérage spatial dans la maquette synthèse	178
3.4.4	Les couleurs comme outil d'identification des professionnels du projet	180
3.4.5	S'approprier le projet en « volant » dans la maquette synthèse	183
	Conclusion	191
4	Construire une maquette numérique entre évolution des pratiques, redéfinition du projet ar-	

chitectural et perspectives urbaines	193
Introduction	194
4.1 Les apprentissages pour les architectes	196
4.1.1 Les enseignements autour de la démarche BIM	196
4.1.2 Être architecte et informaticien	199
4.1.3 Comprendre et organiser des données numériques	206
4.1.4 Les contraintes de la conception collective	210
4.2 Les entreprises de construction face à la production de maquettes numériques	215
4.2.1 Les effets de la sous-traitance BIM	220
4.2.2 La production de maquettes numériques : entre coût et qualité	227
4.2.3 Jouer le « jeu du BIM » : stratégies et négociations	229
4.3 La maquette numérique : un objet « vivant » qui redéfinit les limites du projet architectural	233
4.3.1 Passer d'un objet technique à un projet numérique	237
4.3.2 Le projet BIM : un « <i>projet double</i> » à la temporalité raccourcie	240
4.3.3 La concurrence entre les objets produits par le « <i>projet double</i> »	245
4.4 De l'exploitation-maintenance à la smartcity	253
Conclusion	259
Conclusion	261
Les enseignements de la thèse	262
Vers de nouvelles perspectives de recherche	270
Bibliographie	273

Table des figures

1	A gauche : Concentration des publications scientifiques BIM en fonction des phases d'un projet. A droite : Répartition des publications scientifiques BIM par pays.	27
1.1	Schématisation des propriétés d'une maquette numérique.	43
1.2	Niveaux de maturité BIM basés sur une échelle allant de 0 à 3.	46
1.3	A gauche : photo du cockpit d'un avion A400M, Airbus. A droite : maquette numérique du cockpit de l'A400M.	55
1.4	Couverture du magazine Moniteur de septembre 2015.	60
1.5	Les principaux Prix d'architecture.	61
1.6	En haut : trophée de l'Equerre d'Argent. En bas : trophée du BIM d'Or.	62
1.7	Exemple de Prix BIM trouvés sur Google image avec les mots clés : « <i>BIM Trophy</i> ».. . . .	63
1.8	Évolution des montants totaux de travaux (en millions d'euros) par type de maître d'ouvrage, 2007-2016	70
1.9	Avantage de la prise en compte de l'exploitation pour l'exemple d'une verrière.	73
1.10	En haut : répartition moyenne des coûts sur le cycle de vie d'un bâtiment. En bas : projection des répartitions sur 50 ans en première approche (APD).	74
1.11	Exemple de livrables proposés par Habitat 76.	78
1.12	Pancarte publicitaire d'un stand du BIM World 2018	79
1.13	Extraits de la vidéo <i>A New Way to Build</i> explicitant l'automatisation des processus de construction vue par l'entreprise Katerra	82
1.14	Exemple d'un « <i>BIM price calculator</i> ».	83
1.15	Nombre d'employés par entreprise d'architecture en France.	85

2.1	Page d'accueil du site web d'une entreprise spécialisée dans le management, la synthèse et la modélisation BIM.	100
2.2	Schématisation « en fleur » de l'organisation des échanges entre les entreprises et maîtrise d'œuvre.	104
2.3	Schématisation du processus de synthèse dans la temporalité du projet.	106
2.4	Étape 1 : Production de la maquette PRO par la MOE et dépôt sur le serveur.	108
2.5	Étape 2 : Production des maquettes métiers par les entreprises.	109
2.6	Étape 3 : Les entreprises déposent leurs maquettes métiers sur la GED.	110
2.7	Étape 4 : La cellule synthèse vérifie l'intégrité des maquettes et assemble la maquette synthèse.	112
2.8	Exemple de représentation d'un clash de modélisation	115
2.9	Étape 5 : Les décisions techniques et architecturales se font en réunion de synthèse en s'appuyant sur la maquette synthèse et les plans extraits.	116
2.10	Exemple de représentations d'une maquette synthèse et des maquettes métiers : maquette gros œuvre (jaune), maquette lot intérieur (bleu), maquette CVC (rouge) et maquette façade (vert)	118
2.11	Grille de salaires produite par l'entreprise Highline.	144
3.1	Le chantier du <i>Grand Projet d'École</i> , été 2017.	151
3.2	Exemple de traces orales conservées et retranscrites (le reste des notes ayant été anonymisé)	153
3.3	Mise en évidence sur un plan des clashes entre différents lots grâce aux extraits de maquette.156	
3.4	A gauche : extrait de compte-rendu montrant un problème d'interface entre maquettes métiers. A droite : extrait d'un compte rendu montrant un oubli de détail technique dans la modélisation d'une maquette métier.	157
3.5	Le fusil photographique de Marey utilisé pour décomposer le mouvement du vol d'une mouette (1882).	159
3.6	Extrait de carnets de terrain : cartographie des acteurs utilisant un ordinateur en réunion.160	

3.7	Exemple de réunion : mai 1944, les soldats américains sont en plein « <i>tent briefing</i> », dans le sud de l'Angleterre.	162
3.8	Croquis du ré-agencement spatial de la réunion de synthèse technique.	162
3.9	Réunion de synthèse technique menée avec une maquette synthèse projetée.	163
3.10	Les acteurs humains de la réunion de synthèse.	166
3.11	Les acteurs non-humains de la réunion de synthèse.	166
3.12	Le plan de synthèse est « coincé » entre l'ordinateur et le coordinateur de la réunion. . .	171
3.13	Exemple de situation de travail avec une maquette projetée.	172
3.14	Situation de réunion où un acteur pilote sa maquette métier.	174
3.15	Compilation d'une maquette synthèse avec quatre maquettes métiers réalisée sous Tekla [®] . Visualisations en plages de gris.	179
3.16	Compilation d'une maquette synthèse avec quatre maquettes métiers réalisée sous Tekla [®] . Visualisations avec une couleur par corps de métier.	179
3.17	Le porte-parole d'une entreprise commande le pilotage de la maquette synthèse et effectue un « <i>diagnostic spontané</i> » relatif à son corps de métier.	188
3.18	1) Liste des maquettes métiers chargées; 2) Écran de navigation dans la maquette synthèse; 3) Barre de raccourcis vers les plages de vues préenregistrées; 4) Liste des objets présents	189
3.19	Le porte-parole d'une entreprise apporte son expertise sur une problématique technique.	190
4.1	Critère d'éligibilité pour les certificats BIM du buildingSMART Korea.	197
4.2	Exemple d'agencements spatiaux générés automatiquement grâce aux pratiques des <i>generativ design</i>	205
4.3	Schématisation du dédoublement du projet architectural.	240
4.4	Schématisation des effets de la démarche BIM : la temporalité du projet.	243

Introduction

Conduire une recherche en architecture

Ce travail de thèse se donne pour objectif de produire de nouvelles connaissances liées à l'architecture dans le contexte spécifique d'un projet BIM¹. Face à la perspective d'obtenir un doctorat en architecture, il convient de rappeler que ce diplôme est encore jeune et les paramètres liés à son élaboration ou son contenu restent encore largement débattus aujourd'hui. En France, il faudrait certainement revenir sur les événements de mai 68 pour comprendre les circonstances dans lesquelles s'est opérée la refonte de l'enseignement, puis de la recherche en architecture (Denès, 1999; Violeau, 2005). Les établissements d'enseignement de l'architecture adoptent historiquement une école de pensée qui vise à former des architectes praticiens et qui considère aujourd'hui former « aux métiers de l'architecture », soulignant ainsi la pluralité professions de l'architecture. Par ailleurs, rappelons qu'en France, les écoles d'architecture sont sous tutelle du Ministère de la Culture (MC) et non pas du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). Depuis 2005, date de création du doctorat en architecture, on constate un rapprochement significatif entre enseignement et recherche architecturale. D'ailleurs, en février 2018, le statut d'enseignant-chercheur rattaché au MC a été créé ce qui a pour effet d'intégrer et de reconnaître officiellement l'existence d'un pendant recherche à l'architecture et son enseignement.

Enfin, concernant la création d'un doctorat en architecture, remarquons que de nombreux débats ont animé la communauté des architectes ces quinze dernières années (Devisme & Tsiomis, 2012; Garric & Thibault, 2014; MCC, 2005). Lors d'un colloque organisé en 2015 sur le sujet au Collège de France, l'ancien chef du BRAUP² au MC déclarait en s'appuyant sur une étude qu'il avait commanditée : « *l'architecture reste totalement absente aussi bien de la galaxie des sciences exactes que de la galaxie des sciences humaines* » (Mantziaras, 2015). L'exposé de Panos Mantziaras démontrait que le nombre de publications issues de la discipline architecturale était largement inférieur au nombre de publications de chacune des autres disciplines de recherche. Dès lors, ce travail doctoral entend donc participer à la création de connaissance dans la discipline architecturale.

Il convient ensuite d'assumer que cette étude, son sujet et la manière dont elle a été abordée revêt un caractère prospectif pour le jeune architecte que je suis. Ce travail a effectivement été envisagé comme un moyen de me projeter dans une pratique professionnelle toujours en construction. D'ailleurs,

1. Building Information Model/Modeling/Management

2. Bureau de la Recherche Architecturale, Urbaine et Paysagère

au début de cette recherche, il faut avouer que je n'étais que très peu familier du numérique et à plus forte raison de la démarche BIM. Aussi, de façon assez similaire à Lucien Kroll lorsqu'il évoque son utilisation du logiciel *Paysage* je pourrais, moi aussi avouer : « *le numérique ne m'a jamais attiré, mais l'occasion s'est présentée et je m'y suis plongé* » ((Kroll, 1980, p. 97) cité par (Bouchain & Lieu unique (Arts center), 2013, p. 172)). L'entrée dans cette thèse ne s'est donc pas faite par une forme de fascination ou familiarité pour la démarche BIM mais au contraire avec une certaine distanciation critique. Cela explique d'ailleurs certaines difficultés de l'entreprise mais cette recherche avait aussi pour objectif de me permettre de reconsidérer mes préjugés à l'égard d'un univers numérique auquel tous les architectes sont dorénavant confrontés. De plus, comme le rappelle l'architecte et enseignant Luca Merlini : « *construire une démarche a autant d'importance que construire un bâtiment* » (Merlini, 2017). Dès lors, je considérerai qu'il devenait indispensable, pour construire une démarche architecturale contemporaine et sensée, de pouvoir comprendre avec précision les enjeux numériques et la démarche BIM en particulier. Ce travail de thèse a donc été envisagé comme un moyen de prendre le temps et la mesure des tensions et des contradictions qui traversent actuellement les métiers de l'architecture. La posture adoptée dans cette recherche fait alors sens puisque j'envisage comme perspective professionnelle d'être architecte praticien et de postuler pour devenir maître de conférences dans le champ TPCAU³.

Enfin, d'un point de vue pratique, ce travail a bénéficié d'un encadrement académique double. D'une part auprès de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris la-Villette et du laboratoire MAP-MAACC⁴ de l'UMR CNRS 3495. Et d'autre part, auprès de l'Ecole Normale Supérieure de Paris-Saclay⁵ et du laboratoire IDHES⁶ de l'UMR CNRS 8533. Il faut aussi préciser que ce travail de recherche a été lauréat d'un contrat doctoral spécifique pour normalien délivré par l'Ecole Normale Supérieure de Paris-Saclay et a permis le financement des travaux pour une durée de trente six mois.

3. Théories et Pratiques de la Conception Architecturale et Urbaine

4. Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine - Modélisation pour l'Assistance à l'Activité Cognitive de la Conception

5. Anciennement appelée Ecole Normale Supérieure de Cachan

6. Institutions et Dynamiques Historiques de l'Économie et de la Société

***Le Grand Projet d'École* comme terrain d'investigation**

Ce n'est plus une nouveauté : les technologies numériques innervent chaque jour un peu plus notre quotidien et conditionnent notre société. Le secteur de la construction, qui est un milieu à très grand équilibre technique, n'échappe pas à cette évolution et l'introduction des projets BIM constitue une innovation majeure. Avec la démarche BIM, on assiste à une transformation progressive du travail et des modes de production mais aussi des pratiques de projet, ce qui demande l'appropriation de nouvelles compétences BIM et déplace les frontières professionnelles.

Cette recherche profite donc d'un contexte socioprofessionnel en pleine effervescence pour interroger la manière dont la démarche BIM affecte le travail de l'architecte et celui des acteurs de la construction. On considère effectivement que l'innovation BIM ne peut pas être uniquement traitée comme une question technique car elle impacte aussi les activités, les pratiques sociales, les périmètres professionnels des acteurs et conditionne les modes de production et d'élaboration du projet architectural d'un point de vue pratique mais aussi d'un point de vue théorique. Dès lors, ce sont les projets BIM en cours de réalisation qui nous intéressent plus particulièrement. Ainsi, nous nous sommes donc attachés à suivre de près la réalisation de l'un d'entre eux.

Cette recherche s'appuie sur la phase chantier d'un projet BIM que nous appellerons dorénavant le *Grand Projet d'École*. Ce projet du Grand Paris dont le chantier s'est déroulé au cours des quatre dernières années, a notamment reçu un « BIM d'Or » pour son implication dans la démarche BIM sur lequel nous reviendrons. Concernant le contexte du *Grand Projet d'École*, précisons qu'il a été réalisé grâce à un financement public dans le cadre de *l'opération campus*. Cette opération est un plan de grande ampleur en faveur de l'immobilier universitaire afin de créer des campus d'excellences qui renforceront l'attractivité et le rayonnement de l'université française. Si le *Grand Projet d'École* a retenu notre attention, c'est pour la très forte implication de l'ensemble de ses acteurs dans la démarche BIM. L'approche ethnographique que nous avons menée au sein de ce projet sert alors à rendre plus saillants les enjeux et les problématiques que rencontrent les professionnels de la construction face aux nouvelles configurations pratiques et normatives introduites par la démarche BIM.

Comme dans tout projet, les architectes, les ingénieurs mais aussi les entreprises et la maîtrise d'ouvrage sont des acteurs clés. Signalons que l'équipe de maîtrise d'œuvre du *Grand Projet d'École* est composée d'une agence d'architecture que nous avons renommée : la *Grande Agence d'Architecture* et d'une agence d'ingénierie à laquelle nous ferons référence par : la *Grande Agence d'Ingenierie*. Le

chantier a été réalisé en lots séparés et les principales entreprises de construction auxquelles nous ferons référence seront identifiées par la dénomination : Entreprise A, Entreprise B, Entreprise C, Entreprise D, en fonction du corps de métier qu'elles représentent. Enfin, signalons aussi que tous les noms cités dans le texte ont aussi été anonymisés.

Concernant les architectes, la *Grande Agence d'Architecture* est une agence d'architecture de renommée internationale qui compte des bureaux situés dans trois pays. Elle construit depuis près de quarante ans des édifices dans le monde entier et, en partie grâce au *Grand Projet d'École*, elle s'est aussi bâtie une réputation d'agence maîtrisant la démarche BIM. L'apprentissage BIM de l'agence débute effectivement en 2006 lorsqu'elle s'implique dans un important projet aux États-Unis qui nécessite la maîtrise du logiciel BIM : Revit®. C'est à ce moment-là que Pascal, l'actuel BIM manager de la *Grande Agence d'Architecture*, est sollicité pour son expertise logicielle. Il rappelle d'ailleurs concernant ce projet américain :

Extrait d'entretien (Pascal, BIM manager au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

A ce moment on ne parle pas de BIM [...] dans le contrat on ne parle que de Revit®, il y a une ligne, c'est marqué doit être fait avec Revit®. Voilà, fin de la discussion.

En France, Pascal a acquis une solide réputation dans le domaine BIM, non seulement par son activité d'expert, mais aussi grâce au travail qu'il effectue au sein de la *Grande Agence d'Architecture*. En 2019, il nous confie qu'en matière de process BIM « *tout roule ou presque* » au sein de cette agence et considère même ne plus rien avoir à apprendre aux jeunes architectes et notamment à ceux qui travaillent sur le *Grand Projet d'École*. Il faut cependant préciser que si la compréhension de la complexité des logiciels et des enjeux BIM est maîtrisée par les architectes qui travaillent quotidiennement sur le logiciel Revit®, il reste plus difficile d'appliquer cette maîtrise et compréhension à l'ensemble des architectes de l'agence. En effet, le créateur et dirigeant de l'agence ainsi que de nombreux *Partners* et plusieurs *Associés* disposent d'une expertise moins conséquente et plus distante de la pratique et des enjeux BIM. Par exemple, Alain, *Partner* historique de l'agence en charge du *Grand Projet d'École*, nous confie ne pas maîtriser tous les enjeux sous-jacents à la démarche BIM pour la simple raison qu'il ne travaille pas sur le logiciel Revit®. Dès lors son discours à propos de la démarche BIM s'appuie sur ce qu'il observe des architectes qui sont sous sa supervision et ce que lui en disent ses partenaires professionnels.

Au sein de l'équipe architecte de la *Grande Agence d'Architecture*, on peut ainsi distinguer deux niveaux de compétence BIM. Le premier niveau que partagent Philippe, l'architecte associé et Alain le Partner en charge du projet, s'apparente plutôt à un niveau théorique et de gestion de projet BIM. Tous deux comprennent les enjeux de la démarche BIM mais ne manipulant pas le logiciel Revit[®], ils ne sont pas directement impactés par les problématiques pratiques ou techniques sous-tendues par l'utilisation des logiciels BIM. Le second niveau serait alors assimilable à un niveau pratique qui s'appuie justement sur la maîtrise du logiciel BIM. On notera que les quatre architectes du projet : Maria, Nicolas, Emeric et Damien maîtrisent pleinement la démarche BIM d'un point de vue à la fois théorique et pratique. Ces derniers sont en particulier responsables de l'élaboration de la maquette numérique architecture et de l'activité de modélisation qui s'y rattache.

Méthodologie : enquêter sur le BIM et la maquette numérique

Le travail d'investigation de Chegu Badrinath Amarnath (Amarnath *et al.*, 2016) sur les publications portant sur la démarche BIM montre que les travaux de recherche français demeurent sous-représentés, voire absents, de la scène internationale. De plus, on notera que seuls 23% des publications portent sur la phase de chantier qui nous intéresse plus particulièrement dans cette thèse (figure 1).

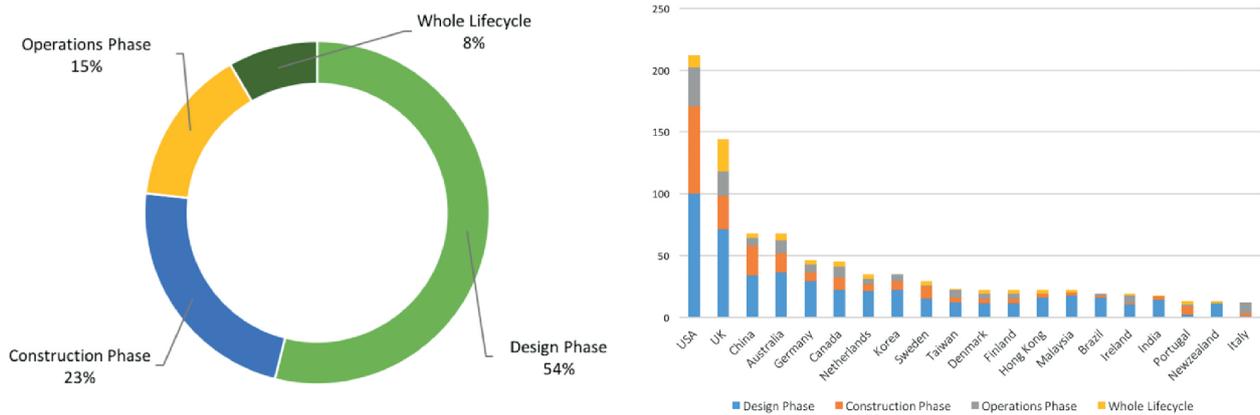


FIGURE 1 – A gauche : Concentration des publications scientifiques BIM en fonction des phases d'un projet. A droite : Répartition des publications scientifiques BIM par pays.

Source: (Amarnath *et al.*, 2016)

Dans la littérature spécialisée, de nombreux travaux issus de l'informatique, du management ou de l'ingénierie système, assimilent l'acronyme BIM à un outil univoque. Dans ce travail de thèse, nous considérons, au contraire, que les objets techniques et les outils ne peut être qu'équivoques. La sociologue de l'innovation Madelein Akrich rappelle d'ailleurs que l'objet technique « *ne peut plus être confondu avec un dispositif matériel qu'avec l'ensemble des usages « remplis » par ce dispositif : il se définit très exactement comme le rapport construit entre ces deux termes. Et [...] il nous faut sans arrêt effectuer l'aller-retour entre le concepteur et l'utilisateur, entre l'utilisateur-projet du concepteur et l'utilisateur réel, entre le monde inscrit dans l'objet et le monde décrit par son déplacement. Car dans ce jeu incessant de bascule seuls les rapports nous sont accessibles[...]»* (Akrich, 1987). Dès lors, il n'est plus possible d'étudier les objets en omettant l'ancrage culturel qu'ils transportent, le champ d'acteurs qui les manipulent, l'espace dans lequel ils se meuvent, les activités spécifiques qu'ils autorisent, les relations qu'ils permettent de tisser ou encore les controverses qu'ils peuvent supporter.

Enfin, remarquons néanmoins que dans la littérature scientifique portant sur le BIM, le champ des

SHS⁷ fait aujourd'hui encore grandement défaut. De façon assez symptomatique, le BIM Handbook (Eastman, 2008), ouvrage référence dans la communauté scientifique, ne répertorie aucun travaux issus des sciences humaines et sociales. Dans la version actualisée de l'ouvrage datant de 2018 (Sacks *et al.*, 2018)), seul le chapitre 8.6.3 : *Best Practices and others socials issues* fait référence à des problématiques sociales. Cependant, sur les six-cents pages du livre, ce chapitre ne compte qu'un seul paragraphe, traduisant le manque de considération ou de travaux d'envergure issus du champ des SHS. Or, pour les architectes, comme pour l'ensemble des acteurs de la construction, comprendre les effets sociologiques que peut avoir la démarche BIM sur leurs projets est primordial s'ils ne veulent pas s'en sentir prisonniers. Jérôme Guéneau juge, lui aussi, que les écrits portant sur le BIM et « *les transformations du travail de l'architecte [...] ressort[ant] des domaines de la sociologie du travail ou de l'anthropologie, sont rares* » (Gueneau, 2019, p. 4). Cette recherche entend ainsi contribuer à la réflexion sur les effets produits par la démarche BIM sur le projet architectural et l'ensemble des professionnels de la construction qui y participent.

En France, l'année 2014 est généralement considérée comme l'année zéro d'introduction de la démarche BIM (Celnik & Delaporte-Arnal, 2017). Et, étant donné le temps nécessaire à la conception et la fabrication d'un ouvrage, les retours d'expériences sur des projets BIM ne peuvent être attendus que d'ici à plusieurs années. Cependant, cela ne doit pas nous empêcher de questionner dès à présent les effets déjà observables sur des projets BIM en cours et à plus forte raison sur des projets d'envergure tel que le *Grand Projet d'École*. Et puisque le BIM ne peut pas être considéré comme un objet univoque car il incarne le délégué d'une nouvelle pensée collective, il nous faut partir de l'observation et de ce qui est concrètement « *fait* » par et avec le BIM. Dans cette recherche, il s'agit d'observer, à travers la quotidienneté des pratiques, les effets du BIM sur l'ensemble des acteurs et le projet architectural. Dès lors, l'approche inductive de la Grounded Theory développée par Barney Glaser et Anselm Strauss (Glaser & Strauss, 1967) nous est apparue particulièrement inspirante. François Guillemette qualifie la Grounded Theory comme suit :

Extrait de document : L'approche de la *Grounded Theory* ; pour innover ?

« *La Grounded Theory est définie en opposition aux approches hypothético-déductives dans lesquelles les chercheurs partent de postulats a priori pour déduire des explications des phénomènes, les données empiriques ne servant que d'« exemples » dans un processus d'application des théories existantes. A l'inverse,*

7. Sciences Humaines et Sociales

la Grounded Theory est présentée essentiellement comme une approche inductive par laquelle l'immersion dans les données empiriques sert de point de départ au développement d'une théorie sur un phénomène et par laquelle le chercheur conserve toujours le lien d'évidence avec les données de terrain. Les théories ainsi développées en Grounded Theory sont le plus souvent de « nouvelles » théories qui sont plus ou moins en lien avec des théories existantes »^a

a. (Guillemette, 2006, p. 32-33)

La Grounded Theory est une approche méthodologique ayant pour objectif de stabiliser des observations et des interprétations issues du terrain et qui, grâce à leur saturation sont susceptibles d'engendrer de nouveaux cadres théoriques. Dans notre cas, il s'agit d'en réinvestir les principes pour proposer de nouvelles interprétations qui puissent être pertinentes aux yeux des architectes, que ce soit pour préciser les effets pratiques de la démarche BIM ou bien alimenter les théories architecturales déjà existantes. D'ailleurs, il nous apparaît encore difficile de pouvoir faire état de théories architecturales préexistantes concernant les problématiques liées à l'introduction de la démarche BIM. Dans cette perspective, opter pour une approche inductive, telle que la Grounded Theory, apparaît plus efficace et propice à la découverte et au développement de nouvelles théories.

Par ailleurs, les enquêtes ethnographiques constituent des pratiques privilégiées qui peuvent permettre d'étudier des objets, des organisations, des acteurs ainsi que des processus à l'œuvre. La pertinence de notre enquête au sein du *Grand Projet d'École*, et plus particulièrement au cours de sa phase chantier, ne réside donc pas directement dans les effets que peut avoir une démarche BIM sur les objets, les institutions ou les acteurs du projet mais plutôt dans la mise en lumière des nouveaux rapports qui se tissent entre eux (Flichy, 1995). L'objectif de la recherche demeure alors toujours « *de créer de nouvelles idées et des conceptions innovantes ; [...] [afin] de contribuer vraiment au développement de connaissances* » (Guillemette, 2006, p. 46). Dans cette perspective et afin de développer un apprentissage du BIM, le moyen le plus efficace a été de mener une enquête dans « *une logique continuellement expérimentale* » soutenue par le cycle d'investigation : questionner, enquêter, créer, discuter, réfléchir (Dewey, 1938). Nous nous sommes aussi attachés à conserver un regard critique-réflexif vis-à-vis des traces ou des « preuves » issues de notre enquête en remettant sans cesse en question nos observations, nos hypothèses et les théories émergentes.

Notons que dans le champ de l'architecture, ou de la construction, les études ethnographiques ne sont pas rares et couvrent de larges thématiques. On gardera par exemple en tête les travaux menés

en agence d'architecture (Houdart *et al.*, 2009; Yaneva, 2009; Ottavino, 2017), ou sur l'envers des chantiers de construction (Jounin, 2009; Serra, 2014).

Enfin, il convient de préciser que cette thèse manipule parfois des concepts issus d'approches de la sociologie critique⁸ et de la sociologie pragmatique⁹. Il nous faut alors admettre que ce travail ne se réclame pleinement ni de l'une ni de l'autre et il n'a pas non plus été question de rechercher la « *zone de transaction* » (Benatouïl, 1999) entre ces deux approches. Nous nous sommes simplement autorisés à puiser dans les outils conceptuels de l'une ou l'autre de ces approches, principalement guidés par l'intuition et la taille « granulométrique » des éléments étudiés ou encore par la capacité des outils à assister l'analyse du matériel empirique. Méthodologiquement, rappelons d'ailleurs que la majorité des données récoltées au cours de cette enquête sont issues d'observations participantes et d'entretiens dont nous allons expliciter les conditions de réalisation et les paramètres de recueil et d'analyse.

8. La sociologie critique est née dans les années soixante et est incarnée par Pierre Bourdieu et ses collaborateurs : Luc Boltanski, Jean-Claude Chamboredon, Jean-Claude Passeron, Monique de Saint-Martin, Abdelmalek Saya.

9. La sociologie pragmatique est représentée depuis les années quatre-vingt par le travail de Michel Callon, Bruno Latour, Luc Boltanski et Laurent Thévenot.

Observer

Au sujet des enquêtes ethnographiques, Stéphane Beaud et Florence Weber (Beaud & Weber, 2010) rappellent que l'observation participante constitue une pratique méthodologique indispensable. Elle permet effectivement d'accéder à l'expérience et au vécu des sujets ou des objets observés (Laplantine, 2008). Et pour que ce type d'observations puisse nous permettre de « *pénétrer la mentalité des indigènes* » (Malinowski, 1963), il convient de pouvoir : « *effectuer soi-même le travail de terrain sans intermédiaire ; apprendre la langue des populations étudiées ; se couper totalement de son monde familier* » (Moussaoui, 2012). Bien entendu, toutes les observations ont été effectuées par nos soins. Et si notre culture architecturale nous permet d'être familier du monde de la construction, nos observations démontreront la présence de nombreuses « étrangetés » liées à la démarche BIM. Nous montrerons aussi qu'un langage propre aux projets BIM semble ainsi se constituer.

Les observations effectuées nous permettent de témoigner des aléas, des errements et des doutes qui jonchent les processus et les activités d'un projet BIM dont nous avons été le témoin privilégié. Dès lors, il n'est pas rare que ce qui pourrait relever du détail prenne une place prépondérante dans la recherche. D'ailleurs, dans l'écriture de cette thèse, nous avons cherché à rendre compte de la « *granulométrie* » des processus et des activités des acteurs ou des dispositifs mis en place grâce à l'inclusion d'extraits d'entretiens ou de réunions. Ces extraits constituent des éléments permettant d'une part d'immerger le lecteur dans la quotidienneté des pratiques observées et d'autre part de lui partager des situations inédites qu'il reste en partie libre de se saisir et d'interpréter. Ce faisant, nous évitons le lissage ou le polissage des faits à travers des modélisations simplificatrices des processus au profit d'une analyse, certes plus complexe, mais plus proche de la « *réalité des choses* ».

Notons que les extraits d'observations lors des réunions citées en tant que verbatim dans le corps de la thèse ont été recueillis sur le moment « à la volée ». Ces verbatim, relevés et consignés dans un carnet de terrain sont restitués en l'état. D'un point de vue formel, nous avons fait le choix d'anonymiser l'ensemble de nos interlocuteurs et en les identifiant par le type d'organisation qu'ils représentent.

Dans un registre ethnographique comparable, notamment lié à l'activité de conception, on pourra citer le travail de Dominique Vinck qui s'est intéressé au déploiement d'outils CAO¹⁰ dans le contexte industriel. Il rappelle alors que les observations permettent la production de contenus « *précis et circonstanciés de l'activité de conception* » nécessaires à la compréhension des dynamiques d'innovation.

10. Conception Assistée par Ordinateur

Elles autorisent en outre à « *analyser des phénomènes qui échappent à la seule enquête par interview, par exemple : ce qui se passe pendant une réunion de projet ou lorsque quelques concepteurs se rencontrent autour d'un plan, d'un prototype ou d'un écran d'ordinateur* » (Vinck, 1999a).

D'un point vue pratique, notre enquête comptabilise vingt-cinq journées d'observations participantes réalisées lors des réunions de synthèse d'exécution du *Grand Projet d'École*, une immersion d'une semaine au sein de la *Grande Agence d'Ingénierie* qui pilote la cellule synthèse, une mission d'expertise d'un an réalisée dans le cadre d'une mission complémentaire au doctorat menée au sein de la maîtrise d'ouvrage. Nous avons aussi participé à une quinzaine de visites de chantier ainsi qu'à des réunions techniques entre les professionnels du projet. Nous avons accompagné des étudiants de master de l'ENSA Paris-Malaquais qui ont étudié le chantier du *Grand Projet d'École* pendant une année complète. Enfin, l'enquête puise aussi dans des échanges que nous avons pu avoir lors de rendez-vous informels, de voyages en transports, de déjeuners, de discussions de couloirs, ou encore, d'enseignements réalisés avec différents acteurs du *Grand Projet d'École*. Concernant ces enseignements, nous avons effectivement invité à intervenir Maria, une architecte de la *Grande Agence d'Architecture* ainsi qu'une experte BIM lors d'un intensif inter-semester que nous avons organisé et piloté à l'ENSA Paris-Malaquais. De même, dans le cadre formation HMONP et la thématique BIM que nous avons co-organisée à l'ENSA Paris La Villette, nous avons pu inviter Nicolas, un architecte de la *Grande Agence d'Architecture*, pendant trois années consécutives afin qu'il puisse rendre compte de son expérience du *Grand Projet d'École*. L'ensemble de ces échanges, ainsi que l'ensemble des colloques dans lesquels j'ai pu intervenir, bien que plus éloignés du site du chantier, et dans un cadre professionnel différent, ont cependant souvent permis de confirmer ou d'infirmier certaines des analyses faites concernant nos observations sur le *Grand Projet d'École*.

Interviewer

En plus de ces observations, des entretiens ont été menés auprès des acteurs du *Grand Projet d'École* mais aussi avec des acteurs extérieurs à ce projet. Au total nous avons réalisé vingt-et-un entretiens dont quinze auprès d'acteurs du *Grand Projet d'École* et six avec des experts BIM extérieurs au projet. Chaque entretien a duré entre quarante minutes, pour le plus court, et deux heures dix, pour le plus long. Les entretiens avec les acteurs du *Grand Projet d'École* ont tous été enregistrés et retranscrits intégralement. Afin de garantir l'anonymat des interviewés et de permettre une cohérence dans la retranscription de l'enquête : tous les prénoms qui figurent dans le manuscrit ont été modifiés. D'un point de vue méthodologique, nous avons adopté une pratique de l'entretien relativement « souple » qui s'apparente à celle d'entretiens exploratoires. La souplesse que nous avons autorisée à nos interviewés leur permettait de rebondir, faire des digressions ou d'ouvrir la discussion vers d'autres problématiques qui leur paraissaient pertinentes. Ce choix a sensiblement facilité l'émergence de points de tensions, d'injonctions et de récits évoquant les traces d'expériences singulières liées à la démarche BIM. Et c'est précisément à travers la multitude de ces traces (difficilement imaginables ou décelables autrement) que les perspectives de nouvelles « théories » ont émergé.

De plus, face à la diversité des profils avec lesquels nous nous sommes entretenus : architecte, ingénieur, BIM manager, développeur de logiciel, mainteneur, maître d'ouvrage, entre autres, la systématisation de certains types de questions a rapidement perdu son sens. Il nous fallait donc « *décentrer notre regard* » (Ottavino, 2017, p. 26) sur l'objet scientifique et résister continuellement à la tentation de vouloir faire coïncider le regard de nos interlocuteurs à notre propre perspective. L'avantage de cette pratique « souple » ou « flottante » de l'entretien est qu'elle autorise nos interlocuteurs à prendre part à notre enquête : non comme des témoins mais comme des enquêteurs ponctuels. En effet, nous nous sommes rapidement aperçus que ces derniers n'hésitent pas à développer leurs propres théories, à formuler des hypothèses, à faire des suggestions et nous inciter à creuser une piste plutôt qu'une autre et, très souvent, à nous ouvrir leurs propres réseaux de connaissances. Plus que de simples interviewés dont les paroles auraient été décortiquées et analysées, une grande partie de ces acteurs sont ainsi devenus, consciemment ou inconsciemment, les membres de notre réseau invisible de « *chercheurs* ». Dès lors, les interviewés pouvaient être en position de confronter leurs propres discours avec celui de précédents interviewés. Faire ainsi appel à la réflexivité de ces acteurs (Joannides & Berland, 2008) permet alors de mieux cibler les points de convergences et de divergences entre leurs discours respectifs et surtout de comprendre les raisons de certains rapprochements ou oppositions de points de vue.

La construction du récit

De façon générale, la démarche ethnographique soulève des difficultés méthodologiques telles que la circonscription et le cadrage de l'objet de recherche, la systématisation du recueil de données, la traduction et l'interprétation des données ou encore la subjectivité liée à l'implication et à la présence sur le terrain de l'observateur (Peters *et al.*, 2010). De plus, la présentation des résultats, des processus ou des événements décrits n'échappent pas à une certaine mise en forme ou mise en scène de la part du chercheur. Car vouloir restituer, a posteriori, des faits observés ou des récits entendus, nécessite des choix, une sélection et donc une scénarisation mise au service sinon de « la vraie histoire des choses », au moins, de l'histoire des choses telles que nous les avons vécues. En particulier, le travail descriptif de cette recherche doit être interprété comme un outil cartographique mis au service de l'enquête. La description doit permettre « d'immerger » le lecteur en restituant physiquement et temporellement le contexte de l'enquête, mais elle doit aussi permettre de rendre compte de la complexité et de la non-linéarité des événements auxquels nous avons pris part. Par ailleurs, la véridicité du récit passe aussi par la qualité d'écriture (Joannides & Berland, 2008, p. 146) et la capacité à restituer le sens des faits observés. L'écriture devient alors un élément de scientificité puisqu'elle convainc ou non le lecteur de la réalité rapportée (Locke, 2003).

Enfin, du point de vue de la rédaction, la thèse est structurée en quatre chapitres. Le premier chapitre permet d'ancrer le cas d'étude du *Grand Projet d'École* dans le contexte socio-politique dans lequel il a été réalisé. Si ce chapitre ne constitue pas à proprement parler un « état de l'art », il permet cependant de comprendre les principaux enjeux de la démarche BIM mais surtout de recentrer la recherche autour d'un objet central : la maquette numérique. Les trois chapitres suivants s'intéressent alors à la fabrication de cet objet au sein du *Grand Projet d'École*. Le chapitre deux interroge « la conception » et la mise en place de nouvelles conditions de travail pour que l'élaboration de la maquette numérique puisse se faire lors du chantier. Le chapitre trois rend compte de « la fabrication » de la maquette numérique dans le cadre des réunions de synthèse et des effets sur le travail collectif. Le chapitre quatre considère « l'exploitation-maintenance » pour comprendre les enjeux pratiques et théoriques qu'implique la fabrication de la maquette numérique sur le projet architectural mais aussi à l'échelle de la ville. Enfin, si le manuscrit semble suivre une forme de chronologie à travers le découpage « conception, fabrication, exploitation-maintenance », il faut admettre que ce n'est une reconstruction destinée à faciliter la compréhension et le cheminement de cette recherche.

Chapitre 1

Irruption BIM : comprendre un nouveau paysage

Introduction

Dans le champ de l'architecture, de multiples signaux : historiques, politiques, sociétaux et médiatiques nous laissent penser que les changements amorcés par le numérique il y a plusieurs décennies s'intensifient (Carpo, 2013, 2017; Picon, 2010). Dans ce contexte numérique, la démarche BIM constitue actuellement l'innovation au cœur de toutes les attentions.

Ce premier chapitre se donne pour objectif de cadrer notre interprétation de la démarche BIM ainsi que notre enquête de terrain au sein du *Grand Projet d'École*. Dans un premier temps, il s'agit de comprendre ce que le BIM apporte au projet architectural. En nous appuyant sur la définition cet acronyme et les spécificités du nouveau mode projet BIM on cherchera à montrer que la démarche BIM s'articule autour de la construction collective d'une maquette numérique d'un nouveau type. Cette maquette numérique est un nouvel artefact dont il faut, là encore, définir les contours. Elle doit ainsi être dissociée de la maquette physique mais aussi d'autres types de maquettes numériques. Ensuite, pour saisir pleinement les enjeux supportés par le mode projet BIM il faut retracer l'histoire de cette innovation et de son introduction au secteur de la construction. Le retour historique proposé vise ainsi à comprendre comment et pourquoi le secteur du bâtiment fait aujourd'hui face à une innovation de rupture qui est en passe d'industrialiser l'acte de construire. Il s'agit aussi de mesurer que l'innovation ne se réduit pas simplement à l'utilisation d'une nouvelle famille de logiciels mais embarque avec elle une philosophie de la construction, des techniques et des pratiques empruntées à d'autres secteurs industriels.

Dans un second temps, nous nous intéresserons au contexte général dans lequel s'est déroulé le *Grand Projet d'École*. Pour mesurer à quel point la démarche BIM s'ancre de plus en plus dans la culture constructive contemporaine, nous nous intéresserons aux différents acteurs et organisations qui s'attachent à structurer et étendre l'appropriation de cette innovation. Nous considérerons alors les organismes qui participent à construire une image symbolique et culturelle du BIM à savoir : les politiques publiques et les médias. Puis nous considérerons les organisations directement impliquées dans les projets BIM à savoir : la maîtrise d'ouvrage publique, les entreprises de construction ainsi que les agences d'architecture. A travers l'analyse successive de ces groupes d'acteurs, il s'agit alors de prendre de la hauteur pour comprendre le contexte particulier dans lequel a été réalisé notre ethnographie au sein du *Grand Projet d'École*.

1.1 Dissiper les incompréhensions autour du BIM et de la maquette numérique

1.1.1 Définitions et sémantique

Le sens de l'acronyme BIM ne va pas de soi. Sa définition est effectivement multiple et mérite que l'on s'y attarde. Dans la littérature spécialisée (Celnik *et al.*, 2014; Hoyet *et al.*, 2016; Sacks *et al.*, 2018; De Maestri, 2019), les médias, ou lorsqu'on interroge les professionnels, on constate que le mot BIM s'apparente à un lieu commun et s'interprète de différentes manières selon les interlocuteurs. De plus, la diversité des enjeux auxquels il semble vouloir répondre : augmentation de la précision, optimisation de la fabrication, réduction du temps de chantier, amélioration de la coopération entre acteurs, meilleure gestion de l'exploitation-maintenance, baisse du coût global entre autres, entraîne une réelle difficulté à lui donner un sens unique mais aussi à circonscrire les concepts liés à ce nouvel acronyme.

D'un point de vue normatif, la norme française ISO 19650-1 :2018 propose la définition suivante :

Extrait de document : Norme BIM ISO 19650-1 : 2018

« *Modélisation d'informations de la construction BIM (building information modeling) :*

Utilisation d'une représentation numérique partagée d'un objet bâti pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation et former une base fiable permettant les prises de décision. »^a

a. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:68078:fr>

Cependant, on observe qu'il existe un décalage entre cette définition et le sens apposé par le monde socio-professionnel impliqué dans la démarche BIM. En effet, en pratique, chacun reste en capacité de redéfinir ou d'implémenter le sens de cet acronyme en fonction de ses propres intérêts ou de l'idée qu'il s'en fait. Ainsi, la maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École* formalise, par exemple, dans ses documents contractuels une interdépendance directe entre le BIM et la maquette numérique alors que la terminologie de maquette numérique n'apparaît pas dans la norme ISO 19650-1 : 2018. Sur ce point, il n'est justement pas rare de voir les termes de BIM et de maquette numérique être rapprochés voire confondus¹.

1. Notons dans la définition du BIM Wikipedia rapproche ouvertement les termes de BIM et de maquette numérique. (consulté le 09/02/2017).

Extrait de document : Charte BIM du *Grand Projet d'École*

« « Le BIM » ou « Maquette numérique du Bâtiment » ou « Modélisation d'information de la construction » met en œuvre des processus associés pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction. Le BIM est à la fois un processus de gestion et de production qui utilise une série de logiciels intégrant différents formats d'échange (comme les IFC norme ISO 10303-21) permettant la communication entre les différents acteurs du projet [...]. Le processus BIM englobe la géométrie de la construction, les relations spatiales, les informations géographiques, les quantités ainsi que les propriétés des éléments de construction. Les informations sont capitalisées à chaque étape de ce processus. Ainsi, l'ensemble des résultats de chaque étape du processus peuvent être contenus dans la maquette numérique (calculs énergétiques, dimensionnement chauffage, climatisation, aéraulique, emplacement des équipements, alarmes et sécurité, maintenance, etc.) »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École*

Rappelons qu'une norme définit un cadre autorisant une persistance temporelle de pratiques et d'usages permettant, pour le cas du BIM, de construire des informations dont la pérennité serait, a priori, garantie. Or, on fait précisément face à une diversité de définitions lorsque l'on s'intéresse à la démarche BIM. En effet, on constate que le BIM est tour à tour, interprété comme un outil, un logiciel, un processus de travail, un système de technologies, un modèle, une pratique collaborative, une pratique managériale, entre autres. Par exemple, pour Maria, une architecte du *Grand Projet d'École*, le BIM est tantôt assimilé à une technologie tantôt à un outil.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Le BIM [...] c'est une nouvelle technologie qui est au départ inconnue pour tout le monde mais qui à un moment donné va s'imposer d'une façon ou d'une autre. Même si on ne le veut pas, il va falloir savoir travailler avec cet outil.

Concernant les significations de l'acronyme BIM, on distingue trois définitions :

- Building Information Model
- Building Information Modeling
- Building Information Management

Premièrement, on observe qu'il y a une constante dans les premiers termes du sigle : « Building » et « Information », en revanche plusieurs interprétations de la lettre « M » sont possibles. Cette dernière correspond ainsi respectivement à un objet (Model), à une activité destinée à mettre en place cet objet (Modeling) et à une pratique associée à l'organisation du travail (Management). Notons que nous

traduisons « Modeling » par modélisant, qui est ainsi entendu comme un participe présent révélateur du caractère inaccompli de l'action de modélisation, et non pas comme une modélisation. Face à ces trois définitions, nous constatons qu'utiliser sans précautions le mot BIM facilite le passage de polysémie à confusion de sens. Le caractère extrêmement équivoque du BIM, explique en partie la capacité que peuvent avoir les acteurs à lui attribuer du sens ou des propriétés « autres ». Malgré la difficulté apparente à définir le BIM, on observe déjà que de nombreuses déclinaisons et néologismes apparaissent, autant dans la presse spécialisée, qu'au sein des communautés de chercheurs ou de praticiens. On notera, par exemple, l'apparition de : « *maturité BIM* », « *full-BIM* », « *logiciels BIM* », « *Baby BIM* », « *BIMeurs* », « *bonnes pratiques BIM* », « *services BIMés* » ou encore de « *BIMétrie* » (De Boissieu *et al.*, 2016). Pour chacun de ces néologismes, il conviendrait, et à chaque fois, de se poser la question : de quoi parle-t-on ? Parle-t-on de l'objet, de l'activité ou de l'organisation du travail ?

Bien entendu, sans précisions supplémentaires pour dissiper ce flou sémantique, la fabrication et l'utilisation de ces néologismes participe activement à accroître le capital symbolique du BIM tout en lui attribuant de nouvelles propriétés. Ces nouvelles déclinaisons concourent aussi à l'élaboration d'un nouveau « langage BIM » et sont révélatrices de la vivacité du BIM, non seulement dans le secteur de la construction, mais aussi, plus largement dans la société. Ce « *langage BIM* » devient alors le marqueur d'un ancrage profond de l'innovation dans la société.

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet, entreprise D) —

Moi, je ne sais pas dessiner mais j'ai vu ce que c'était une maquette [...]. J'ai vu tous les logiciels qui existaient dans le Revit[®] [...], la notion d'IFC, les trucs compatibles qui te permettent le lien et truc machin [...]. Mais ce que j'ai appris, c'est le langage BIM. C'est à dire : « *maquettes, livrables, on ne parle pas de plans, les livrables sortent de la maquette, la maquette doit être mise à jour* » [...]. La formation BIM c'est pratique, on apprend à parler d'une telle manière à ce qu'on arrive à expliquer la différence entre un livrable et une maquette.

Dans un second temps, on remarque que sur les trois sens de l'acronyme, deux sont construits à partir de la racine commune de modèle ce qui nous laisse déjà présupposer de son importance. La richesse de signification autour du concept de modèle (et de modélisation) « *révèle une construction en couches de complexité* » (Varenne *et al.*, 2014) qui s'étend bien au-delà des frontières de l'architecture ou de domaine de la construction. Cependant, nous n'entrons pas ici dans des considérations

épistémologiques². Nous tâcherons, en revanche, de préciser notre pensée au regard du concept de modèle et de celui de maquette numérique, que nous aborderons plus loin.

Le troisième sens du BIM se réfère au management et concerne les processus de gestion et d'organisation des acteurs. Le management et l'organisation des projets BIM s'opère sur un triple niveau : à la fois grâce à l'apport des TIC³ que les acteurs mobilisent, puis à travers la redistribution des connaissances et la redéfinition des périmètres d'actions des professionnels et enfin par l'émergence de nouvelles figures professionnelles tels que les BIM managers. D'ailleurs, nous verrons dans cette recherche comment ces nouveaux professionnels sont impliqués dans la gestion des acteurs et la vérification de la conformité des flux d'informations qu'ils échangent.

Enfin, il faut aussi noter l'émergence et l'utilisation croissante de l'acronyme CIM pour : City Information Model / Modeling / Management, que revendiquent déjà de multiples acteurs du monde de la construction. Ainsi, lors de divers évènements (BIM World, conférences professionnelles⁴, conférences de recherche), nous avons constaté que les acteurs mobilisent déjà l'acronyme CIM qui s'articule progressivement avec celui de smartcity notamment à travers les nouvelles possibilités d'échange d'information entre différents ouvrages. D'ailleurs, Sébastien, l'assistant maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École*, nous rappelle que les projets BIM doivent impérativement être considérés à une échelle plus vaste : celle du quartier, de la ville ou du territoire.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage du *Grand Projet d'École*) —

Le schéma qu'on développe sur [le *Grand Projet d'École*] et d'autres bâtiment alentours, c'est la mise en place d'un cœur de réseau. C'est à dire que les datas on les stocke dans un espace et les différents logiciels viennent ensuite puiser les informations qu'elles souhaitent. Le cœur de réseau est donc connecté à tous les services mais on le connecte aussi à la ville! C'est précisé-ment grâce à cela que l'on peut valoriser les informations et les datas du BIM [...]. [Le *Grand Projet d'École*] va être une brique interopérable avec une codification de sa data pour la CIM ou la smartcity [...].

Et si nous poursuivons la réflexion à propos de la CIM dans le dernier chapitre de cette thèse, re-

2. Sur ce sujet, on pourra consulter les travaux de Frank Varenne (Armatte & Dalmedico, 2004; Varenne, 2013)

3. Technologies de l'Information de la Communication

4. La 3^{ème} journée de travail sur le BIM organisée par le Réseau National des Aménageurs s'est tenue à Paris, la Défense, le 22/09/2016. Le groupe Artelia y a notamment présenté le projet *Santiago Deseado, simulateur de ville durable* mené en partenariat avec la mairie de Santiago du Chili. On notera aussi que lors de cette rencontre, le projet *Rennes2030* pour la ville de Rennes s'est lui aussi revendiqué être un projet CIM.

tenons à ce stade, que l'existence de l'acronyme CIM ainsi que les trois principales définitions du BIM, démontrent que la lettre « I » d'Information représente l'élément central de l'ensemble des définitions précitées. L'information : sa conception, sa construction, son transport et sa valorisation se situe donc au cœur de la démarche BIM. Or, l'information demeure problématique et ambiguë car « *on ne peut presque rien en dire, mais on ne peut plus s'en passer* » (Morin, 2005, p. 35). S'intéresser au BIM, c'est donc s'intéresser à cette information. Quelle est-elle ? Comment est-elle représentée ? Comment est-elle construite, stockée, utilisée et échangée ? Qui sont les acteurs qui la produisent et avec quels objectifs ?

1.2 Un nouveau type de maquette numérique

1.2.1 La maquette numérique BIM et ses informations

Nous venons de signaler que l'information représente l'élément central de l'acronyme BIM. Or, cette information est conçue, construite, collectée, transmise et utilisée à travers l'élaboration d'une maquette numérique BIM. Il faut alors comprendre que la maquette numérique BIM, à la différence d'autres maquettes numériques, ne se réduit pas uniquement aux éléments géométriques qui la composent, mais elle intègre un ensemble de paramètres ou méta-données associées à cette géométrie. Cette nouvelle maquette numérique BIM est en rupture conceptuelle avec les maquettes numériques produites jusqu'à présent. Cette rupture s'explique principalement par la manière dont ces maquettes sont produites et le type de logiciels utilisés pour les élaborer. En effet, les « logiciels BIM » s'appuient sur une modélisation géométrique orientée objet à laquelle il devient possible d'ajouter des méta-données structurées. Gilles Hallin (Halin & Gallas, 2016) précise que les maquettes numériques réalisées avec les outils de CAO géométrique du type : Rhinoceros[®] ou Sketchup[®], peuvent être entendues comme des « *modèles géométriques* ». La sémantique de ces logiciels repose sur une sémantique géométrique : ligne, surface, volume. Concernant les maquettes numériques réalisées avec des outils de CAO orientés métier (ou « logiciels BIM ») du type : Revit[®], Archicad[®], Tekla[®], elles s'appuient sur des « *modèles géométriques sémantiques enrichis partagés* ». La sémantique de ces logiciels repose, quant à elle, sur une sémantique de construction associée à des objets du type poteau, poutre, plancher. La figure 1.1 proposée par le chercheur Bilal Succar, illustre le principe général de construction des maquettes numériques BIM, où la modélisation géométrique est orientée objet, et où il est possible d'associer des paramètres aux objets modélisés.

De plus, il faut souligner l'importance capitale des méta-données associées à la géométrie modélisée. En effet, la géométrie, comme les méta-données, sont stockées sous la forme d'une base de donnée structurée par le format d'échange standardisé IFC⁵. Rappelons que le format IFC est un format de fichier informatique standardisé qui a la spécificité d'être orienté objet. A la différence des formats propriétaires propres à chaque logiciel BIM, l'utilisation du format IFC offre ainsi des avantages d'interopérabilité entre différents logiciels BIM. En utilisant des logiciels compatibles IFC, les acteurs d'un projet BIM économisent ainsi le coût de traduction des données contenues dans la maquette numérique d'un format à un autre. D'ailleurs, l'utilisation de la terminologie de « base de données » est couramment utilisée pour parler de maquette numérique BIM. Dans le cadre de cette recherche,

5. Industry Foundation Classes

nous préférons utiliser celle de « maquette numérique » plutôt que celle de base de données. En effet, la maquette numérique conserve, a priori, un capital symbolique et conceptuel plus fort au regard des métiers de la conception. Par ailleurs, la notion de maquette numérique BIM demeure un objet plus facile à interpréter, à concevoir et à conceptualiser que celui de BIM ou de base de données. D'ailleurs notons que les mots : « Model », « Modeling », ou « Management » peuvent justement se rattacher à l'élaboration de la maquette numérique. Dans cette perspective, la maquette numérique devient le cœur des projets BIM et nous conduit alors à considérer le BIM comme un adjectif plutôt que comme un nom. Enfin, pour alléger l'écriture de cette thèse, et sans précisions supplémentaires, nous utiliserons l'association : « maquette numérique » et nous référerons automatiquement à la « maquette numérique BIM ».

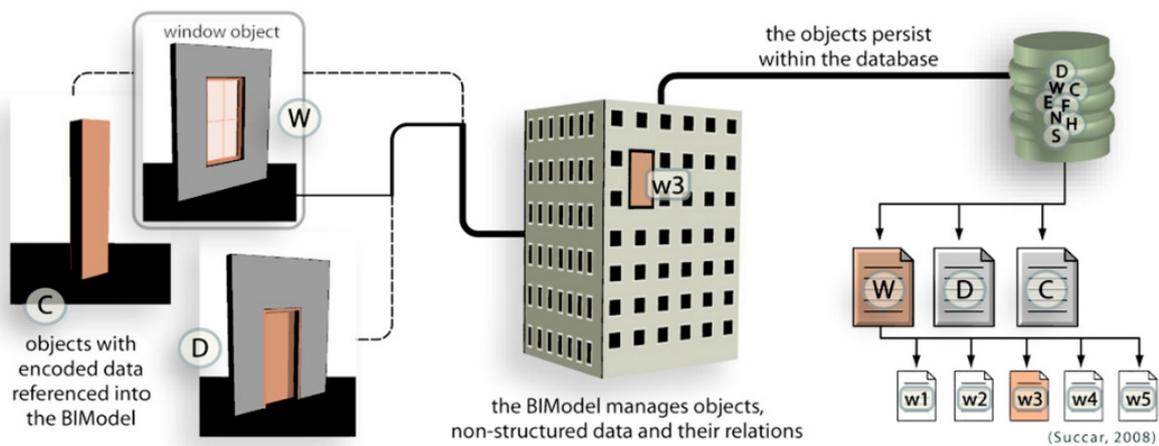


FIGURE 1.1 – Schématisation des propriétés d'une maquette numérique.

Source: (Succar, 2008)

Ainsi, nous pouvons considérer qu'une démarche ou un projet BIM, peut contenir l'ensemble des attributs que nous avons précédemment évoqués : pratiques BIM, process BIM, outils et logiciels BIM, technologies BIM, entre autres. Mais il nous faut aussi approfondir notre position théorique vis-à-vis de ce qu'est et n'est pas un projet BIM.

Premièrement, lorsque nous parlons de projet BIM nous considérons, à l'image du *Grand Projet d'École*, que celui-ci se donne pour objectif de construire une maquette numérique destinée à la conception, la construction et l'exploitation-maintenance du futur bâtiment. Dès lors, il devient clair

que les projets architecturaux de papier (ou non construits) ne jouissent pas du même intérêt pour les professionnels : maîtres d'ouvrages, constructeurs, aménageurs. Pour un projet théorique, critique ou utopique, construire une maquette numérique n'a pas la même portée pour ces acteurs. De plus, lorsque la maquette numérique n'est pas collectivement élaborée par l'ensemble des acteurs et que son usage n'est pas pensé pour assister, non seulement la conception, mais aussi la construction et l'exploitation-maintenance d'une œuvre architecturale, alors parler de projets BIM ne devient plus pertinent. En effet, toute la valeur ajoutée des processus BIM et des dispositifs de co-construction demeurent principalement orientés vers la matérialisation du projet en édifice construit et qui sera exploité grâce aux informations contenues dans la maquette numérique. De plus, un projet qui ne va pas être réalisé n'entraînera pas ou peu de production matérielle et économique car il n'y aura pas de chantier donc pas d'investissements et pas d'embauche. Ainsi considérer comme projet BIM, un projet qui n'a pas pour objectif de construire une maquette numérique a peu d'intérêt dans la perspective de cette recherche. Cela reviendrait à qualifier tout projet mobilisant un logiciel BIM de « projet BIM ». Or, ceci n'est pas une garantie d'élaboration d'une maquette numérique correctement structurée et encore moins de la valorisation de l'information qu'elle contient. La prise de position que nous adoptons ici reste le fruit d'un constat actuel et nous pensons justement que l'interrogation au sujet de la mobilisation des projets de papier ou non construits constitue une source de savoir et d'investigation extrêmement fertile concernant la démarche BIM.

Deuxièmement, nous considérons que la construction d'une maquette numérique nécessite l'intervention d'un réseau d'acteurs et la manipulation de logiciels BIM. Cependant, au cours de notre enquête, nous avons pu constater que ces deux postulats ne faisaient pas toujours l'unanimité. En effet, nous avons rencontré des professionnels qui revendiquent pouvoir faire un projet BIM seuls et sans construire collectivement de maquette numérique. Ainsi, Romain, responsable d'un master BIM rencontré en 2017, nous confiait : « *le BIM, c'est avant tout de l'humain et avant tout du bon sens. On peut tout à fait faire du BIM avec un papier et un crayon* ». Ce à quoi il ajoutait d'ailleurs : « *la meilleure expérience de BIM que j'ai eue a été faite avec un tableur Excel* ». Si ce discours vise précisément à remettre l'humain au centre de la démarche BIM, et à désacraliser l'importance de la technique et des logiciels BIM en particulier, nous ne partageons pas l'avis de cet expert puisque ce type de démarche ne donne justement pas lieu à la fabrication collective d'une maquette numérique. De même, Eloïse, doctorante en architecture dont le travail porte sur la démarche BIM nous a confié : « *lorsque je travaille seule avec mon logiciel et que je suis capable de faire une analyse de cycle de vie pour mesurer la quantité de béton que je dépense dans mon projet et donc de réorienter ma concep-*

tion : je fais un projet BIM ». Là encore, notre interprétation de la démarche BIM diffère de cette interlocutrice. Parler d'un projet BIM sans qu'une maquette numérique associée soit collectivement construite par les différents acteurs du projet n'a alors pas de sens. Il est alors évident que les interprétations à propos de la définition d'un projet BIM et non BIM divergent. Cette position est également défendue par Pascal, le BIM manager de la *Grande Agence d'Architecture* qui exclu les projets qui ne s'appuient pas sur l'élaboration d'une maquette numérique par l'ensemble des acteurs du projet à travers l'utilisation de logiciels dédiés.

Extrait d'entretien (Pascal, BIM manager au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

A un moment donné ils ont expliqué qu'il y avait du BIM niveau 1 et ça c'est quand t'es tout seul. Là, moi, ça ne me rentre pas dans le crâne. Déjà, je n'arrive pas à concevoir que je peux faire du BIM si je suis tout seul. Parce que la pierre angulaire du BIM c'est la collaboration. Forcément si tu collabores avec toi-même, il n'y a pas de souci et tout se passe très bien. Du coup, je ne comprends pas. Quand tu fais du BIM niveau 1, ça c'est quand tu fais une maquette numérique tout seul, comme avant! Mais à ce moment là, tu ne fais pas du BIM, tu fais une simple maquette numérique.

Remarquons ici que Pascal fait allusion aux maquette numériques entendues comme des « *modèles géométriques* » et non pas comme des « *modèles géométriques sémantiques enrichis partagés* ». De même, lorsqu'il évoque la notion de BIM niveau 1, il se réfère à une échelle produite dans la littérature BIM. Cette dernière distingue quatre niveaux de maturité BIM allant de zéro à trois et détermine le niveau d'élaboration de la maquette numérique. Le niveau le plus élevé étant le niveau trois et correspond à un niveau BIM synchrone, c'est-à-dire où tous les acteurs sont capables de travailler en même temps sur une même maquette numérique (figure 1.2).

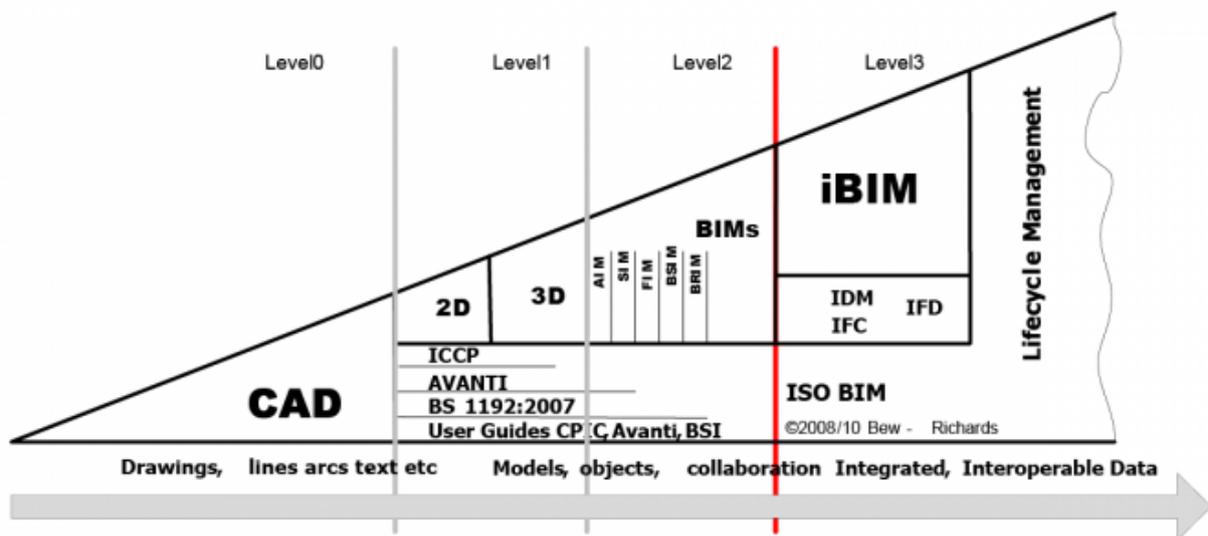


FIGURE 1.2 – Niveaux de maturité BIM basés sur une échelle allant de 0 à 3.

Source: (Bew-Richards, 2008)

1.2.2 La maquette numérique BIM : une nouvelle typologie de maquettes

Nous venons d'expliciter un premier glissement entre la maquette numérique (BIM) et la maquette numérique (non-BIM), mais en réalité, avec l'introduction de ces nouvelles maquettes numériques (BIM), il s'opère un deuxième glissement symbolique. En effet, l'élaboration de maquettes physiques, propres à l'activité de l'architecte diffère totalement de la fabrication de cette nouvelle maquette numérique. La maquette physique est ici entendue comme la traditionnelle maquette architecturale qui, jusqu'à l'arrivée de la démarche BIM, pouvait se passer de qualificatif puisque le terme maquette était univoque. De plus, dans le domaine de la construction la production de maquettes physiques est une activité exclusivement réservées aux architectes. Nous nous sommes justement attelés à montrer dans un article dans quelle mesure le BIM opère un changement disruptif pratique et symbolique entre l'élaboration d'une maquette physique et d'une maquette numérique entraînant une redéfinition des auteurs de ces objets. En effet, « *pour l'architecte, ces maquettes physiques incarnent symboliquement son autorité⁶, matérialisent son acte créateur et le définissent en tant que auteur. Elles constituent aussi des objets presque inviolables, voire sacrés, et garantissent à l'architecte, à travers leurs manifestations, une certaine considération de ses collaborateurs* » (Cristia et al., 2018). Or, avec l'introduction de la démarche BIM, l'ensemble des acteurs du projet : architectes, ingénieurs, gros œuvre, plombiers,

6. Il convient de rappeler que les noms d'auteur et d'autorité partagent une racine latine commune : auctor.

électriciens, doivent, eux aussi, produire leur propre maquette numérique et deviennent, à ce titre, eux aussi des auteurs de la maquette numérique. D'ailleurs, remarquons que d'un point de vue juridique, sur le *Grand Projet d'École* tous les acteurs cèdent à la maîtrise d'ouvrage tous leurs droits sur les données produites via les maquettes numériques qu'ils produisent.

Extrait de document : Charte BIM du *Grand Projet d'École*

« L'ensemble des entreprises attributaires des marchés de travaux, et, de manière générale de tous ceux qui sont appelés à intervenir à l'élaboration de la maquette numérique, conviennent de céder leurs droits protégés par les dispositions des articles L. 111- et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle [...]. Ces droits sont attachés tant à chacune des données transférées sur le [serveur] qu'à la maquette numérique en elle-même pour les besoins du projet. »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École*

Par ailleurs, au sein du *Grand Projet d'École*, on constate que l'ensemble de ces acteurs investissent naturellement le langage lié à l'élaboration de maquette : « *maquette, maquettage, maquetter, je fais un coup de maquette* ». En effet, si l'utilisation du champ lexical dédié à la maquette est usuellement entendue comme faisant référence à la maquette physique réalisée par les architectes, nous assistons à une mobilisation de ce champ lexical de la part de tous les acteurs du projets associant alors des enjeux qui dépassent largement le cadre de la phase de conception et de l'agence d'architecture.

Il est aussi intéressant de noter que pour une agence d'architecture telle que la *Grande Agence d'Architecture*, où la fabrication de maquettes physiques est pourtant fortement ancrée dans sa culture de projet, on constate que la démarche BIM peut progressivement annoncer la mort des maquettes physiques comme le suggère Nicolas, un jeune architecte de l'agence.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

[La maquette physique] est utile pour expliquer au client ou pour expliquer à l'entreprise [...]. Nous on sait tourner un modèle sur Revit[®] mais eux : pas forcément! En général, ils ont envie de tourner autour, que ce soit le chef de projet, Alain ou même le directeur de l'agence [...]. Sur la maquette, ils ont envie de pouvoir arracher un arbre s'il ne leur plaît pas et dire : « Là, je ne veux pas d'arbre ». Sur Revit[®] tu ne peux pas faire des choses comme ça. Tu ne peux simplement pas le faire. Après [...] même avec les chefs de projets on utilise de plus en plus les modèles Revit[®] comme outil de travail, on sort des images [du projet] directement depuis les maquettes Revit[®]. Et surtout

aujourd'hui on a un niveau de rendu automatique hyper rapide et hyper satisfaisant [...]! Je pense que c'est comme ça que la profession va évoluer : tout ce qui est maquette sera maquette de présentation et de communication. Les maquettes de conception : non je ne vois pas. A l'agence finalement [...] ce qu'on appelle maquette de conception : on la fait en bois! Tu ne peux pas travailler sur une maquette en bois! Une maquette de conception, tu la fais en mousse, en carton, tu la coupes. Une maquette en bois, s'il y a un truc qui ne te plait pas, tu refais la maquette. Après c'est aussi très spécifique à l'agence [...] mais normalement, c'est déjà plus des maquettes d'étude. Si c'était de vraies maquettes d'études, elles seraient moches en carton et scotch et pas en bois magnifiques! Il y a déjà une petite critique qui est en train de se mettre en place à cause du BIM et je pense effectivement qu'on ne s'en rend pas encore bien compte parce qu'on a les moyens de payer les supports techniques. Mais à terme, on fera plus que de la maquette de présentation, magnifique, qui finira sous une cloche en verre. Et les maquettes avec le scotch et tout le reste je ne vois pas. [Il fait un geste comme s'il mettait une maquette à la poubelle].

A travers le discours de Nicolas, on observe un phénomène analogue déjà signalé par Dominique Vinck lorsqu'il compare les maquettes physiques et les maquettes numériques dans le monde industriel de l'aéronautique. Il montre ainsi qu'à la différence de la maquette physique, la visualisation de la maquette numérique autorise de « *voler à travers la scène et/ou à travers l'objet [...] [et] leur accomplissement n'apprend rien à l'utilisateur sur l'objet et ses contraintes, contrairement au déplacement physique. Autrement dit, avec une maquette physique, se déplacer ne signifie pas seulement passer d'un point à l'autre mais accomplir et appréhender l'objet à partir du mouvement même et de l'effort de déplacement* » (Vinck, 1999a). Cet aspect représenterait ainsi une perte dans le passage de l'examen d'une maquette physique à une maquette numérique. Il ajoute aussi que les maquettes numériques devraient ainsi remplacer peu à peu les maquettes physiques qui sont trop coûteuses. Ce qui apparaît alors envisageable pour le secteur de l'aéronautique n'est-il pas aussi envisageable pour le secteur du BTP ?

Emeric, un autre architecte de la *Grande Agence d'Architecture*, nous explique que grâce à son modèle Revit[®] il a réalisé une maquette physique d'un détail du projet. En l'occurrence, il a modélisé un store et l'ensemble des pièces qui le compose. Il lui a alors suffi d'exporter chaque pièce et de les récupérer sur le logiciel de l'imprimante 3D de l'agence. Ensuite, quand l'imprimante est configurée : « *c'est tout automatique [...] et ça te sort les éléments de la maquette en direct* ». Même si la maquette

physique produite demande encore un peu de travail de post production pour que cela soit présentable, pour Emeric, ça reste plutôt facile. L'intérêt et l'utilisation ? « *Pour montrer à l'agence, à nos clients. Parfois il faut la maquette physique. Il y a des gens qui préfèrent qu'on leur montre une maquette physique plutôt qu'une image 3D* ». Mais Emeric avoue aussi que c'est aussi une manière de montrer ce que l'agence « *est capable de faire en exploitant le BIM et notamment en transformant la maquette numérique en maquette physique* ».

Par ailleurs, signalons que l'analyse faite par Nicolas à propos de la disparition de la maquette physique n'est pas isolée dans le milieu des professionnels du bâtiment. Ainsi, plusieurs architectes et BIM managers, extérieurs au *Grand Projet d'École*, nous signalaient, eux aussi, voir à travers l'appropriation du BIM, l'extinction progressive de la culture de la maquette physique. Cette vision était généralement argumentée par des motifs financiers tels que le coût en surface de travail, de matériel et en ressources humaines d'un atelier de maquette physique qui demeure, plus élevé comparativement que la place et le coût d'une imprimante 3D.

1.2.3 La maquette numérique : un objet pluriel

Daniel Estevez n'hésite pas à parler de prolifération des maquettes lorsqu'il évoque la pertinence de la production de maquettes physiques de conception (Estevez, 2014). Mais qu'en est-il des maquettes numériques pour les projets BIM ? Jusqu'à présent, nous avons volontairement évoqué la maquette numérique comme un objet singulier mais en pratique cet artefact se décline et il existe dans tout projet BIM une pluralité de maquettes numériques. De plus, au cours de notre recherche, nous avons pu constater qu'en pratique, les acteurs utilisent principalement la terminologie de maquette et ne précisent pas qu'ils parlent de maquette numérique. En parlant de maquette sans spécifier sa nature numérique, il s'opère, là encore, une vraie scission avec la dénomination symbolique de maquette. Mais ils font aussi état de « *maquette architecte, maquette structure, maquette gros-œuvre, maquette CVC* » pour parler des maquettes numériques produites par les corps de métiers correspondants. De même, il arrive qu'ils identifient les maquettes numériques via le numéro du lot qui les a produites (ex : maquette lot 01, maquette lot 07...). Dès lors, il devient nécessaire d'explicitier les spécificités de ces maquettes numériques.

Ainsi, en fonction des typologies de maquettes numériques considérées, nous utiliserons dans cette thèse, différentes terminologies en se basant sur les définitions proposées par le PTNB^{7 8} mais aussi

7. Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment

8. [www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Guides%20et%20Etudes/PTNB%20%20Guide%20Methodo%](http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Guides%20et%20Etudes/PTNB%20%20Guide%20Methodo%20)

sur des critères issus de nos observations au sein du *Grand Projet d'École* :

Maquette blanche : Elle correspond à une version préliminaire d'une maquette numérique. En pratique, elle n'a rien d'une maquette car elle ne contient aucun modèle géométrique. Elle contient uniquement les coordonnées GPS du projet. Elle s'apparente à une page de garde ou un gabarit où seront ensuite modélisées la géométrie et les méta-données qui constituent les futures maquettes numériques du projet BIM.

Maquette programmation : Elle correspond à la maquette numérique nécessaire à l'établissement du programme du projet. C'est le maître d'ouvrage qui réalise ou fait réaliser cette maquette numérique. Elle contient les contraintes programmatiques et réglementaires du projet et peut servir à la consultation des maîtres d'œuvre. A ce jour, ce type de maquettes numériques sont encore rares puisque leur réalisation dépend de la maturité BIM des maîtres d'ouvrages. Aussi, que ce soit dans le cadre du *Grand Projet d'École* ou hors de ce projet, nous n'avons pas encore pu être confronté à ce type de maquette numérique au cours de notre enquête. C'est pourquoi, nous ne nous y référerons peu dans cette recherche.

Maquette conception : Elle correspond à la maquette numérique couvrant toute la phase de conception du projet BIM. Elle est élaborée sous la responsabilité de la maîtrise d'œuvre, et dans le cadre du *Grand Projet d'École*, elle correspond à l'association de la maquette architecture et de la maquette structure en phase conception. La maquette conception peut servir à la consultation des entreprises. En pratique, la maquette conception peut aussi prendre en suffixe l'acronyme spécifiant la phase de conception par exemple maquette ESQ⁹, maquette APD¹⁰, maquette PRO¹¹.

Maquette métier : Elle correspond à la maquette numérique propre à chaque corps de métier intervenant sur le projet BIM. L'adjectif « métier » met l'accent sur le fait qu'elle est produite et réalisée par un corps de métier spécifique. On peut ainsi faire la différence entre les maquettes produites par chaque intervenant. Dans le *Grand Projet d'École*, on distingue par exemple : la maquette architecte,

20MOA.pdf

9. Phase : Esquisse

10. Phase : Avant Projet Définitif

11. Phase : Projet

la maquette structure, la maquette gros-œuvre, la maquette CVC, la maquette façade, la maquette paysagiste...

Maquette d'exécution : Elle correspond à la maquette numérique produite pendant la phase d'exécution. Son utilisation sert à l'exécution et la réalisation des ouvrages du chantier. C'est à partir des maquettes exécution que sont extraits les plans d'exécution.

Maquette chantier : Elle correspond à la maquette numérique utilisée pendant la phase chantier. C'est une compilation des maquettes exécution (ou maquettes métiers) produites par les intervenants : architecte, BET, entreprises, du projet.

Maquette synthèse : Elle peut être assimilée à une maquette chantier car elle correspond à la maquette numérique résultant de la compilation de différentes maquettes métiers. Elle est produite par les acteurs en charge de la synthèse. L'adjectif « synthèse » met l'accent sur le fait que son usage sert à faire la synthèse entre les différentes entreprises et à visualiser les conflits entre les différentes maquettes métiers, et donc, à préfigurer les éventuels conflits sur le chantier.

Maquette DOE¹² : Elle correspond à la maquette numérique représentative de l'ouvrage réalisé tel qu'il est au moment de la réception et de la livraison de l'ouvrage. La maquette DOE est remise par la maîtrise d'œuvre au maître d'ouvrage.

Maquette exploitation-maintenance : Elle correspond à la maquette numérique utile au maître d'ouvrage, au mainteneur ou à l'exploitant du bâtiment. Elle contient toutes les informations relatives à la construction de l'ouvrage et doit permettre d'aider la maintenance et l'exploitation notamment grâce à la géométrie enrichie en méta-données implémentées tout au long des phases précédant la livraison. Les informations qu'elle contient doivent alors permettre d'alimenter des logiciels de GTB¹³ ou de GMAO¹⁴.

En pratique, les maquettes programmation, conception, chantier et DOE constituent des états

13. Gestion Technique du Bâtiment

14. Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur

successifs d'une même maquette numérique qui gagne en précision au fur et à mesure de l'avancement du projet. Signalons ici, qu'à la différence du DOE papier, qui représente principalement une trace détaillant les ouvrages exécutés, la maquette DOE autorise, grâce aux données qu'elle contient, la gestion et la maintenance du bâtiment (notamment via des logiciels de GMAO et GTB). Ainsi, elle devient non plus uniquement la trace d'un acte de construction passé, mais elle acquiert une utilité et un usage numérique quasi quotidien pour la phase d'exploitation-maintenance. Comme le fait remarquer Paul, le chargé de transition numérique bâtimentaire sur le *Grand Projet d'École*, en pratique, ce n'est pas la maquette DOE qui est utilisée mais la maquette exploitation-maintenance, qui est une version dégradée de la maquette DOE.

Extrait d'entretien (Paul, Chargé de transition numérique bâtimentaire du Grand Projet d'École) —

Il y a deux cent maquettes! Bon déjà il faut les traiter, quoi! Donc, est-ce que on va garder des maquettes de référence DOE ou les faire évoluer? Doit-on créer un export et reconstituer une maquette plus légère? Mais dans les données des maquettes il y a plein d'informations qui sont pas forcément nécessaires à l'exploitation maintenance. En revanche, sur les futurs travaux, elles seront peut-être nécessaires donc d'une manière ou d'une autre il faut garder ces maquettes complètes.

Cette première mise au point concernant la terminologie des maquettes numériques des projets BIM montre qu'il existe une grande diversité de maquettes numériques. La dénomination de ces maquettes dépend alors principalement de caractéristiques telles que :

1. la phase au cours de laquelle elles sont produites : programmation, conception, chantier, exploitation-maintenance ;
2. l'intervenant qui les a produites : maquette métier, maquette architecte, maquette structure, entre autres ;
3. leur utilisation : maquette blanche, maquette synthèse.

Ainsi, la maquette numérique peut alors être vue comme une « *poupée gigogne* » car contient en elle une multitude d'autres maquettes que produisent chacun des acteurs du projet. Cependant, et pour reprendre l'échelle de maturité BIM (voir figure 1.2), notons qu'il est encore impossible de combiner toutes ces maquettes pour ne faire face qu'à une seule maquette numérique. En effet, l'élaboration d'une maquette numérique de façon synchrone (BIM niveau trois) est encore impossible, d'une part à cause des limites technologiques et l'incapacité des logiciels BIM à gérer de multiples fichiers très

volumineux et, d'autre part, à cause du niveau de compétence encore faible des acteurs du projet pour travailler à ce niveau.

Dès lors, remarquons que le caractère multiple de la maquette numérique n'est, alors, et, a priori, que le résultat temporaire d'une innovation toujours en cours d'évolution. En effet, en théorie, un projet BIM réalisé dans des conditions de BIM niveau trois, devrait pouvoir permettre l'élaboration d'une unique maquette numérique sur laquelle tous les acteurs travailleraient conjointement et de façon simultanée.

Notons que pour faciliter la lecture dans la suite nous utiliserons le terme de maquette numérique pour parler de l'artefact de façon générique sans qu'il soit nécessaire de préciser de quel type de maquette il s'agit. Et afin d'alléger l'écriture, nous omettrons donc volontairement l'adjectif numérique lorsque nous nous référerons à l'une des maquettes listées ci-dessus.

1.3 Cadrage historique : l'introduction du BIM et de la maquette numérique au secteur de la construction.

Pour comprendre pourquoi la démarche BIM et la construction d'une maquette numérique devient aussi importante, il faut revenir au début des années quatre-vingt. A cette époque la modélisation des bâtiments, basée sur la construction numérique de solides, commence à faire son apparition avec les premiers logiciels CAD¹⁵. Et ce que les architectes et le secteur de la construction traversent aujourd'hui avec le BIM, les industriels de l'aérospatial, de l'aéronautique et de l'automobile l'ont traversé au début des années quatre-vingt-dix. D'ailleurs, concernant le cas des concepteurs d'automobile, l'ethnographie de Christophe Midler sur la stratégie de création de la Twingo (Midler, 2012), postule alors que la conception n'est plus une affaire individuelle mais est devenue une affaire organisationnelle. De même, dans son travail sur le maquettage numérique dans les bureaux d'études industriels, Dominique Vinck démontre que l'évolution technique des outils modifie l'activité et les processus de conception. Il évoque en particulier la spécificité des maquettes numériques car « *supposé[e]s révolutionner les pratiques et les organisations, générer des économies substantielles et améliorer la qualité des produits. Ainsi, [elles] devraient remplacer les maquettes physiques trop coûteuses (entre 300 et 600 MF pour un avion de transport civil) et souvent trop nombreuses (200 pour la conception d'un nouveau modèle de voiture)* » (Vinck, 1999a).

Et si l'on parlait déjà dans ces recherches de maquettes numériques (Figure 1.3), c'est principalement à l'acronyme PLM¹⁶ qu'elles se rattachaient. Le Product Life Management est un management de projet qui « *fournit un environnement collaboratif global dont l'objectif est de concevoir des produits virtuellement, de gérer leur cycle de vie et de simuler leurs processus de fabrication. Ainsi, tous les processus, de la conception à la maintenance et au recyclage, en passant par le marketing, peuvent exploiter, réutiliser et enrichir les mêmes informations relatives à un produit. L'enjeu est d'intégrer tout le projet dans un même objet numérique, d'intégrer les acteurs contributeurs dans une même organisation étendue qui se coordonne via l'outil et, dès les phases amont, d'intégrer les évolutions à venir lors du cycle de vie* » (Garel, 2011) (cité par (Chaudet *et al.*, 2016)).

15. Computer Aided Design

16. Product Life Management

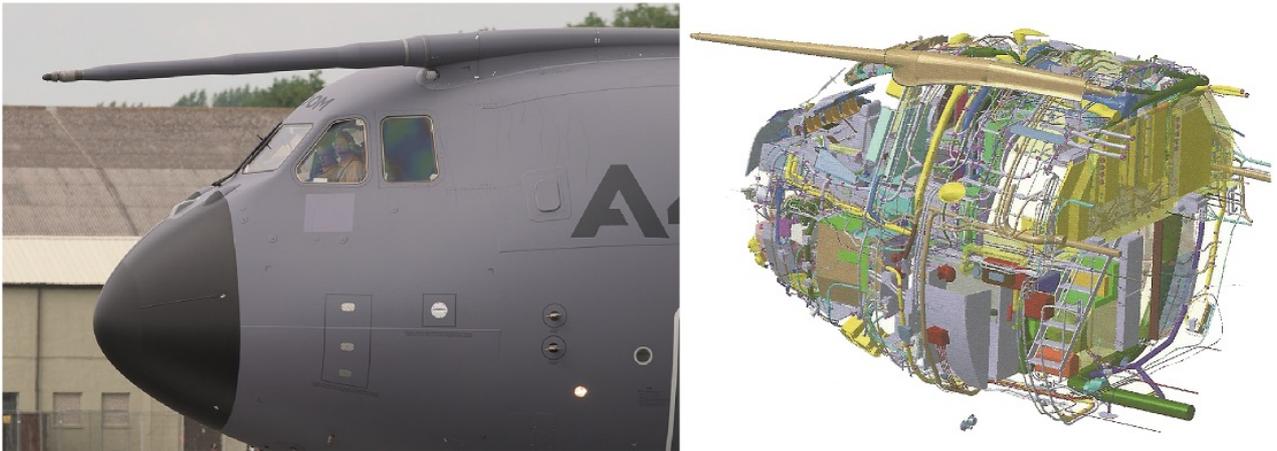


FIGURE 1.3 – A gauche : photo du cockpit d'un avion A400M, Airbus. A droite : maquette numérique du cockpit de l'A400M.

Source: Google image & Christian Père in (Terrin, 2014, p. 240)

Au cours des années deux mille le développement des TIC¹⁷ permet d'intégrer progressivement des outils d'analyse et de simulation adaptables à la filière du BTP. Pour Chuck Eastman (Eastman, 2008, p. 27), c'est l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs qui permet une réduction significative des erreurs de simulation des logiciels ainsi qu'une diminution de leurs coûts qui fait donc prendre conscience au secteur de la construction de l'intérêt de ces technologies jusqu'à s'incarner aujourd'hui sous la dénomination de BIM.

Les fondements de la démarche BIM sont ainsi forgés par un nouveau traitement de l'ensemble des informations (géométriques, physiques, de coût, de matériaux) relatives au projet et dont le paramétrage et l'analyse sont directement intégrés à une nouvelle génération de logiciels. Ce faisant, la démarche capitalise et condense les derniers développements de logiciels paramétriques et associatifs qui se distinguent par leur capacité à permettre une construction de multiples objets 3D paramétrés et régis entre eux par d'éventuels rapports d'associativités tel qu'explicité dans la figure 1.1 page 43. On notera qu'un logiciel de CAO¹⁸ ou CFAO¹⁹ est dit paramétrique lorsque les aspects quantifiables (positions, dimensions, quantités) du modèle conçu sont rendus variables et modifiables. Il est dit associatif lorsque ces différents aspects sont dépendants les uns autres. Le processus d'élaboration du modèle devient ainsi un réseau d'éléments définis par associations et paramètres. L'accès direct à la définition géométrique, et non plus comme auparavant au seul objet géométrique résultant, donne

17. Technologies de l'Information de la Communication

18. Conception Assistée par Ordinateur

19. Conception-Fabrication Assistée par Ordinateur

à la géométrie un caractère second (Girard, 2014, p. 247) et constitue la spécificité des maquettes numériques réalisées dans le cadre d'un projet industriel PLM ou d'un projet architectural BIM.

Concernant l'importation d'outils relatifs à des milieux exogènes à celui de l'architecte, Valéry Didelon rappelle que le critère d'évaluation de ces milieux (automobile, aéronautique, aérospatial) est celui de la performance technique (Didelon, 2013). Cela supposerait donc, en introduisant ces outils chez les architectes, que leur travail pourrait se réduire à la standardisation et la simple optimisation des performances d'un bâtiment, ce qui serait regrettable pour la profession. On observe ainsi des réticences de la part d'architectes à se soumettre aux nouvelles règles imposées. D'ailleurs, lors d'élections à l'Ordre des architectes d'Ile-de-France, une liste d'architectes candidats sous le nom de : *Le Printemps des architectes* diffusait un texte intitulé « *Blâmer le BIM ? Building Information Model* » critiquant ouvertement l'usage du BIM (Celnik *et al.*, 2014, p. 198). L'architecte Olivier Dufau va encore plus loin et pense que le BIM constitue un mode « *de conception des édifices par dépôts d'objets indifférents les uns aux autres [...] [et] n'est pas sans conséquences pour l'espace obtenu et ressenti. [La démarche BIM] élimine toute recherche d'un espace unitaire [...], toutes les possibilités d'harmonie, de sérénité, d'équilibre et de force sont anéanties par ce mode additif de projet architectural. Toute idée de composition architecturale ou urbaine devient définitivement impossible au profit de la juxtaposition de fragments interchangeables [...]. Nos bâtiments sont condamnés à l'obsolescence programmée par l'innovation technique* » (Dufau, 2009). De même, une étude quantitative menée en 2019 et s'appuyant sur 894 réponses de la part d'agences d'architecture, menée par Elodie Hochscheid, stipule que près de 57% des répondants pensent que la démarche BIM « *bride la liberté de conception* » (Robischon, 2020).

Mais le principal avantage prôné par la démarche BIM concerne la gestion de ces informations qui, grâce à la construction de la base de données généralisée, permet, théoriquement, un partage optimal de l'ensemble des informations à chacun des acteurs. Dans ce contexte, l'enjeu de l'interopérabilité devient central car il permet de garantir de la fiabilité des informations échangées (Sattler *et al.*, 2019). Dès lors, la capacité que peut avoir un logiciel utilisé par un acteur à fonctionner avec autre logiciel utilisé par un second acteur devient capital dans le déroulement d'un projet BIM. Car pour que l'ensemble du système soit performant, il faut que chaque acteur puisse par le biais de son logiciel : lire, utiliser et partager ses propres informations mais aussi celles de ses collaborateurs. Cependant, cela n'empêche pas les projets BIM de s'imposer progressivement comme étant une - sinon l'unique - réponse généralisée aux nouveaux défis de coopération, de performance, de production et durabilité

auxquels font face les architectes (Marie & Terrin, 2012) et plus largement notre société.

Enfin, à propos du succès que l'on observe actuellement autour des projets BIM, il reste nécessaire de ne pas tomber dans l'aveuglement. Vincent Mangematin nous rappelle justement que tous les succès technologiques ne peuvent absolument pas être décorrélés « *des effets d'annonce, manipulation des anticipations, lobbying auprès des pouvoirs publics et transformation des objets techniques, marketing et fixation des prix* » (Mangematin, 1993). Leur succès devient alors, aussi, une affaire de capacité manœuvrière. Dans le cas du développement des projets BIM, il serait naïf de croire que leur succès tient à leurs capacités de résolutions magiques, inconditionnelles et sans contreparties des problématiques de construction telles que : une meilleure qualité des ouvrages, la diminution du temps d'exécution, l'amélioration de la gestion des chantiers, le respect des délais, la maîtrise des coûts, entre autres.

1.4 Les acteurs clés du développement des projets BIM

1.4.1 Les politiques publiques face aux enjeux BIM

Partout dans le monde, la mise en place de la démarche BIM est en pleine expansion et la vitesse de mise en application de ces projets varie en fonction des réglementations et de la capacité des différents corps professionnels à répondre aux nouvelles exigences BIM. Mohamad Kassem (Kassem & Succar, 2016) nous rappelle ainsi que les pratiques BIM dépendent largement des politiques en place et explique, en partie, pourquoi leur appropriation reste très inégale d'un pays à l'autre²⁰. D'ailleurs, après les États nord-américains et plusieurs pays d'Asie, l'Europe s'est prononcée en 2014 en faveur de l'utilisation d'outils BIM pour les marchés publics.

Extrait de document : article 22.4 de la directive 2014/24/UE

« *pour les marchés publics de travaux et les concours, les États membres peuvent exiger l'utilisation d'outils électroniques particuliers tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires* »^a

a. www.marche-public.fr/Directive-2014-24-UE/22-regles-applicables-aux-communications.htm

L'utilisation des termes « *outils électroniques particuliers* » et « *outils de modélisation électronique des données du bâtiment* » renvoient de façon explicite, aux outils et logiciels BIM. De même, l'évocation des « *données du bâtiment* » est une référence directe à la maquette numérique. Dès lors, remarquons aussi que pour les marchés publics, les États peuvent exiger l'utilisation de ces outils BIM.

Par ailleurs, plusieurs pays européens, tels que le Royaume-Uni, le Danemark, les Pays-Bas, la Finlande ou la Norvège ont déjà fait de la base de données généralisée l'objet d'une consécration légale (PTNB, 2018). Et si la France n'a pas encore fait de la maquette numérique une obligation, de nombreux signes allant dans le sens d'une incitation générale à la réalisation de projets BIM peuvent être recensés. On retiendra par exemple :

- l'allocation de Cécile Duflot : « *il faut déployer la maquette numérique [...] que nous allons rendre progressivement obligatoire dans les marchés publics en 2017 [...] avec pour objectif d'avoir une vraie carte vitale du bâtiment* »²¹ ;
- les directives du PTNB, mises en place en 2014 qui placent la démarche BIM comme cible

20. On pourra consulter à ce sujet d'autres travaux de l'auteur : (Kassem *et al.*, 2013; Kassem & Succar, 2017).

21. Déclaration de Cécile Duflot issue d'un entretien réalisé avec le Moniteur en mars 2014.

prioritaire ;

— les déclarations de l'Ordre des architectes en faveur de la démarche BIM (CNOA, 2015).

Dans la troisième édition de l'observatoire démographique et économique de la profession d'architecte, le document *Archigraphie 2018*²² édité par le Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) rappelle ouvertement que depuis la « *date du lancement du PTNB [...], les pouvoirs publics ainsi que l'Ordre des architectes ont fait la promotion du BIM afin de l'introduire sur les marchés publics français* »²³. Enfin notons que pour Sébastien, l'assistant maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École*, si l'État français pousse une grande partie du tissu économique à intégrer la démarche BIM, c'est principalement en réponse aux pressions concurrentielles des autres pays.

En janvier 2019, le plan « *BIM 2022* » de quatre ans a été mis en place dans la continuité du PTNB. Son responsable, Julien Denormandie, Ministre auprès de la ministre de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales, chargé de la Ville et du Logement signalait alors que ce nouveau plan a pour objectif de « *généraliser l'utilisation du numérique dans le bâtiment d'ici 2022* » (Denormandie, 2019). Le gouvernement a alors alloué une enveloppe de dix millions d'euros au PTNB pour atteindre les objectifs qui s'articulent selon deux axes :

1. « *Généraliser la commande en BIM dans l'ensemble de la construction* »
2. « *Déployer le BIM dans tous les territoires et pour tous grâce aux outils adaptés* »

Ainsi, l'allocution de l'ancienne ministre Cécile Duflot de 2014 ainsi que les récentes mises à jour des objectifs du PTNB soutenus par le gouvernement français, démontrent une prise de position ouvertement favorable et encourageante vers la démarche BIM. Dès lors, tout porte à croire qu'au long terme, l'ensemble du secteur de la construction sera amené à adopter une démarche BIM pour pouvoir réaliser une opération issue d'un marché public.

1.4.2 Le rôle des médias

Dans la stratégie d'appropriation, d'adoption et d'implémentation de la démarche BIM, les médias constituent certainement une organisation clé. Dans cet exercice, on constate que le groupe Moniteur s'est particulièrement illustré. Le moteur de recherche de la version web recense dans la période du

22. Archigraphie 2018 constitue la troisième édition de l'observatoire démographique et économique de la profession d'architecte. Les données s'appuient sur une enquête menée par le CREDOC (Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de Vie). Le document est disponible à l'adresse : www.issuu.com/ordre-national-des-architectes

23. Document disponible à l'adresse : www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/archigraphie-2018-web_0.pdf.

1er janvier 2014 à août 2019 près de 1484 articles qui contiennent le mot-clé « BIM » et près de 941 articles contenant ceux de « maquette numérique ». Ces chiffres signalent que sur ces cinq dernières années, en moyenne, plus d'un article par jour a été diffusé sur la thématique BIM par le groupe. Mais au-delà des articles qui font, quasi-unaniment, l'éloge de la démarche BIM et érige les producteurs de maquettes numériques au rang de star (figure 1.4), le tour de force du groupe Moniteur vient certainement de la mise en place d'un nouveau type de prix : le BIM d'Or. A ce propos, rappelons que lorsque Florent Champy fait référence à la qualité architecturale, il mentionne aussi l'importance des prix délivrés par l'État mais il y ajoute volontiers les prix créés par le groupe privé car il considère que « *tous font autorité dans le domaine architectural* » (Champy, 2001, p. 75)(figure 1.5).



FIGURE 1.4 – Couverture du magazine Moniteur de septembre 2015.

Source: Google Image

<i>Prix</i>	<i>décerné</i>	<i>par...</i>	<i>à...</i>	<i>pour...</i>
Grand prix national d'architecture	depuis 1975	le directeur de l'Architecture	un architecte	l'ensemble de son œuvre
Albums de la jeune architecture	depuis 1980	le directeur de l'Architecture	des équipes de jeunes architectes	l'ensemble de leurs réalisations
Prix Moniteur de la première œuvre	depuis 1983	le groupe Moniteur	un jeune architecte	sa première réalisation
Équerre d'argent	depuis 1983	le groupe Moniteur	un architecte	l'ensemble de son œuvre
Participation à l'exposition « Architecture publique »	en 1986, 1988 et 1990	la MOCOP	un architecte et un maître d'ouvrage public	une construction publique
Participation à l'exposition « 40 architectes de moins de 40 ans »	en 1990 et 1991	l'Institut français d'architecture	40 jeunes architectes de Paris et 40 jeunes architectes de province	leurs projets et réalisations

FIGURE 1.5 – Les principaux Prix d'architecture.

Source: (Champy, 2001, p. 75)

Aussi, après l'Équerre d'argent qui couronne historiquement, chaque année, un architecte et un maître d'ouvrage pour la qualité d'un bâtiment réalisé sur le sol français, l'organe de presse introduit en 2014 le prix du BIM d'Or. Notons alors que sur le podium des prix que délivre le groupe, le BIM d'Or relègue symboliquement l'Équerre d'argent à la deuxième marche. Mais il existe aussi des trophées BIM se trouvant, eux aussi, sur la seconde marche : les BIM d'argent. En construisant de nouveaux prix le média ne participe-t-il pas implicitement à brouiller les pistes des représentations de la qualité des projets architecturaux associée à une démarche BIM ? On peut ainsi se questionner : un BIM d'Or est-il un gage de plus grande qualité architecturale qu'une Équerre d'argent ? Que mesure et récompense vraiment un BIM d'Or ?

Par ailleurs, on remarquera aussi que la matérialité et la symbolique géométrique du BIM d'Or et de l'Équerre d'argent n'ont rien de comparables. Le triangle, le carré et le cercle avec effet acier pour l'Équerre d'argent contre le prisme de plexiglas transparent sur lequel il est nécessaire d'inscrire la mention « BIM d'Or » afin de ne pas se méprendre sur la valeur de l'objet pour le BIM d'Or (figure

1.6).



FIGURE 1.6 – En haut : trophée de l’Equerre d’Argent. En bas : trophée du BIM d’Or.

Source: Google Image

Le groupe Moniteur, après avoir fait le choix d’une matérialité et d’une géométrie fortes pour l’Equerre d’argent, choisit un matériau moins noble et une géométrie quasi-banale pour incarner la démarche BIM. Et si le trophée de l’Equerre d’argent symbolise encore le pouvoir créateur de l’architecte, l’absence de matérialité et de géométrie concernant le BIM d’Or questionne quant aux valeurs symboliques que ce nouveau trophée entend saluer. Remarquons d’ailleurs que cette « absence de matérialité » ou de géométrie se retrouve dans de nombreux autres trophées BIM (figure 1.7). Se pose alors la question de savoir pourquoi le plexiglas transparent est-il le plus à même d’incarner la démarche BIM ? Est-ce là une critique matérialiste ou un stratagème de communication consistant à rendre transparente la couche de numérique nécessairement sous-tendue à tout projet BIM ? Quoi qu’il en soit, le prisme transparent semble vouloir symboliquement remplacer la « *boite noire* » numérique de la démarche BIM (Girard, 2014, p. 155).

Dès lors, on peut se poser la question : mais de quoi le BIM d’Or est-il réellement le sacré ? Peut-on si facilement l’ajouter à la liste de Florent Champy comme un nouveau prix faisant état d’une certaine qualité architecturale ? Si la question demeure largement ouverte, notre enquête au sein du *Grand Projet d’École*, qui a lui aussi été sacré BIM d’Or, nous a permis de questionner différents acteurs à ce sujet. En particulier il nous intéressait de comprendre comment et sur quels critères se remporte



FIGURE 1.7 – Exemple de Prix BIM trouvés sur Google image avec les mots clés : « *BIM Trophy* ».

Source: Google Image

un tel prix. Mais aussi quelles en sont les retombées pour les différents acteurs ?

Jacques, le président de la grande école et maître d'ouvrage ; Laurence, la directrice du projet *Grand Projet d'École* côté maîtrise d'ouvrage ; Pierre, architecte et ex-*Partner*-Associé de la *Grande Agence d'Architecture*, Alain, architecte et *Partner* ayant repris le travail de Pierre après son départ, ou encore de Pascal, le BIM manager de l'agence, nous ont ainsi partagé leur avis sur ce sujet. Nous avons aussi pu consulter le dossier de candidature du *Grand Projet d'École* remis pour le BIM d'Or. Ce dernier comprend :

- un formulaire de candidature explicitant les principaux enjeux du projet BIM ;
- une présentation avec des photos du projet ;
- un exemple de maquette numérique ;
- une courte vidéo « *permettant de visualiser les spécialités traitées en BIM* ».

Premièrement, nous remarquons que dans la candidature déposée, c'est Pascal, le BIM manager, et non pas un architecte de la maîtrise d'œuvre, qui est identifié comme l'auteur du projet. Remarquons aussi que dans les archives photographiques de la remise du prix, ni l'architecte emblématique de la *Grande Agence d'Architecture* ni un *Partner* ni un associé ne semble être présent lors de la cérémonie de remise des prix. Le BIM d'Or du *Grand Projet d'École* est ainsi reçu par des représentants de la maîtrise d'ouvrage : Jacques, Laurence et Sébastien et un représentant de la maîtrise d'œuvre : Pascal,

le BIM manager de la *Grande Agence d'Architecture*. D'ailleurs, Alain, qui ne travaillait pas encore sur le projet au moment du dépôt de candidature, ne se souvient pas que l'agence ait été particulièrement touchée par cet évènement ni même qu'elle ait célébré ce prix. En revanche, il se rappelle qu'à cette même période, une grande fête avait été organisée lorsque la *Grande Agence d'Architecture* avait gagné un autre très grand projet public. Et même si Alain se réjouit de ce prix, il ne pense pas que concourir plusieurs fois pour le BIM d'Or ait un quelconque intérêt. Il évoque l'aspect marketing qui lui semble d'ailleurs plus important que la réalité de la construction et ajoute qu'à son avis, s'ils ont remporté ce prix, c'est principalement grâce à la bonne organisation de leur agence et au fait d'avoir un bon BIM manager. Notons ici que pour Alain, remporter un BIM d'Or est principalement dû à une bonne organisation interne et des compétences d'un acteur en particulier : le BIM manager.

Aussi, lorsqu'on interroge justement le BIM manager Pascal sur les raisons qui leur ont fait remporter ce prix sa réponse se veut délibérément provocante mais semble aller dans le même sens :

Extrait d'entretien (Pascal, BIM manager au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Je comprends pas, je ne sais pas parce que de toute façon tout ce qu'on fait là sur ce projet, on le fait sur quinze autres projets en même temps.

Dès lors, on peut penser que puisque la *Grande Agence d'Architecture* est bien organisée et dispose d'un BIM manager travaillant sur des multiples projets, elle aurait tout autant pu remporter ce prix pour un autre projet. On peut alors se questionner : le BIM d'Or est-il encore véritablement associé à un projet architectural ? Ce type de prix n'est-il finalement qu'une manière de certifier une certaine organisation ou que des acteurs maîtrisent la démarche BIM ? Ce prix est-il véritablement une mesure de la qualité architecturale ?

Par ailleurs, signalons aussi qu'une agence à la réputation de la *Grande Agence d'Architecture* apporte beaucoup plus d'importance au prestige de remporter un nouveau projet que de gagner un BIM d'Or. Bien entendu, à la différence d'un prix, remporter un projet, c'est aussi gagner du travail. On pourrait aussi expliquer cette différence de reconnaissance car un BIM d'Or n'a pas encore le prestige ou la notoriété d'un prix Pritzker ou d'une Equerre d'argent. Mais cela pourrait aussi s'expliquer par le fait que pour un architecte, vouloir s'enorgueillir d'être bien organisé ou d'avoir un bon BIM manager est quelque chose de tout à fait nouveau et dont il ne mesure pas la portée et le bénéfice que cela peut lui apporter. Mais c'est aussi dû au fait que ce n'est pas son expertise d'architecte qui est saluée par

ce prix mais celle du BIM manager !

Du côté de la maîtrise d'ouvrage, nous avons interrogé Laurence, la directrice du *Grand Projet d'École* sur la qualité architecturale que pourrait venir saluer ce nouveau type de prix. Elle nous explique alors :

Extrait d'entretien (Laurence, maître d'ouvrage, directrice du *Grand Projet d'École*) —

Attends, c'est [la *Grande Agence d'Architecture*], ça reste [la *Grande Agence d'Architecture*], donc ils ne prennent pas de risques à nous choisir! Tu choisis un projet quand même. Quand tu choisis d'attribuer le prix à un projet [de la *Grande Agence d'Architecture*], tu ne prends pas de risque architectural [...] et sur le BIM, on avait [Pascal] qui est quand même une pointure [...]. Là ce qu'on reconnaissait, c'est que c'était un des premiers projets qui était « *full BIM* ». C'est-à-dire qu'on allait loin dans le BIM et que tout le projet, tout est couvert par le BIM, même les arbres, ils sont modélisés dans la maquette! Tout! Tout! Tout! C'était un projet complet!

Il convient ici de rappeler que la France débute depuis moins de six ans ses premières expériences pratiques de construction BIM. Les retours d'expérience sur des projets BIM demeurent quasiment inexistant ce qui confère au *Grand Projet d'École* un caractère très précoce vis-à-vis de la démarche BIM. De plus, concernant le BIM d'Or, on s'aperçoit que pour la directrice du projet, la notoriété de la *Grande Agence d'Architecture* constitue déjà une garantie de la qualité architecturale. Le prix récompense alors plutôt la forte implication de la part de l'ensemble des acteurs dans la démarche BIM notamment avec l'idée d'un projet « *full BIM* ». D'ailleurs le caractère « *full BIM* » s'illustre à l'époque par le fait que l'ensemble des acteurs du projet sont contractuellement tenus de modéliser dans la maquette numérique les éléments dont ils ont la responsabilité et ce, jusqu'aux arbres du paysagiste (ce qui est à ce jour une caractéristique suffisamment rare pour être signalée²⁴). De plus, Laurence, qui a participé au jury du BIM d'Or l'année suivante, nous explique alors qu'une grande attention est portée sur la structuration de la donnée dans les maquettes numériques .

24. A plusieurs reprises au cours de notre enquête Sylvie, la paysagiste, est considérée par les acteurs du *Grand Projet d'École* comme étant probablement la seule paysagiste française à savoir travailler en maquettes numériques.

Extrait d'entretien (Laurence, maître d'ouvrage, directrice du *Grand Projet d'École*) —

Il y avait des gens de chez Autodesk [...] qui savaient rentrer dans les maquettes [...] et qui disaient : « *ce projet-là il est hyper bien structuré, les maquettes sont bien foutues [...] les choses sont bien renseignées, ça marche bien* » ! C'est vraiment le BIM qu'ils regardent, c'est pas la qualité architecturale !

Le discours que tient Laurence est révélateur d'une vraie nouveauté car contrairement à la liste de prix auquel fait référence Florent Champy (figure 1.5), on ne cherche pas à récompenser la qualité architecturale d'un bâtiment mais on cherche à récompenser « *le BIM* ». D'ailleurs, rappelons qu'au moment de remporter le BIM d'Or, le chantier du *Grand Projet d'École* n'a même pas encore débuté. En particulier, l'expérience de jury de Laurence montre que regarder et évaluer « *le BIM* » consiste à analyser les maquettes numériques et vérifier la structuration de la donnée. Ceci démontre une nouvelle fois la place centrale que prend la maquette numérique et les informations qu'elle contient dans la démarche BIM.

Concernant le BIM d'Or, il apparaît donc qu'il soit moins question d'évaluer la prouesse technique, une spatialité innovante ou la qualité de réalisation d'un projet mais plutôt de saluer la manière dont sont organisés les acteurs du projet et la manière dont sont structurées les données de la maquette numérique. Ceci explique d'ailleurs pourquoi il devient plus pertinent d'identifier dans la fiche de candidature le BIM manager plutôt que l'architecte comme auteur du projet BIM.

Avec l'introduction de ce type de prix il s'opère un glissement car le projet architectural est dorénavant évalué par le nouveau prisme que constitue sa maquette numérique. Tout semble se passer comme si c'était la maquette numérique et « *l'architecture de la donnée numérique* » qui la compose qui devenait l'objet d'une récompense et non plus le bâtiment lui-même. Ainsi, les prix BIM ne récompensent pas la qualité architecturale d'un bâtiment mais plutôt la manière dont sont structurées les informations contenues dans la maquette numérique associée au projet architectural.

Dès lors, quels gains peut-on retirer à remporter un tel prix ? Et si, a posteriori, la *Grande Agence d'Architecture* recueillera très certainement des bénéfices publicitaires pour avoir reçu un BIM d'Or, remarquons que les architectes de la *Grande Agence d'Architecture* que nous avons questionnés ne tirent pas véritablement une grande fierté de ce prix. Et pour cause, nous venons de voir que le trophée ne semble pas être destiné à récompenser la qualité de conception ou de réalisation d'un ouvrage qui constitue finalement le cœur de métier des architectes mais il récompense l'organisation

et les compétence des BIM managers. On est d'ailleurs en droit de se demander si ce type de prix ne pourraient pas participer à une nouvelle forme de « *reconnaissance par la critique* » des BIM manager ? Et donc, in fine, participer à des stratégies de reconnaissances et de « *starification* » de ces nouveaux professionnels qui sont des mécanismes complexes mais déjà éprouvés par les architectes et mis en lumière dans les travaux de Véronique Biau (Biau, 1996, 2018). Du côté de la maîtrise d'ouvrage, les retombées d'un tel prix apparaissent relativement plus claires. Jacques nous explique qu'avoir gagné le BIM d'Or a permis de radicaliser sa posture dans la mesure où, après cet évènement, la démarche BIM est devenue un nouvel axe d'explication du projet.

Extrait d'entretien (Jacques, maître d'ouvrage, président de la Grande École)

A partir de ce moment-là je me dis qu'il me faut un élément tangible pour expliquer [le projet] : un « *quick-win* » [...] qui permette d'expliquer la démarche et ça va être la maquette numérique immersive 3D [...]. A l'époque, ça a marqué les esprits[...]! Lors des journées du personnel, les gens peuvent mettre des lunettes et se promener dans le bâtiment, alors là, les usagers passent [...] et il y a une activité qui consiste à entrer dans le bâtiment et s'y promener de façon virtuelle. Et c'est bien [grâce à] la maquette BIM, ça a changé la façon de présenter le projet.

Jacques nous explique que ce prix a permis légitimer et valider la pertinence du projet BIM. La démarche BIM devient alors un argument de communication : un « *quick-win* ». Le maître d'ouvrage a effectivement besoin de rassurer son personnel et les futurs utilisateurs du bâtiment quant au déroulement de l'opération de construction. Aussi, l'immersion virtuelle dans le bâtiment rendue possible grâce à la maquette numérique semble avoir permis d'évacuer de nombreux doutes quant au projet tout légitimant sa décision d'adopter la démarche BIM.

Extrait de document : La maquette numérique dans le secteur du bâtiment

« *En maîtrise d'ouvrage, la maquette numérique sert essentiellement comme support de communication qui permet de mieux présenter le projet et de convaincre de l'intérêt du projet pour des gens qui n'ont pas l'habitude de lire sur des plans. La maquette numérique est ainsi surtout utilisée comme un outil de visualisation 3D sans toutes les données de chaque élément. Et donc, dans la plupart des cas, une représentation virtuelle « commerciale » du bâtiment, sans les éléments techniques associés, suffirait.* »^a

a. (Chaudet *et al.*, 2016)

Les propos de Jacques confirme l'analyse de Bruno Chaudet (Chaudet *et al.*, 2016) qui estime

qu'aujourd'hui la maquette numérique est principalement un support de communication pour la maîtrise d'ouvrage. En revanche, cela pose nécessairement la question de l'utilité de la démarche BIM et de la production de maquette numérique si elle est uniquement mobilisée comme un support de communication. En effet, il reste tout à fait possible de construire une maquette numérique (non-BIM), dont le coût de production reste très largement inférieur à une maquette numérique BIM, si l'usage est uniquement un usage commercial et de communication.

Concernant le trophée du BIM d'Or, on constate alors que ce type de prix n'a pas la même valeur et n'est pas réinvesti de la même manière par les acteurs qui le reçoivent. Ainsi, d'une part, le BIM d'Or salue l'organisation et la qualité de structuration des données de la maquette numérique ce qui est difficilement réinvesti par les architectes. D'autre part, le trophée constitue un argument de communication participant plus à justifier la démarche BIM engagée auprès des futurs usagers mais n'en demeure pas pour autant un gage de qualité architecturale. D'ailleurs, soulignons, la qualité de structuration des données d'une maquette numérique ne peut en aucun cas présupposer de la qualité architecturale ou d'usage d'un bâtiment.

Enfin, n'oublions pas que le groupe Moniteur, les industries du logiciel et du bâtiment profitent, eux aussi, largement des événements que constituent les remises de prix. D'autant plus que le groupe Moniteur appartient depuis 2013 à l'entreprise InfoPro Digital dont une partie des activités concerne le développement de logiciels pour l'industrie automobile et du bâtiment. Et comme le fait remarquer l'enseignant et architecte Jérôme Guéneau, les paroles qui s'imposent aujourd'hui sont principalement celles « *des industries des logiciels lesquelles à l'instar des fabricants de produits du bâtiment, [...] imposent leurs normes* » (Guéneau, 2019, p. 4). De même, Valéry Didelon considère qu'il reste « *bien difficile d'évaluer les éventuels avantages et les inconvénients du BIM, tant les discours à son endroit sont unanimement enthousiastes, parce que monopolisés par des acteurs intéressés : éditeurs de logiciels, consultants informatiques, architectes et ingénieurs ayant acquis la compétence* » (Didelon, 2013, p. 73). Et même si nous n'avons pas mené d'investigation sur les retombées que pourrait avoir ce type d'événements pour le groupe organisateur et autres groupes industriels, on ne doute pas que la couverture médiatique offerte à un événement mettant en scène de grands groupes de construction, de grandes agences d'architecture et d'importants projets publics ou privés, ne soit pas sans effets bénéfiques.

1.4.3 Le rôle particulier des maîtres d'ouvrages publics

Le processus d'appropriation et d'implémentation de la démarche BIM sur le plan national passe nécessairement par une appropriation des enjeux BIM par la maîtrise d'ouvrage publique. Les résultats d'une étude basée sur des données du JOUE²⁵ et publiée par le CNOA²⁶ montre que la demande BIM dans les concours publics a beaucoup progressé ces dernières années²⁷. Cette étude comptabilise, entre 2013 et 2015, que seuls 0,49% des concours d'architecture faisaient référence au BIM alors que sur la période 2016-2018, près de « 10% des concours de maîtrise d'œuvre lancés en France intègrent des exigences en matière de BIM et de maquette numérique »²⁸. Sur cette même période 2016-2018, le rapport montre cependant que la remise des prestations sous forme de maquette numérique lors de la phase d'évaluation des projets demeure encore très marginale et n'est imposée que dans 0,54% de la totalité des concours recensés. Enfin, si ces données concernent uniquement la commande publique, rappelons que ces commandes représentent près d'un tiers du montant total des travaux réalisés en France. En effet, en 2016 le montant des travaux réalisés par les maîtres d'ouvrages publics représentait près de 39% du montant total des travaux. Et ce montant est en moyenne évalué à 31% sur les dix dernières années (figure 1.8).

25. Journal Officiel de l'Union Européenne

26. Conseil National de l'Ordre des Architectes

27. <https://www.architectes.org/actualites/bim-une-demande-croissante-dans-la-commande-publique>

28. <https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/bim-concours.pdf>

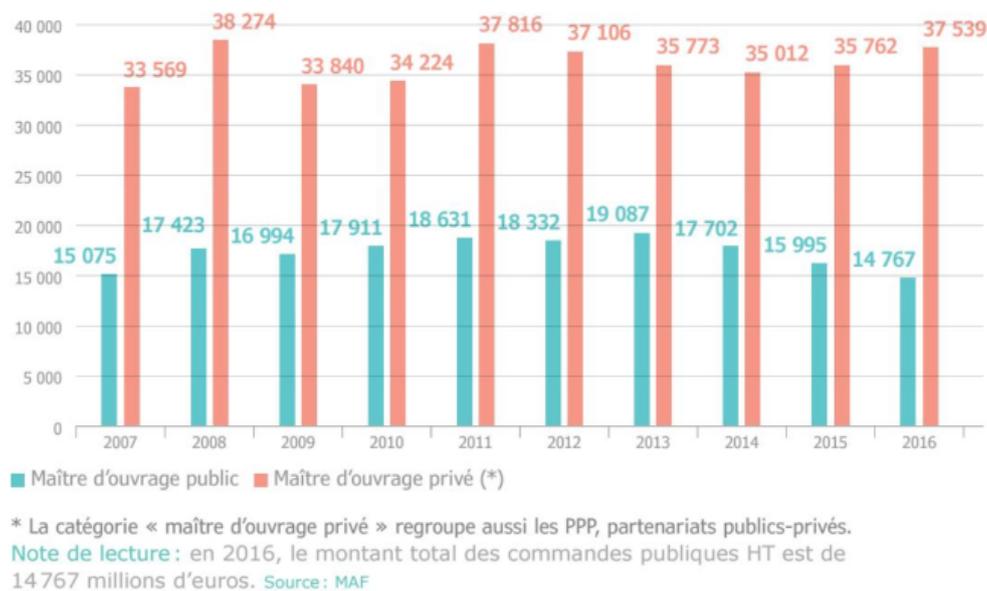


FIGURE 1.8 – Évolution des montants totaux de travaux (en millions d'euros) par type de maître d'ouvrage, 2007-2016

Source: (Archigraphie, 2016, p. 92)²⁹

De plus, parmi les 10% des « *concours BIM* » auxquels l'article fait référence, le CNOA rappelle que le critère de « *compétence BIM* » représente près de 68% de ces références. Cependant, les compétences exigées et la nature des missions confiées demeurent encore très imprécises. La publication recense ainsi une grande diversité de terminologies utilisées pour décrire les exigences des maîtres d'ouvrages : « *AMO BIM ; BIM Management ; gestionnaire BIM ; démarche BIM ; coordinateur BIM ; gestionnaire de maquette numérique communicante BIM ; mission Building Information Model ; BIM équivalent niveau 2 ; gestion de projet en BIM* »³⁰. Ces imprécisions démontrent un degré de maturité encore faible des maîtres d'ouvrage et révèlent l'ambiguïté de leurs attentes et de leurs besoins vis-à-vis de la démarche BIM. Par ailleurs, ce manque de maturité rend plus difficile l'identification de projets BIM susceptibles de préfigurer les nouvelles pratiques de projet à venir.

Le concours du *Grand Projet d'École* n'est probablement pas comptabilisé dans les 0,49% des « *concours BIM* » puisque la maîtrise d'ouvrage nous rappelle qu'aucune prérogative BIM n'avait été énoncée lors du concours lancé au printemps 2013. Questionnée sur les circonstances du passage à un projet BIM, Laurence se souvient que dans les premières phases du projet la démarche BIM lui était totalement inconnue :

30. Article disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/actualites/bim-une-demande-croissante-dans-la-commande-publique>

Extrait d'entretien (Laurence, maître d'ouvrage, directrice du *Grand Projet d'École*) —

Les lauréats du concours sont notifiés en janvier 2014 [...] on a signé en mars 2014 le marché de maîtrise d'œuvre avec la *Grande Agence d'Architecture*. Et là, on ne parlait encore pas de BIM [...]. Quand on a signé il y a rien dans le marché sur le BIM. Rien du tout [...]. Ça doit être un peu après là qu[e] [Pierre, l'architecte] a commencé à nous dire : « *ouais, on pourrait faire le projet en BIM, c'est vachement bien* »! Et là, on dit : « *c'est quoi* »? [Il] nous a dit : « *c'est vachement bien, nous, on a déjà fait des projets en BIM, notamment aux États-Unis et ça serait vraiment bien de faire ça avec vous [...]* »! Et puis on a commencé à discuter et c'est là que, très vite, on a compris que ce serait vraiment intéressant pour nous, en tant que futur exploitant, enfin que ce serait vraiment intéressant pendant les études, mais surtout en tant que futur exploitant.

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

C'est venu de chez nous [...] l'idée de départ de faire un projet BIM, c'est Pierre et notamment Pascal [le BIM manager] qui lui avait bien vendu tous les avantages.

Si pour Laurence l'idée de mener le projet selon une démarche BIM est initialement proposée par la maîtrise d'œuvre via l'architecte Pierre, ce dernier pense au contraire que « *l'idée du BIM, émerge vraiment de Laurence [...] c'est elle qui a l'idée de départ* ». Et bien que personne ne semble vouloir revendiquer la paternité de l'idée du projet BIM, l'initiative se trouve fortement portée par ces deux acteurs ainsi que par Pascal, le BIM manager. Pierre et Laurence y voient l'occasion de mener un projet à fort caractère innovant. Et puisque les documents du marché de maîtrise d'œuvre ne font pas référence au « *BIM* » ou à « *la maquette numérique* », c'est donc au cours des discussions des études de l'APS³¹ que s'affirme l'idée d'un projet BIM. Laurence évoque aussi un intérêt pour l'exploitation et nous avons donc cherché à comprendre plus précisément comment la maîtrise d'ouvrage projetait les bénéfices de la démarche BIM. Concernant cette phase, Jacques, le maître d'ouvrage, nous fait alors comprendre que la problématique de coût global a été centrale.

31. Phase : Avant-Projet Sommaire

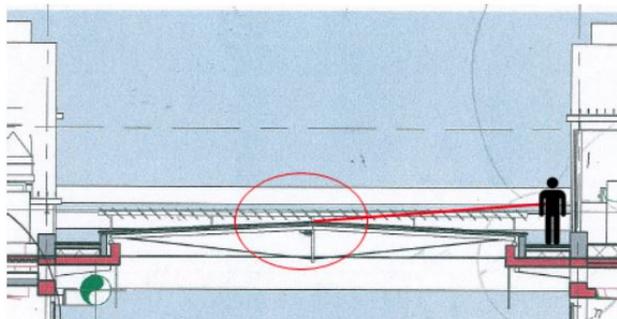
Extrait d'entretien (Jacques, maître d'ouvrage, président de la Grande École)

Depuis le début, [Laurence] est soucieuse que tout le raisonnement soit conduit en coût global, c'est à dire tenir en même temps deux chiffres qui sont le coût du projet et le coût de l'exploitation maintenance du bâtiment pendant dix ans. Même si c'est un peu théorique, parce que c'est une projection, c'est une démarche, une pensée générale. A ce moment-là, on ne parle pas du BIM [...]. Mais le BIM n'est qu'un élément de cette démarche. Je pense que ce qui a été le plus important pour nous [...] c'est vraiment de dire : « *on va faire travailler l'architecte, tout de suite, avec cette préoccupation anticipée de l'exploitation maintenance* »! Et je ne dirais pas que la question du BIM m'ait été posée, avant que je voie l'architecte. Je ne sais même pas si je connais le mot, c'est pas sûr [...]. Par contre, ce dont on a beaucoup parlé, c'est de l'exploitation-maintenance et des coûts d'exploitation-maintenance alors quand on parle du coût global, on déroule toute une série d'éléments, qui sont : bien prévoir quand on conçoit quelque chose, le coût, la façon de l'exploiter. Quand on fait une verrière, il faut faire attention à comment on va la nettoyer. Et quand on fabrique un bâtiment, il faut qu'on ait un DOE qui soit utile, pour ensuite, exploiter le bâtiment, le maintenir, programmer le GER^a et cette préoccupation-là, elle existe! Je ne dirais pas que c'est le BIM [...]. Mais à l'époque, on se dit, bon ça va coûter un peu plus cher de travailler en BIM, mais [...] on a fait le lien entre ça et l'approche en coût global. Moi, ce qui m'intéresse là-dedans, c'est deux choses : d'une part, c'est de dire [...] on fait un projet architectural pour notre bâtiment et on a l'opportunité de se placer dans les perspectives d'innovations technologiques qui sont celles de l'industrie du bâtiment avec la transition numérique. C'est quand même une chose intéressante à faire. Autrement dit, je me dis, pour le dire de façon un peu plus marketing, c'est logique qu'on soit [le premier *Grand Projet d'École*] conçu en numérique [...]. Puis le deuxième aspect, c'est le lien qu'on fait [...] entre la démarche en coût global et le BIM. C'est-à-dire, la capacité que l'on aurait à gagner sur le coût global du bâtiment. Autrement dit, il vaut mieux dépenser de l'argent maintenant, en investissant sur une méthodologie en BIM et baisser le coût de l'exploitation à dix ans, qui est dans un ratio classiquement de 75%. Et on me dit que si on passe en BIM, ce pourcentage est susceptible de baisser [...]. Quand on a eu une dotation publique exceptionnelle [...] il vaut mieux mettre maintenant l'argent sur l'opération et payer moins en exploitation-maintenance après, que l'inverse.

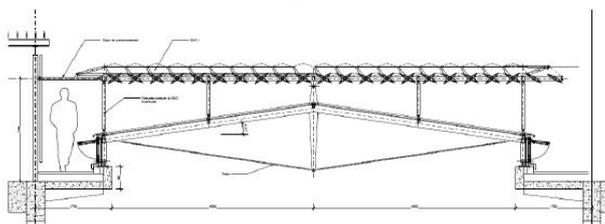
a. Gros Entretien Renouvellement

Accessibilité de la verrière : prise en compte de la surélévation de la verrière et des brises soleil permettant un nettoyage plus aisé, et donc plus rapide, de la face extérieure.

Avant



Après



Pour le nettoyage de la sous face de la verrière, le projet prévoit la fourniture d'une nacelle spécifique spécialement étudiée pour. Il a aussi été prévu la mise en place de dispositifs permettant de mettre en œuvre facilement un platelage au-dessus des brise-soleils pour pouvoir y accéder.

FIGURE 1.9 – Avantage de la prise en compte de l'exploitation pour l'exemple d'une verrière.

Source: Extrait d'un document du *Grand Projet d'École* sur l'optimisation des dépenses d'exploitation.

A travers le discours de Jacques on se rend compte que pour le *Grand Projet d'École*, la démarche BIM s'articule principalement autour de deux intérêts. Premièrement il s'agit, comme nous l'avons vu par rapport au BIM d'Or, de situer ce projet d'un point de vue marketing dans « *les perspectives d'innovations technologiques* ». Deuxièmement, c'est la stratégie de dépense de la dotation publique et les potentiels gains en exploitation-maintenance qui motivent le maître d'ouvrage. A ce moment-là, les projections effectuées par la maîtrise d'ouvrage (figure 1.10) mettent en avant qu'un surinvestissement en conception-construction évaluée à 44% du coût global (habituellement considéré à 25%) permettra de diminuer proportionnellement le coût de l'exploitation-maintenance de 75% à 56% du coût global.

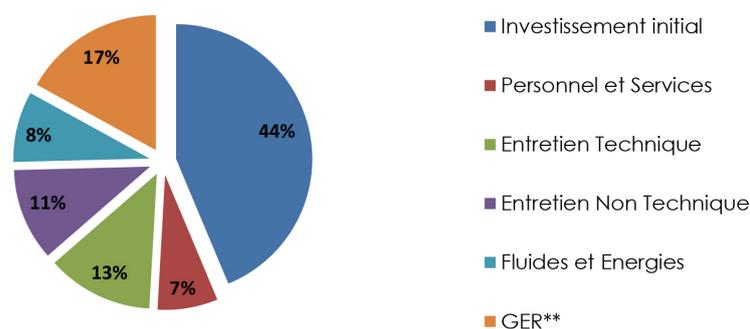
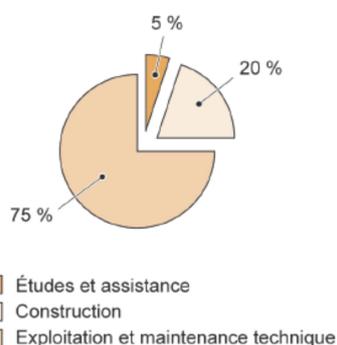


FIGURE 1.10 – En haut : répartition moyenne des coûts sur le cycle de vie d’un bâtiment. En bas : projection des répartitions sur 50 ans en première approche (APD).

Source: Extrait d’un document du *Grand Projet d’École* sur l’optimisation des dépenses d’exploitation et MIGCP, Ouvrages publics et coût global.

Pierre, l’architecte en charge du *Grand Projet d’École* jusqu’à la phase APS, nous rappelle l’interprétation qu’avait fait l’équipe de maîtrise d’œuvre des volontés de la maîtrise d’ouvrage :

Extrait d’entretien (Pierre, architecte et ex-Partner-Associé de la Grande Agence d’Architecture) —

[Laurence] voulait deux choses avec beaucoup de détermination, qu’on utilise le BIM, parce que pour elle, c’était l’avenir et deuxièmement, qu’on prenne un consultant maintenance-exploitation, efficace, très efficace, pour qu’elle puisse avoir une vision du coût du bâtiment [...]. Le mot que j’ai inventé s’appelait « *full BIM* » [rires]. C’était une façon de caractériser un BIM beaucoup plus pérenne sur le long terme [...]. Et je me souviens avoir dit : « *Écoutez, cher maître d’ouvrage, vous voulez le BIM qui a un coût clairement, parce que nous [la Grande Agence d’Architecture], on est équipé [...] mais nos consultants ne sont pas suffisamment compétents. Donc il va falloir les former et ça va prendre du temps [...]. Et puis, vous voulez une deuxième chose très importante en parallèle du BIM, c’est l’exploitation-maintenance sur*

du long terme [...]. Là aussi, il y a un préambule, c'est qu'en France [...] on ne budgétise pas la maintenance et l'exploitation d'un bâtiment [...]. On construit des bâtiments sans savoir combien ils vont coûter. »

On constate qu'à travers l'engagement dans la démarche BIM, l'objectif consiste principalement à diminuer les coûts d'exploitation-maintenance du bâtiment mais qu'il semble initialement y avoir une décorrélation entre la démarche BIM et l'exploitation-maintenance. En effet, pour Pierre la maîtrise d'ouvrage affiche deux objectifs « parallèles » : une démarche BIM et une anticipation de l'exploitation. Or si ces deux objectifs semblent en théorie liés, chacun nécessite des compétences spécifiques (consultants). Là encore remarquons que si ces objectifs peuvent se rejoindre, c'est principalement car tous deux reposent sur l'élaboration d'une maquette numérique ou du DOE ³² numérique. D'ailleurs la charte BIM issue des annexes CCTC ³³ précise justement les exigences BIM du *Grand Projet d'École*.

Extrait de document : Charte BIM du *Grand Projet d'École*

« Pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, un gage de maîtrise des coûts et des délais [...], la maquette numérique du titulaire, contiendra l'ensemble des informations nécessaires au maître d'ouvrage pour assurer la gestion et la maintenance de ses locaux. Avec le DOE, le maître d'ouvrage recevra le modèle BIM DOE réunissant les maquettes DOE des titulaires. » ^a

*a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École**

Ici l'objectif à atteindre signalé par le « *modèle BIM DOE* » est l'élaboration d'une maquette DOE. Paradoxalement, on remarquera que si la maquette numérique devient un support central du projet, Jacques, le maître d'ouvrage, nous avouera ne pas se souvenir qu'on lui ait jamais montré à quoi ressemblait une maquette numérique sur un écran d'ordinateur. Il faut alors rappeler qu'à ce moment, en 2014, le PTNB vient seulement d'être lancé et la démarche BIM comme l'élaboration de maquette numérique, reste très peu répandue. C'est pourquoi le manque de compétences liées à la démarche BIM ou aux problématiques d'exploitation-maintenance soulevées par l'architecte Pierre représentent des contraintes relativement nouvelles. Les acteurs du *Grand Projet d'École* se lancent donc dans une démarche BIM sur laquelle aucun retour d'expérience significatif existe encore en France. Sébastien, l'assistant maîtrise d'ouvrage, rappelle que dans ce projet, la maîtrise d'ouvrage comme la maîtrise d'œuvre doivent alors bâtir leurs propres référentiels et exigences notamment vis-à-vis des attentes envers les entreprises de construction.

32. Dossier des Ouvrages Exécutés

33. Cahier des Clauses Techniques Communes

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage du *Grand Projet d'École*) —

Est-ce que le BIM apporte des gains de productivité ou financier par rapport à un projet classique? Non : aujourd'hui c'est absolument tout le contraire. Il y a un véritable effort à faire par tous les acteurs : la maîtrise d'ouvrage car elle doit comprendre ce qu'elle demande, les objectifs qu'elle souhaite atteindre d'un point de vu numérique, la modification et la rédaction de chacun des contrats (architectes, BE, entreprises, Bureau de contrôle...). On est encore à un niveau d'apprentissage où les acteurs ne sont pas encore à l'aise et que ce soit la MO, la MOE ou les entreprises. Chacun investit énormément pour que dans trois ou quatre ans il y ait une frange importante du tissu économique qui soit d'avantage rompu à l'exercice. Soyons clair, il me semble qu'au moins jusqu'à 2022 le numérique est plus une souffrance et il n'y a pas véritablement de gain [...].

Nous venons de voir que les équipes du *Grand Projet d'École* semblent avoir en grande partie défini, elles-mêmes, les documents et les exigences BIM essentiellement orientées par la perspective de diminuer le coût d'exploitation-maintenance. Cependant, et pour la grande majorité de nos interlocuteurs, le *Grand Projet d'École* demeure alors largement en avance en comparaison avec d'autres projets BIM qui ont cours pendant la même période.

Extrait d'entretien (Françoise, Cheffe de Projet et Thiago, expert BIM, tous deux en charge du développement de la GED^a pour le *Grand Projet d'École*) —

^a. Gestion Électronique de Documents

Thiago - Ouais, depuis 2015, 2016, il y a beaucoup de présentations et de besoins BIM et les gens veulent faire du BIM. Après, il y a eu une phase où on voulait faire du BIM, mais personne savait ce qu'ils voulaient faire. Maintenant, les gens savent un petit peu plus ce qu'ils veulent, les gens ont l'expérience BIM en dehors du collaboratif, ils font du BIM [...]. En termes de qualité d'interlocuteurs, de qualité de communication, moi, j'ai senti que c'est le jour et la nuit.

Françoise - Tout ça c'est cette année!

Thiago - Oui! En 2018, les gens savent enfin ce qu'ils veulent.

Françoise - Il y a un point de rupture.

Thiago - Oui, ils viennent chercher de l'information et ils

écoutent! Ils sont à l'écoute, on peut échanger, ils ont un langage structuré, au niveau BIM. Il y a eu vraiment, cette différence s'est fait ressentir, pendant cette année [...]. Après 80% des évolutions qu'on a apportées à notre outil ont été liées au projet [*Grand Projet d'École*].

Françoise - C'est vrai et ça continue pour l'instant [...]. Nos autres clients, ils sont un petit peu, ils font presque ça pour s'entraîner! Enfin j'ai l'impression que ça va pas beaucoup beaucoup plus loin que ça! L'exploitation de la maquette elle-même... Ils ont presque cinq ans de retard par rapport [au *Grand Projet d'École*].

Par ailleurs, comme le signalent Thiago et Françoise, experts BIM dans le développement d'outils BIM, à peine quelque années plus tard, l'ensemble des acteurs de la construction apparaissent maintenant beaucoup plus conscients des différentes problématiques BIM. Aujourd'hui, on constate que les maîtres d'ouvrages disposent de davantage d'outils pour les aider à garantir l'élaboration d'un DOE numérique qualitatif. D'ailleurs, certains maîtres d'ouvrage rendent disponibles leurs cahiers des charges BIM afin d'aider leurs homologues à se situer. Par exemple, dans le cahier des charges d'Habitat 76 (Ferries & Labbaye, 2016, p. 16), on peut retrouver une spécification par spécialité des maquettes numériques souhaitées tout au long du projet BIM (figure 1.11). On remarquera par exemple, que la précision de ce type de documents et leur disponibilité permet aux maîtres d'ouvrages de s'emparer en profondeur des contraintes BIM et, en particulier, celles liées à l'élaboration de la maquette numérique.

	APS	AVP	PRO	EXE	DOE	DEO
Maquette s numériques (aux formats IFC et natif)						
MN Architecture (ARCHI)	●	●	●	●	●	
MN Structure (STR)		●	●	●	●	
MN Fluides (FLU)		●	●	●	●	
MN Courants forts et faibles (FO-FA)			●	●	●	
MN de gestion						●
Documents associés						
Plans de niveaux (pdf et natif)	●	●	●	●	●	
Elévations (pdf et natif)	●	●	●	●	●	
Coupes (pdf et natif)			●	●	●	
MN Architecture pour visualisation 3D (pdf)					●	
Documents liés						
Notes de calcul (pdf)		●	●	●	●	
Fiches produits (pdf)				●	●	
Points de détails et de vigilance (pdf)				●		
Diagnostics de Performance Energétique (pdf)					●	

FIGURE 1.11 – Exemple de livrables proposés par Habitat 76.

Source: www.cinquiemequart.com/OUT/Le_cahier_des_charges_BIM_dHabitat_76

1.4.4 Le secteur du BTP et ses entreprises

Pour le monde industriel du bâtiment et du logiciel informatique, la généralisation progressive des projets BIM soulève de nouveaux enjeux concurrentiels. Christian Girard considère ainsi que « *le BIM constitue une massive mise aux normes qui opère une reterritorialisation des enjeux commerciaux et industriels qui vont bien au-delà d'une concurrence entre logiciels destinés aux architectes et ingénieurs du BTP, car sa force est d'impliquer toute l'industrie du bâtiment, depuis les cimentiers jusqu'aux fabricants de poignées de portes* » (Girard, 2014). Dans un projet BIM, l'ensemble des productions graphiques ainsi qu'une partie de la coordination entre les acteurs s'appuie effectivement sur l'élaboration de la maquette numérique. Ceci impose donc aux acteurs de maîtriser les logiciels BIM afin de produire et organiser les objets modélisés représentant les savoirs-faire de leur corps de métier. Avec l'impératif de produire ces objets modélisés, la chaîne de valeur est modifiée et on observe une réorganisation du marché. On constate par exemple l'émergence d'un marché de l'achat et la vente des objets modélisés destinés à alimenter les maquettes numériques (figure 1.12). Dès lors, les grands groupes de fournitures professionnelles à l'image de l'entreprise IKEA, cherchent à rendre disponibles les bibliothèques d'objets de leurs produits afin qu'ils soient plus facilement utilisés par

les concepteurs³⁴. Face à cette tendance, Valéry Didelon considère que « *les industriels sont susceptibles d'accroître leur emprise sur les concepteurs. Plus ils sont puissants, plus ils seront capables par le lobbying d'imposer leurs produits dans les bibliothèques d'objets tridimensionnels que proposent les différents logiciels* » (Didelon, 2013).



FIGURE 1.12 – Pancarte publicitaire d'un stand du BIM World 2018

Source: Photo de l'auteur

Par ailleurs, si l'on entend de manière unanime que les plus grandes entreprises de BTP maîtrisent la démarche BIM, ses outils et ses processus, pour Sébastien, il existe un vrai décalage entre la communication de ces entreprises et la réalité de leurs compétences.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage du *Grand Projet d'École*) —

Côté entreprises travaux, tu peux prendre n'importe quel journal : Vinci, Eiffage, Bouygues font du BIM mais en réalité pas du tout! Pas du tout! Entre les deux ou trois chantiers emblématiques et démonstrateurs que l'on voit dans les dossiers et la réalité du terrain et le chef d'équipe [...] il n'a jamais entendu parler du numérique avant d'arriver sur le projet. Il n'en a jamais entendu parler ni pratiqué, ni quoi que ce soit! La grosse difficulté c'est qu'une grande partie des entreprises de travaux sous-traitent une partie de leurs travaux. Or même si le chef d'équipe

34. On pourra par exemple consulter le site polantis qui propose une large banque d'objets dont de nombreux sont issus de l'entreprise Ikéa : <https://www.polanthis.com/fr/ikea>

a un peu de connaissances de BIM et que ça l'intéresse, à partir du moment où il va sous-traiter une partie des travaux, on retrouve des petites PME ou des petites structures qui n'ont jamais fait de BIM et elles n'ont pas les compétences ni les moyens. Ce qui se passe, c'est que le BIM complexifie l'organisation au niveau des entreprises car les entreprises travaux sont obligées de faire appel à des bureaux d'étude BIM qui ne font que des études BIM et ne font pas de réalisation. Ce n'est pas évident car un bureau d'étude qui ne fait que des études, il va faire des plans d'exécution et les remettre à une entreprise travaux classique et l'entreprise travaux classique a généralement historiquement souvent intérêt à faire elle-même ses propres études pour dégager de la marge et essayer de trouver des solutions moins chères. A partir du moment où les études sont déconnectées de l'entreprise, les entreprises essaient de tricher, de faire autrement pour se créer de la marge donc c'est assez compliqué.

Sébastien souligne que la démarche BIM complexifie les projets de construction dans leurs organisations car elle impose de nouveaux intermédiaires et sous-traitants BIM sur lesquels nous reviendrons dans le dernier chapitre de cette thèse. Ces sous-traitants et intermédiaires, qui sont principalement des entreprises faisant de la modélisation BIM, de la coordination, ou de la synthèse BIM, ont un coût significatif et imposent à ceux qui font appel à elles de revoir leurs marges financières voire de tricher. Pour l'ensemble des entreprises du secteur de la construction, la maîtrise de l'ensemble des outils est donc devenu une priorité et plus particulièrement pour les majors du BTP. D'ailleurs, lors d'un entretien, un employé de l'un de ces majors du BTP, nous expliquait que son entreprise ne souhaite plus que le savoir-faire contenu dans les maquettes numériques qu'elle produit puisse être détenu par l'entreprise propriétaire du logiciel BIM utilisé. Il nous confiait alors que pour préserver ses intérêts, le groupe de BTP avait débuté des recherches afin de développer, en interne, ses propres logiciels BIM. Cet exemple montre l'importance que prend l'utilisation des logiciels dans un projet BIM. De plus, il démontre que l'industrie du logiciel informatique prend de plus en plus de place au sein du marché de la construction et ce, au point d'effrayer jusqu'aux plus grands groupes de BTP. L'adoption généralisée des projets BIM, s'accompagne ainsi une nouvelle concurrence entre l'industrie du logiciel informatique et de celle du BTP.

De façon étonnante, il y a seulement vingt ans les architectes et chercheurs Jean-Pierre Chupin et Hervé Lequay écrivaient à propos du monde de la construction : « *contrairement à l'industrie aéronautique ou à l'industrie automobile – qui peuvent envisager de tout numériser, de la conception*

à la réalisation automatisée -, même les plus équipées des entreprises de construction ne peuvent se passer d'intermédiaires humains » (Chupin & Lequay, 2001). Et plus récemment Valéry Didelon prédisait un avenir pessimiste aux architectes en évoquant le « *fiasco de l'architecture moderniste la plus taylorisée* » (Didelon, 2013) que la démarche BIM pourrait remettre au goût du jour grâce aux logiciels BIM. En 2017, nous rencontrons le directeur de la filiale BIM d'un grand groupe français d'énergie et spécialisé dans la CVC³⁵. Il nous confiait alors que leur stratégie de développement se basait sur le modèle de l'entreprise américaine Kattera. Or, le modèle de cette jeune entreprise américaine vient déjà contredire les positions de Jean-Pierre Chupin et Hervé Lequay tout en confortant Valéry Didelon sur les siennes. En effet, afin d'industrialiser la filière du bâtiment, Kattera adopte une démarche « *très similaire à Uber, Airbnb ou WeWork* » et se dit capable de vendre un bien immobilier en 30 jours – de la conception à la remise des clés³⁶. Kattera s'appuie effectivement sur les technologies BIM, F2F³⁷ et de robotisation afin de produire des bâtiments hors site qu'elle monte ensuite par assemblage. Pour envisager réaliser ces prouesses, Kattera compte depuis 2016 sur l'apport record dans le secteur du bâtiment de 865 millions de la part du groupe SoftBank, qui est mondialement connu pour ses investissements dans le secteur de la haute technologie et du numérique. Enfin, si le haut niveau d'automatisation et la « *construction en kit* »³⁸ prônée par Kattera (figure 1.13) tend à se généraliser à l'ensemble du secteur de la construction, il reste légitime de se demander à quoi ressemblera le travail des acteurs d'un projet BIM et à plus forte raison celui des architectes.

35. Chauffage, Ventilation, Climatisation

36. www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/biens-d-equipement-btp-immobilier/immobilier-softbank-lache-865-millions-de-dollars-pour-la-startup-kattera-766114.html

37. File to Factory

38. www.curbed.com/2019/9/24/20881587/factory-startup-lumber-kattera-construction

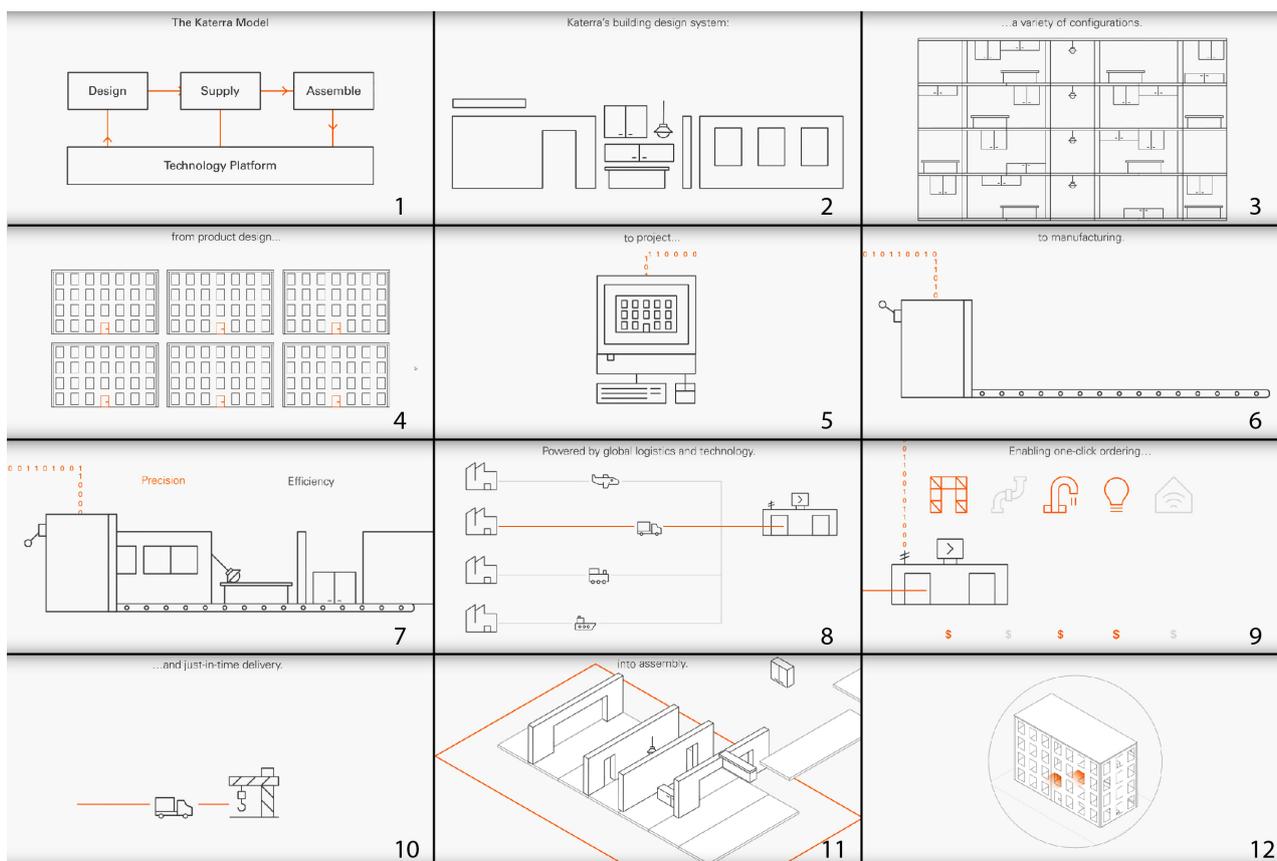


FIGURE 1.13 – Extraits de la vidéo *A New Way to Build* explicitant l'automatisation des processus de construction vue par l'entreprise Katerra

Source: www.youtube.com/watch?v=OyoTBNLaXAg

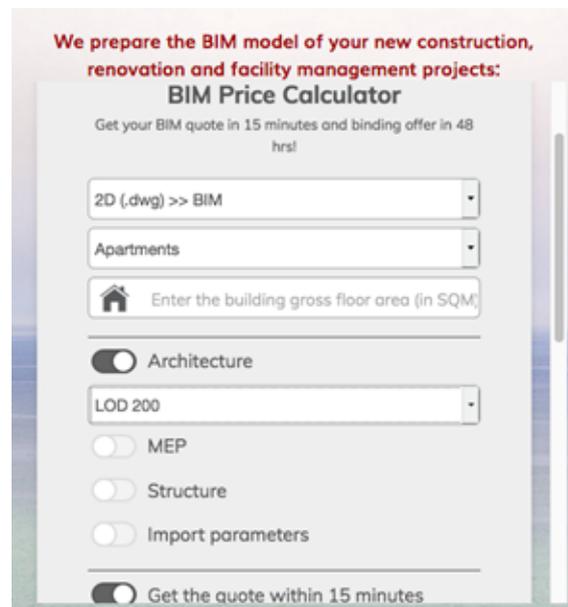
Un autre moyen d'essayer de saisir l'importance que prend la démarche BIM dans le monde de la construction a été d'assister aux évènements : « *BIM World* ». Nous nous sommes ainsi rendu aux salons 2016, 2017 et 2018 et avons pu y apercevoir un large panel d'entreprises qui se positionnent sur le marché BIM. On y trouve, bien entendu, de grandes entreprises de construction et des éditeurs de logiciels mais aussi des entreprises spécialisées dans l'outillage informatique, des bureaux d'étude, des spécialistes de la GMAO³⁹, des fabricants d'appareils de scan numérique, des spécialistes de la réalité virtuelle ou encore des entreprises expertes dans la modélisation de maquettes numériques.

Comme nous l'avions évoqué, les entreprises qui proposent des services de modélisation de maquette numérique occupent une place de plus en plus importante dans les projets BIM. En effet, ces sociétés proposent un travail de transcription d'information 2D ou 3D (sous format numérique ou papier) en modélisation de maquette numérique. Et pour ce type de prestations, l'ensemble des acteurs de la

39. Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur

construction : architectes, ingénieurs, constructeurs, qui ne disposent pas encore des compétences de production de maquettes numériques sont de potentiels clients. D'ailleurs, remarquons que l'une de ces sociétés est même capable de fournir un chiffrage en quinze minutes et de formuler un devis ferme en quarante-huit heures ce qui représente une véritable prouesse pour le monde du BTP. Sur son site, un calculateur de prix de maquette numérique est mis à la disposition des futurs clients (figure 1.14). De plus, les informations sur le projet pour produire le devis demeurent très sommaires et se limitent à :

- l'identification du type de fichiers à traiter (fichiers 2D : .dwg ou .pdf) ou (fichiers 3D : .dwg .skp ou SCAN) ;
- le type bâtiment : appartements, aéroport, laboratoire, bureaux... ;
- la surface du projet ;
- la spécialité métier du modèle requis (architecture et/ou MEP et/ou structure) ;
- le LOD⁴⁰ ;
- la possibilité ou non de pouvoir importer des paramètres une fois la maquette numérique générée.



The image shows a web form titled "BIM Price Calculator" with the following fields and options:

- Header: "We prepare the BIM model of your new construction, renovation and facility management projects: BIM Price Calculator"
- Text: "Get your BIM quote in 15 minutes and binding offer in 48 hrs!"
- Dropdown menu: "2D (.dwg) >> BIM"
- Dropdown menu: "Apartments"
- Text input field: "Enter the building gross floor area (in SQM)" with a house icon
- Radio button: "Architecture" (checked)
- Dropdown menu: "LOD 200"
- Radio button: "MEP" (unchecked)
- Radio button: "Structure" (unchecked)
- Radio button: "Import parameters" (unchecked)
- Radio button: "Get the quote within 15 minutes" (checked)

FIGURE 1.14 – Exemple d'un « *BIM price calculator* ».

Source: <https://www.bimprice.com/en/order/calculate>

Le peu d'informations nécessaires à l'établissement du chiffrage de la prestation peut s'expliquer

40. Level Of Detail

parce que ces nouvelles entreprises interviennent finalement peu ou pas dans les choix et le déroulement du projet et ne sont sollicitées que pour une opération de « traduction ». Enfin, si la réalisation de la maquette numérique est amenée à être sous-traitée à ce type d'entreprises, cela veut aussi dire que les projets BIM intègrent de nouveaux intermédiaires au sein de la chaîne de production ce qui n'est pas nécessairement un avantage pour la coordination générale du projet BIM et explique donc la complexification organisationnelle évoquée par Sébastien.

Bien entendu, s'il reste difficile d'avoir un panorama précis du contexte industriel et entrepreneurial BIM dans lequel la France évolue actuellement, ces quelques exemples montrent déjà que l'industrie du logiciel et les sociétés spécialisées dans la maîtrise des logiciels BIM occupent une place de plus en plus importante dans le secteur du bâtiment. Là encore, ceci s'explique par le fait que la modélisation d'une maquette numérique devient une activité centrale des projets BIM. De plus, le couplage de l'activité de modélisation avec d'autres technologies laisse alors entrevoir, avec l'exemple de l'entreprise Kattera, une perspective possible de l'élaboration automatisée du cadre bâti. Dans un tel contexte, Jérôme Guéneau, parie quant à lui sur le déplacement du rôle de l'architecte vers celui du « *designer industriel chargé de la mise en forme et en couleurs des capots de modèles de série* » (Guéneau, 2019, p. 14).

1.4.5 Les agences d'architecture

A propos des entreprises d'architecture en France, les prévisions concernant l'appropriation des pratiques BIM sont complexes à évaluer car les agences d'architecture françaises sont structurées en très petites entreprises. L'observatoire de la profession⁴¹ révèle effectivement que 75% des agences comptent moins de cinq salariés et que 93% des agences sont de Très Petites Entreprises (TPE), soit avec un nombre de salariés inférieur à dix (figure 1.15). En comparaison, la *Grande Agence d'Architecture* se situe dans les 1,5% des agences comptant plus de vingt salariés ce qui démontre son caractère exceptionnel.

41. <https://www.architectes.org/publications/archigraphie-2016>

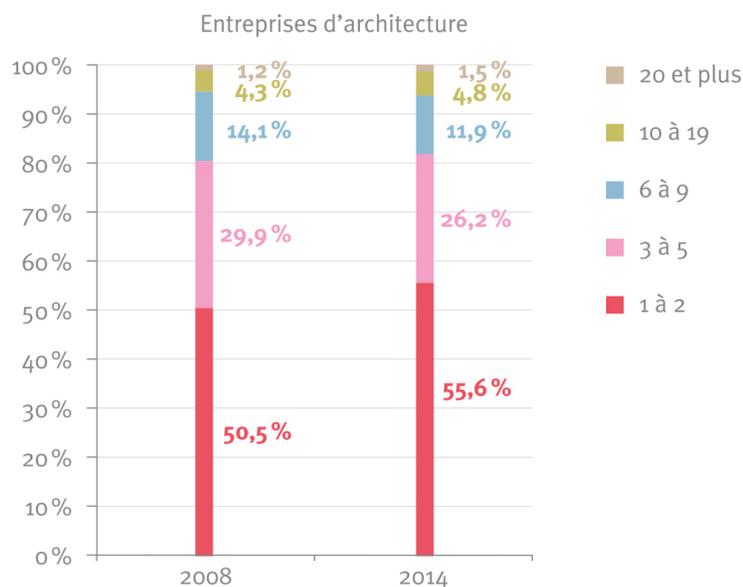


FIGURE 1.15 – Nombre d'employés par entreprise d'architecture en France.

Source: Archigraghie 2018

Pour le PTNB cette structuration de la profession constitue un frein majeur au développement des projets BIM (Delcambre, 2014). En effet, passer à une pratique intégrant une démarche BIM nécessite d'importants investissements humains, financiers et matériels dont les coûts dépassent généralement les moyens de la majorité de ces agences. Les résultats préliminaires de l'étude menée par Elodie Hochscheid montrent cependant que les petites entreprises détiennent une maturité BIM comparable aux grandes agences d'architecture. Cette même étude révèle aussi que pour 93% des agences ayant répondu à un questionnaire transmis au CNOA sur le sujet, les outils et la formation BIM sont considérés comme trop coûteux (Robischon, 2020)⁴². La problématique de l'avenir des petites agences d'architectures et leur évolution face à l'imposition progressive de la démarche BIM et de ses outils reste entière. Sur ce point plusieurs acteurs du *Grand Projet d'École* nous ont confié leurs craintes concernant les agences d'architecture et en particulier au sujet des petites entreprises du bâtiment.

42. Au sujet de l'adoption du BIM au sein des agences d'architecture françaises les travaux d'Elodie Hochscheid (Hochscheid *et al.*, 2016; Hochscheid & Halin, 2018*c,b,a*, 2019*b,a*) s'attachent justement à signaler les principaux verrous et leviers pour passer d'une démarche « traditionnelle » à une démarche BIM.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Je me questionne vraiment sur l'artisanat et l'industrialisation. Notre métier, s'il n'est pas fait avec nos merveilleuses mains j'ai peur de ce qu'il va devenir. Et je pense que ces outils peuvent atteindre socialement la manière de construire [...]. Le savoir-faire manuel sur le chantier, ça le BIM : il le tue! Il le tue [...] parce que les licences Revit[®] sont très chères, donc forcément elles se destinent à une élite de la construction ou à des entreprises qui peuvent se les payer. Mais les petits artisans?

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage du *Grand Projet d'École*) —

Faisons deux hypothèses :

- Premièrement : les études et les travaux en BIM vont se développer considérablement. Et malgré les résistances, je reste personnellement convaincu que nous allons aller dans ce sens.
- Deuxièmement : les petites agences d'architecture (deux à trois personnes) qui représentent la masse du tissu économique français devront endosser de nouvelles compétences inhérentes au BIM.

Je fais ces deux hypothèses car dans les grandes structures les architectes n'ont pas besoin de faire ce travail notamment car ils peuvent se permettre d'embaucher des BIM managers. Ce sont des personnes spécialisées qui vont justement faire ce travail d'organisation et de structuration de la donnée. Dans les grandes agences, les architectes voient finalement très peu leurs métiers se développer car ces missions sont déléguées à d'autres mais ce sont des situations qui sont assez rares en France. Dans ce nouveau contexte, les petites agences vont mourir de l'absence de compétence et ça, j'en suis presque certain. Dans tous les cas, il va y avoir un grand chamboulement qui leur demandera de s'adapter et ils vont devoir prendre en main ces questions de systèmes d'organisation et de gestion des outils BIM. Le BIM va fondamentalement changer le métier des architectes mais aussi de tous les acteurs de la construction.

Pour de nombreuses agences d'architecture comme pour les petites entreprises du bâtiment, les principaux freins se trouvent dans les coûts liés à l'achat des différents outils BIM ainsi qu'à la formation. La *Grande Agence d'Architecture* n'étant donc pas représentative de la situation des agences d'architecture française, les observations et analyses que nous ferons doivent nécessairement être considérées avec précaution dans la mesure où les discours des interviewés peuvent difficilement être décontext-

tualisés du cadre exceptionnel du *Grand Projet d'École*. La *Grande Agence d'Architecture* représente un exemple inédit tant par sa taille, les projets qu'elle réalise ou encore le niveau d'implication de ses architectes dans la démarche BIM. Et ce qui aurait pu s'avérer problématique pour nous a plutôt été considéré comme une chance : celle d'observer et d'objectiver des pratiques potentiellement préfiguratrices de ce que pourrait impliquer la réalisation de projets BIM pour des architectes à un niveau d'appropriation beaucoup plus élevé!

Conclusion

Dans la première partie de ce premier chapitre nous avons pu mettre en avant la difficulté à circonscrire les définitions de l'acronyme BIM. En précisant notre interprétation du mot nous avons pu mettre en exergue l'importance centrale de l'information et plus particulièrement de la donnée contenue dans la maquette numérique des projets BIM. Dès lors, la maquette numérique devient un élément central des projets BIM. Cependant, la maquette numérique BIM n'est en rien comparable aux maquettes physiques réalisées par les architectes. Et si elle porte encore le nom de maquette, le sens véhiculé par ce nouvel artefact au sein des projets BIM dépasse largement le registre de la conception. Nous avons ainsi montré que contrairement à la maquette physique, qui était jusqu'alors l'incarnation d'un savoir-faire et d'une expertise rattachée aux architectes, la maquette numérique, à travers son caractère multiple et distribué entre tous les acteurs du projet, ne constitue plus l'outil exclusif des architectes et les dépossède ainsi d'une certaine partie de leur pouvoir.

Nous nous sommes ensuite attaché à considérer l'histoire de l'introduction de la démarche BIM au secteur du BTP afin de comprendre les effets de cette innovation. Nous avons ainsi pu constater que la démarche BIM opère une rupture brutale dans la manière de penser et construire un projet puisqu'elle implique l'appropriation progressive de procédés industriels, d'automatisation et de préfabrication dans un secteur qui compte sur la culture de l'artisanat et du compagnonnage.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous avons dressé un panorama des principaux acteurs BIM avec, d'une part les acteurs qui construisent l'image de la démarche BIM et d'autre part, ceux qui sont directement en prise avec la démarche BIM. Cet exercice nous a permis de comprendre que l'appropriation de la démarche BIM est un phénomène global et que les incitations politiques peuvent s'expliquer par une pression concurrentielle internationale. L'étude menée sur les médias, et le Moniteur en particulier, nous permet de mesurer le poids que peuvent avoir ces organisations dans la diffusion de l'innovation en créant, par exemple, un nouveau prix architectural : le BIM d'Or. Les conditions de sélection des lauréats de ce nouveau prix, révèlent alors que ce n'est pas la qualité architecturale mais plutôt la capacité des acteurs à s'organiser et à structurer les données d'une maquette numérique qui est saluée. Nous comprenons alors que ce type de prix caractérise la qualité de fabrication des maquettes numériques et non plus de la qualité architecturale des bâtiments ! De plus, ces nouveaux prix viennent saluer les savoirs-faire de BIM managers, et non plus ceux des architectes, marquant ainsi le passage à une ère de la construction où la maquette numérique devient tout aussi importante que le bâtiment auquel elle est associée.

Enfin, nous nous sommes intéressé aux acteurs directement impliqués dans la démarche BIM. Concernant la maîtrise d'ouvrage publique, nous avons pu faire le constat que leurs compétences BIM demeurent encore relativement faibles. Dans ce contexte, l'investissement déployé par la maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École* fait alors figure d'exception. Concernant les entreprises de construction, on constate une augmentation significative des entreprises spécialisées dans les services BIM. Ces nouvelles entreprises définissent alors un nouveau marché BIM où des objets comme des services doivent s'intégrer dans les organigrammes des projets architecturaux bouleversant au passage l'équilibre pré-existant. Dès lors, les petites et moyennes entreprises du bâtiment tout comme une grande partie des agences d'architecture se heurtent à la problématique de coûts liés à l'outillage BIM et aux formations correspondantes qui leur permettrait de pouvoir pénétrer sereinement ce nouveau marché des projets BIM.

En étendant notre recherche au delà des limites du chantier du *Grand Projet d'École* nous avons pu dresser un tableau du paysage BIM français. Maintenant que nous disposons d'une compréhension générale des enjeux auxquels la démarche BIM entend répondre il s'agit maintenant d'entrer dans la quotidienneté des pratiques pour mesurer les effets qu'induisent l'élaboration d'une maquette numérique sur le projet et ses acteurs.

Chapitre 2

Une maquette numérique au cœur d'un chantier : la construction du *Grand Projet d'École*

Introduction

Nous venons de voir que la maquette numérique est l'objet central des projets BIM. Dans la suite, notre enquête au sein du chantier du *Grand Projet d'École* s'intéresse donc à comprendre comment s'élabore de ce nouvel objet. Ce second chapitre cherche à rendre compte des différentes prédispositions prises pour que la maquette numérique puisse être collectivement fabriquée. En un sens, il s'agit de comprendre comment ont été conçus les processus pratiques et théoriques destinés à l'élaboration de la maquette numérique mais aussi de comprendre le rôles des acteurs et des artefacts dans ce nouveau travail.

Dans un premier temps, pour comprendre comment il est possible de concevoir et de fabriquer le nouvel objet qu'est la maquette numérique nous considérerons l'approche de la sociologie de l'innovation. Ceci nous permettra de préciser notre posture et le point de vue que nous adopterons sur l'objet. Nous considérerons ainsi avec une attention particulière l'ensemble des objets que nous avons rencontré au cours de notre enquête et que l'on qualifiera d'acteurs non-humains pour capacité à agir sur les situations. Puis nous expliciterons comment les activités de coordination, au cœur de la phase chantier, constituent, in fine, une activité conception.

Dans un second temps, nous nous intéresserons aux réunions de synthèse qui constituent des lieux privilégiés de coordination lors du chantier. Nous nous attacherons ainsi à décrire et analyser comment a été pensé, mis en place et organisé l'ensemble du processus de synthèse au sein du *Grand Projet d'École*. A travers l'explicitation de ces processus, il s'agit de comprendre les mécanismes opérationnels et pratiques mais aussi la complexité organisationnelle qui sous-tend à la conception et la fabrication d'une maquette numérique.

La troisième partie de ce chapitre met en lumière le rôle de nouveaux objets ou acteurs non-humains devenus indispensables dans la structuration des processus de synthèse et donc pour la production des maquettes numériques. A travers cet intérêt pour d'autres objets, il s'agit de comprendre les liens qu'entretient la maquette numérique avec un certain nombre d'autres artefacts numériques.

Enfin, la dernière partie du chapitre s'intéresse aux principaux acteurs qui participent à la synthèse à savoir : les membres de l'équipe synthèse, les entreprises de construction, les BIM managers et les architectes. En précisant le parcours d'acteurs clés et en analysant leurs rôles, il s'agit de comprendre comment l'introduction de la production d'une maquette numérique modifie les pratiques, conditionne la coordination d'acteurs hétérogènes et réorganise leurs travail en déplaçant les frontières

professionnelles.

2.1 Considérer l'élaboration d'une maquette numérique

2.1.1 Un objet « en train de se faire »

Nous avons explicité le caractère équivoque que revêt la maquette numérique notamment amplifié par le fait qu'elle constitue un objet utilisé par un nombre important d'acteurs hétérogènes. Ces derniers ne portent évidemment pas tous le même regard sur cet objet et l'utilisent afin d'atteindre des objectifs différents. Le maître d'ouvrage peut, par exemple, interpréter et utiliser la maquette numérique comme un objet de communication, l'architecte comme un objet de conception, l'ingénieur comme un objet de simulation, le constructeur comme un objet de production et le mainteneur comme un objet de gestion. Ceci a pour conséquence de définir une large palette d'usages « remplis » par l'objet via les acteurs qui le manipulent. La maquette numérique est ainsi un dispositif sociotechnique « *en prise* » (Bessy & Chateauraynaud, 2014) avec un réseau d'acteurs tout au long du projet. En portant notre regard sur cet objet technique nous entendons alors en préciser certaines de ses spécificités mais il s'agit aussi, en contre-point, de définir les acteurs, l'espace dans lequel ils se meuvent et les relations qu'ils tissent entre eux. L'étude de l'objet doit justement permettre de donner une mesure de ces relations, d'établir des hiérarchies et de définir de nouvelles normes (Akrich, 1987, p. 8). C'est donc au moyen d'une observation fine et de l'étude des interactions de ce dispositif avec les acteurs du *Grand Projet d'École* que nous pourrions comprendre les effets de l'objet sur les acteurs, leurs organisations mais aussi sur le projet architectural lui-même.

Bien entendu, vouloir rendre compte de la complexité à la fois technique et sociale dont fait preuve la mise en place d'un tel dispositif, nous invite naturellement à nous pencher sur les approches issues de la sociologie des techniques.

Dans ce courant de pensée, qui considère ce type d'objets comme des « *boîtes noires* », deux approches sont mises en avant. La première envisage que l'objet est étudié « *après* » sa mise en œuvre, c'est à dire une fois qu'il a été utilisé par un grand nombre d'acteurs, que l'on estime qu'il fait partie du quotidien, et donc qu'il « *ne pose plus question* » (Chiapello *et al.*, 2013, p. 145). La pratique opératoire consiste alors à essayer d'ouvrir, a posteriori, la « *boîte noire* » pour comprendre comment l'objet a été fabriqué puis s'est intégré à un ensemble de pratiques sociales. La seconde approche consiste à étudier l'objet « *avant* » même qu'il soit stabilisé ou finalisé (Akrich, 1987), c'est-à-dire lorsqu'il est encore « *en train de se faire* ».

Concernant la première approche, il reste difficile, voire impossible, de déterminer, a priori, le moment de stabilisation d'un objet ou d'une innovation encore en cours d'appropriation par les acteurs, ce qui est précisément le cas pour la maquette numérique. Par ailleurs, considérer, que la maquette DOE puisse être un « *objet finalisé* » demeure une hypothèse qui ne peut pas encore être vérifiée en pratique. En effet, du point de vue de la sociologie des techniques, il reste extrêmement délicat, voire contreproductif de chercher à définir, a priori, l'état finalisé d'un objet. Il est effectivement convenu qu'un objet est finalisé lorsque celui-ci est « *devenu par son effacement, un instrument de connaissance* » (Akrich, 1987). Notons cependant que l'apparition de la dénomination : « *avatar du bâtiment* » ou de « *jumeau numérique* » pour désigner la maquette numérique une fois que le bâtiment est livré, pourrait justement être interprété comme un point de rupture ou un marqueur allant dans le sens d'une dissociation entre l'objet « *en train de se faire* » et l'objet « *finalisé* ».

Ceci explique pourquoi notre travail ethnographique peut être identifié à la seconde approche : une enquête sur la maquette numérique du *Grand Projet d'École* « *en train de se faire* ». D'ailleurs, différentes ethnographies ont déjà su démontrer leurs pertinences quant à l'étude de « *la science en train de se faire* » (Collins, 1985), la description d'objets « *en train de se faire* » (Latour, 1992; Callon & Latour, 1991), de pratiques scientifiques de laboratoires (Latour & Woolgar, 1988) ou des processus aboutissant, ou non, à de nouveaux objets et innovations dans les milieux industriels (Midler, 2012; Vinck, 1999c).

2.1.2 Les non-humains, acteurs du projet

Dans le prolongement de la sociologie pragmatique de l'action et de l'innovation, les objets ou les non-humains se sont progressivement vu attribuer un rôle « *d'acteur* » dans l'analyse des dynamiques sociales au même titre que les acteurs humains (Houdart & Thiery, 2011). Les objets sont alors considérés comme des « *acteurs non-humains* » ce qui s'est avéré très pertinent pour décrire et analyser les mécanismes de coordination à l'œuvre dans l'adoption de nouvelles innovations (Vinck, 1999c). Cet intérêt pour les « *acteurs non-humains* » a pris de l'ampleur dans les années quatre-vingt avec le développement de la sociologie de la traduction (ou théorie de l'acteur-réseau) promulguée par les chercheurs rattachés au CSI¹ : Madeleine Akrich, Michel Callon et Bruno Latour. Les pratiques sociologiques qu'ils ont mises en place ont d'ailleurs été utilisées autour de différentes questions liées à l'architecture et l'analyse de l'activité de conception des architectes (Callon, 1996; Chabard & Kourniati, 2013; Latour & Yaneva, 2008; Yaneva, 2009). Et si l'utilisation de leurs pratiques sociologiques

1. Centre de Sociologie de l'Innovation

reste encore rare dans un contexte de projet BIM (Linderoth, 2009; Sørensen *et al.*, 2015), aucune étude précise concernant l'élaboration d'une maquette numérique ne semble avoir été conduite jusqu'à présent.

D'un point de vue théorique, la vision que partagent les sociologues du CSI consiste à penser que la société ne constitue pas un cadre à l'intérieur duquel évolue un ensemble d'acteurs mais plutôt que la société est le résultat toujours provisoire d'une action en cours et qu'elle est donc continuellement « *en train de se faire* ». L'un des premiers axiomes de cette théorie stipule alors que pour comprendre la société il est nécessaire d'établir une attention symétrique aux humains comme aux objets. Il s'agit ainsi de considérer que les humains et les non-humains, comme la société et la technique, ne constituent pas deux mondes distincts mais sont étroitement imbriqués et interagissent entre eux. Dans cette perspective, le sociologue sur le terrain doit apporter une considération symétrique entre les acteurs humains et les acteurs non-humains, entre les forts et les faibles, entre le macro et le micro. Dès lors, les observations ne doivent ni privilégier ni censurer un point de vue plutôt qu'un autre. Pour notre enquête au sein du *Grand Projet d'École*, il s'agit donc d'accorder une attention particulière à l'acteur non-humain qu'est la maquette numérique. Cependant, la maquette numérique ne demeure pas pour autant l'égale des acteurs humains. Car s'il pourrait, en théorie, s'établir un rapport d'équivalence entre tous les acteurs d'un réseau (humains et non-humains), nous ne pouvons pas omettre, par exemple, que lors d'une réunion de chantier, un chef de projet, un architecte ou un ouvrier ne sont pas porteurs des mêmes considérations, n'incarnent pas les mêmes pouvoirs, n'ont pas les mêmes capacités d'actions et d'influence, ne serait-ce que de par leur rattachement à leur groupe socio-culturel, leur organisation professionnelle ou encore le pouvoir décisionnel qui leur est collectivement attribué. Dès lors, et bien que nous tenterons de considérer les acteurs humains sans présupposer, a priori, de la prééminence des uns sur les autres, nous veillerons aussi à considérer le champ auquel chacun appartient. En effet, dans la pratique, certains acteurs parlent plus, ont plus de poids, ou sont simplement plus présents que d'autres. De même, les objets ou les non-humains n'ont pas tous le même poids, la même utilisation ou ne sont pas continuellement présents ou mobilisés. D'ailleurs, c'est précisément en relevant ces rapports d'inégalités, de pouvoirs, d'emprises et de hiérarchies que nous pensons pouvoir mieux décrire le processus d'élaboration de la maquette numérique et l'ensemble du réseau avec lequel il est en prise. D'une certaine façon, il s'agit d'adopter une pratique sociologique hybride afin de décrire et analyser la maquette numérique mais aussi les controverses, conflits, tensions et rapports de force qui se tissent autour de ce dispositif.

2.1.3 La coordination comme activité de conception collective

Christophe Midler a étudié les processus de conception collaborative chez les industriels et considère la co-innovation comme « *toute relation entre un fournisseur et un constructeur qui se noue autour d'une prestation innovante* ». Il définit aussi comme activité de co-conception le « *jeu de négociation et d'intégration* » qui s'opère entre les différents acteurs du processus de construction (Midler *et al.*, 2007).

Dans le champ de l'architecture l'activité de conception et la maîtrise du projet relèvent justement de compétences et d'expertises revendiquées par les architectes. L'art de faire ou de concevoir un projet architectural est un champ d'investigation qui compte de nombreux travaux théoriques comme pratiques, et regroupent une grande diversité de positions. Afin d'explicitier le positionnement de notre recherche vis-à-vis de l'activité de conception, revenons sur les visions du théoricien de l'architecture Philippe Boudon et du sociologue Dominique Raynaud. Ce dernier distingue deux approches de la conception (Raynaud, 2001) :

- l'approche « *internaliste* »
- l'approche « *externaliste* »

Cette distinction se base alors sur un écrit de Georges Canguilhem pour qui : « *l'externalisme [...] conditionne un certain nombre d'évènements par leurs rapports avec des intérêts économiques et sociaux, des exigences et des pratiques techniques, avec des idéologies religieuses ou politiques. L'internalisme [...] se place à l'intérieur-même de l'œuvre scientifique pour en analyser les démarches par lesquelles elle cherche à satisfaire aux normes spécifiques qui permettent de la définir comme science* » (Canguilhem, 2002). Dès lors, Dominique Raynaud considère que les chercheurs qui s'intéressent à l'activité de conception sur le plan cognitif adoptent une position « *internaliste* ». En revanche, ceux qui envisagent cette activité comme un lieu interactions sociales entre les acteurs du projet adoptent une position « *externaliste* ». De façon analogue, Philippe Boudon, évoque de son côté deux objets d'investigation : l'objet cognitif auquel s'intéresse par exemple l'architecturologie² et l'objet collectif sur lequel s'appuie les sociologues (Boudon, 2001).

On osera alors la simplification des propos respectifs de ces auteurs en considérant deux manières complémentaires d'entrevoir la conception du projet architectural :

2. L'architecturologie est une théorie de la conception architecturale. Elle est fondée par les travaux de Philippe Boudon et du laboratoire LAREA (Laboratoire d'Architecturologie et de Recherches Epistémologiques sur l'Architecture) dont une partie des recherches est reprise au sein du laboratoire MAACC (Modélisations pour l'Assistance à l'Activité Cognitive de la Conception).

- soit en la considérant comme une activité cognitive ;
- soit en la considérant comme un processus collectif et socialement partagé.

Signalons que dans le nouveau contexte de projets BIM, les travaux menés selon l'une ou l'autre de ces perspectives demeurent encore relativement rares (Gouezou, 2018; Forgues *et al.*, 2009).

Les enjeux de coordination basés sur la construction de la maquette numérique nous invitent naturellement à considérer l'élaboration de ces projets comme des processus collectifs et socialement partagés. D'ailleurs, le sociologue Michel Callon, va même jusqu'à considérer que la conception n'est pas « *assignable à quelques individus* » mais qu'elle est plutôt le fruit « *d'un processus collectif et itératif de mise en relation et d'intégration de points de vue* » (Callon, 1996). L'auteur va même plus loin puisqu'il va jusqu'à dire que l'architecte n'existe finalement pas dans la mesure où ce dernier « *s'inscrit dans un processus collectif qui distribue et redistribue les compétences* ». Dès lors, s'intéresser aux processus de coordination collective au sein du *Grand Projet d'École* devient un moyen d'étudier et d'analyser l'impact de la démarche BIM sur les architectes mais aussi sur l'activité de conception du projet architectural et ce, même si le travail de l'architecte ne demeure pas perpétuellement au centre de notre attention.

De même, tout architecte sait que l'activité de conception ne se circonscrit pas uniquement à la phase de conception et que le chantier constitue une temporalité tout aussi importante. Car c'est l'espace temps où le projet architectural se confronte à la réalité du terrain, à la contrainte de la matérialité, aux spécificités de la mise en œuvre ainsi qu'à la coordination avec l'ensemble des entreprises de construction. C'est donc dans ce contexte de chantier, où il s'opère de façon simultanée une double fabrication : le bâtiment d'une part et la maquette numérique d'autre part que prennent place nos observations au sein du *Grand Projet d'École*.

2.2 La réunion de synthèse : un espace-temps privilégié de coordination

Au cours du chantier, on peut considérer que tous les acteurs participent, chacun à leur manière, à concevoir et réaliser le projet architectural. Ainsi, le façadier qui propose une solution de brise soleil, l'architecte qui propose un détail pour l'implantation des luminaires, l'entreprise qui conseille une centrale de traitement d'air moins encombrante, l'ingénieur qui imagine un système de fixations plus performant ou encore le client qui refuse un garde-corps trop bas, participent tous à la conception et la réalisation du bâtiment. En pratique, on observe que certaines entreprises de construction se défendent justement d'être des concepteurs. Cependant, nous interprétons ce positionnement comme une stratégie visant à gagner du temps ou à ne pas réaliser le travail demandé et faire reposer la faute sur d'autres et notamment les architectes.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

En France, l'entreprise qui prend un marché elle remanie un peu la conception et elle peut proposer localement une conception différente. Elle peut dire : « *voilà, tu avais prévu un réseau là. Moi j'en ai prévu deux et en plus je passe autrement à travers ton mur* ». Et parfois, ça n'a vraiment rien à voir! Et en l'occurrence pour ce projet, il y a eu énormément de changements au niveau des réseaux. Alors pour tout ce qui est cloisons, ça ne change pas fondamentalement le projet mais pour toute la technique et les réseaux par exemple, ça change le projet!

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°21, Mai 2017]

1. ENTREPRISE X - C'est à vous de proposer une solution pour l'évacuation d'eau et les pissettes.

ENTREPRISE A - Mais il n'y en avait pas à la conception!

SYNTHÈSE - Vous détectez un problème, vous le signalez et vous proposez une solution.

ENTREPRISE A - Mais je ne suis pas concepteur moi.

SYNTHÈSE - Vous avez proposé des implantations. C'est à vous de les faire figurer sur la maquette pour voir avec les autres lots [...].

ENTREPRISE A - Alors, on demande à faire venir le bureau de

contrôle pour acter et vérifier la solution.

ARCHITECTE - Non, on ne va pas venir faire le bureau de contrôle si on n'a pas de solution!

[Réunion n°28, Juin 2017]

1. ENTREPRISE C - Il y a des grands problèmes de conception. Et nous on n'est pas des concepteurs!

Or, c'est précisément lors des réunions de synthèse d'exécution que ces solutions constructives sont discutées, négociées et adoptées pour le projet. Ces réunions peuvent donc être considérées comme des temporalités de conception collective. Cependant, et c'est ce qui nous intéresse, avec la démarche BIM, ces réunions (réunion de synthèse technique, réunion de synthèse architecturale) sont soumises à de nouveaux enjeux de coordination puisque conditionnées par le travail inédit d'élaboration de maquettes numériques.

De façon générale, rappelons que l'activité de synthèse s'effectue tout au long du projet architectural. Elle permet, entre autres, de cerner, ajuster, mettre à jour et redéfinir les différents paramètres du projet. D'ailleurs, Jérôme Guéneau considère que pour les architectes « *[l'] organisation du métier tient pour sa grande part à cet « art de la synthèse » à laquelle cette profession se réfère encore. C'est cet art de la synthèse comme raison légitimante du métier qui est au socle des enseignements dans les écoles* » (Guéneau, 2019, p. 16). Dès lors, « *faire de la synthèse* » s'avère nécessaire pour les principales phases du projet architectural : programmation, conception et chantier. En pratique, pour les projets de petite dimension (par leur taille ou leur budget), la mission de synthèse n'est que peu traduite d'un point de vue contractuel ou législatif et est réalisée, de manière informelle, entre les acteurs du projet. Lorsqu'elle fait l'objet d'un contrat, elle est généralement assurée par l'équipe de maîtrise d'œuvre et le plus souvent par l'architecte. Par conséquent, « *il s'agit moins de définir une activité de synthèse qu'un « esprit synthèse » qui doit [...] permettre une anticipation constante des problèmes de conception et d'exécution du projet* » (Marie, 2019). En revanche, pour des projets de plus grande envergure la loi n°85-704 du 12 juillet 1985, dite loi MOP³, encourage le recours à une mission de synthèse pour assister les études d'exécution. Ainsi, dans le cadre de projets BIM, l'équipe chargée de coordonner la synthèse voit ses actions et ses responsabilités considérablement évoluer puisqu'elle doit, en plus des études d'exécution, coordonner la fabrication de la maquette numérique. D'ailleurs,

3. Loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

Jean-Baptiste Marie considère que « *les entreprises voient dans la synthèse un outil de plus en plus stratégique contribuant à la maîtrise à la fois organisationnelle et financière des projets* » (Marie, 2019).

Face à l'incitation à réaliser des projets BIM, l'organisation et la gestion de la « *synthèse d'exécution BIM* » prend donc de plus en plus d'importance au sein de ces projets. On voit alors apparaître des entreprises non seulement spécialisées dans la modélisation et le management BIM mais aussi, plus spécifiquement, dans la synthèse BIM (figure 2.1).



FIGURE 2.1 – Page d'accueil du site web d'une entreprise spécialisée dans le management, la synthèse et la modélisation BIM.

Source: <https://mbacity.com>

Concernant le *Grand Projet d'École*, la mission de synthèse BIM a été confiée à la *Grande Agence d'Ingénierie*, cotraitante de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Notons ici que, contrairement aux petits projets, cette mission n'est pas automatiquement confiée aux architectes. En effet, que le projet s'engage ou non dans une démarche BIM, cette mission peut être confiée à une autre équipe de la maîtrise d'œuvre voire être sous-traitée à une société spécialisée. De plus, concernant les réunions de synthèse du *Grand Projet d'École*, on remarquera qu'elles comportent une temporalité spécifiquement dédiée à l'appropriation des process BIM leur conférant d'ailleurs la dénomination de « *synthèse BIM* ». D'un point de vue pratique, une réunion de synthèse s'apparente finalement à un « *forum* » (Flichy, 1995,

p. 118). C'est une instance où différents mondes sociaux s'affrontent autour d'une pratique professionnelle, d'une norme, ou de la définition de multiples questions et des modalités liées à leurs résolutions. Dans ces forums, « *différents sujets sont débattus, négociés et les représentants des différents mondes ou sous-mondes s'affrontent, tentent de se manipuler* » ((Strauss & Baszanger, 1992), cité par Patrice Flichy (Flichy, 1995, p. 118)).

Pierre, l'ancien *Partner-Associé* de la *Grande Agence d'Architecture*, résume l'intérêt de la synthèse lors du chantier comme suit :

Extrait d'entretien (Pierre, ancien *Partner-Associé* de la *Grande Agence d'Architecture*) —

La synthèse, ça crée le fait que les gaines passent aux bons endroits [...] ce qui est quand même quelque chose qui est très difficile à obtenir sur un chantier [...]. Le BIM peut certainement, s'il est étendu [à l'ensemble des corps de métier], être source de profit, de profit intelligent pour éviter des réclamations financières, pour éviter que des tuyaux sortent d'un bâtiment à un endroit, et puis que ceux qui ont été posés, ils ne soient pas au bon endroit [...]. Et éviter que les caniveaux d'un bâtiment, [ne] soient pas raccordés. Et là, le BIM [...] il peut résoudre beaucoup, beaucoup de problèmes!

Lors de la réalisation d'un chantier, la synthèse permet de résoudre les problématiques d'interfaces entre les différentes entreprises de construction. Aussi, lorsque Pierre souligne que sur un chantier il est « *très difficile* » d'avoir « *des gaines qui passent aux bons endroits* », il sous-entend que la coordination entre les différents corps de métiers est loin d'être aisée. L'activité de synthèse relève donc d'une activité principale de coordination entre les différents acteurs du chantier. En pratique, l'équipe de synthèse s'assure, par exemple, que l'entreprise de gros œuvre a bien intégré les réservations dans son mur pour que l'entreprise de CVC puisse y passer ses gaines et que ces mêmes gaines restent dans le gabarit défini par l'architecte afin que l'entreprise qui s'occupe du lot intérieur puisse poser ses faux plafonds sans encombre. Ainsi, lorsque Pierre pense que la démarche BIM peut « *être source de profit [...] éviter des réclamations financières* » et les malfaçons, on comprend que c'est précisément grâce à l'élaboration de la maquette numérique puisqu'elle doit permettre d'anticiper les problématiques et les éviter sur le chantier.

Extrait de document : Note d'organisation synthèse BIM

« La mission de synthèse permet la réalisation coordonnée des dossiers d'exécution des entreprises à travers la maquette numérique d'exécution, et a pour seul objectif la visualisation des conflits et la formalisation des solutions communes exprimées par les spécialités concernées. »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2015 du *Grand Projet d'École*

Extrait de document : Charte BIM

« La coordination interdisciplinaire sera assurée par une synthèse 3D s'appuyant sur la maquette architecte et les maquettes numériques des titulaires. Ce mode de coordination, qui a été déployé par la maîtrise d'œuvre, dès le stade de la conception, est, pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, un gage de maîtrise des coûts et des délais. Pendant la phase EXE la visualisation 3D de la maquette numérique sera utilisée pour faciliter les prises de décisions en réunion de chantier ou en réunion d'étude. In fine, la maquette numérique du titulaire, contiendra l'ensemble des informations nécessaires au maître d'ouvrage pour assurer la gestion et la maintenance de ses locaux. Avec le DOE, le maître d'ouvrage recevra le modèle BIM DOE réunissant les maquettes DOE des titulaires. »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École*

A partir du moment où les entreprises travaillent « à travers la maquette numérique d'exécution », l'équipe de synthèse (aussi appelée cellule synthèse) doit être capable de s'assurer que les données modélisées soient de qualité et que toutes les maquettes métiers soient cohérentes entre-elles afin que la maquette DOE puisse être exploitable pour la maintenance du bâtiment. Il ne s'agit donc plus de savoir uniquement coordonner les acteurs d'un chantier mais il faut aussi pouvoir coordonner, organiser et gérer la diversité de leurs maquettes métiers. En pratique, l'équipe de synthèse BIM doit donc savoir comment paramétrer, stocker, échanger et analyser les maquettes métier pour coordonner la production et la réalisation de la maquette numérique du projet et donc du chantier. Dès lors, les réunions de synthèse constituent des espace-temps privilégiés d'observations d'acteurs du projet en situation d'ajustement, de négociations et de coordination sur des problématiques de chantier mais aussi de maquettes. Et c'est en s'intéressant justement aux négociations qui s'opèrent dans ces espaces-temps que nous envisageons donc de mieux comprendre comment s'élabore la maquette numérique du *Grand Projet d'École*. Mais avant d'entrer dans la description et l'analyse de ces réunions, nous devons nous attacher à expliciter les spécificités d'organisation de ces réunions, comprendre qui sont les principaux acteurs qui y participent et quel rôles ils occupent mais nous devons aussi considérer les acteurs non-humains qui y sont mobilisés ou évoqués car ils participent, eux aussi, à reconfigurer

le déroulement du projet.

2.2.1 Structurer la synthèse BIM autour d'une équipe spécialisée

Afin de garantir une meilleure maîtrise du projet et de sa qualité, la maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École* a décidé de ne pas faire appel à une entreprise générale mais de travailler en lot séparés. Le chantier a été divisé en une dizaine de lots dont quatre principaux macro-lots. En choisissant de travailler avec un nombre plus important d'entreprises, il devient nécessaire de penser l'organisation des échanges pour s'assurer que la réalisation du chantier et de la maquette numérique puissent être réalisés dans les meilleures conditions. Pierre, nous confie alors comment a été imaginé le fonctionnement des échanges entre les entreprises de construction et la cellule synthèse :

Extrait d'entretien (Pierre, ancien *Partner-Associé* de la *Grande Agence d'Architecture*) —

J'avais par exemple identifié le fait de mettre en place une espèce de « fleur » [...] une « fleur Full BIM » [...] au milieu de la fleur [...] à cinq ou six pétales [...] qui représentent le gros œuvre, VRD, étanchéité, fondations spéciales, fondations tout court, clos couvert, façades, toitures, équipements techniques et finitions et puis le cinquième [pétale] c'est des micro-lots particuliers, liés à la spécificité du programme [signalisation, scénographie, paysage, ascensoriste] [...]. Au milieu de la fleur [...] il fallait une synthèse puissante et musclée, et cette synthèse, pour moi, elle intégrait un « lot synthèse BIM » qui allait récupérer les fichiers BIM des quatre autres [pétales], structurés pour le BIM et qui allait aussi aider le cinquième parce que, si vous prenez un lot plantation [...] : il [ne] va pas être en BIM, si vous voulez. Si vous prenez un lot branchement machines spéciales : il [ne] va pas être en BIM. Donc, ce BIM central, qui est le centre de la fleur, c'est comme un tournesol. Le BIM central, lui, il allait s'occuper de la synthèse, de la vérification, du bon usage du BIM et de la coordination des différents pétales et puis il allait aider le cinquième pétale, parce que le cinquième pétale n'avait pas le niveau de compétence.

Une fois que la démarche « *full-BIM* » a été décidée, la maîtrise d'œuvre comme la maîtrise d'ouvrage ont rapidement identifié la nécessité de mettre en place une équipe de synthèse « *puissante et musclée* ». L'équipe synthèse ou le lot synthèse BIM représente alors le cœur de la fleur ou ce que Pierre appelle « *le BIM central* » et a pour objectif « *la coordination des différents pétales* » (figure 2.2), autrement dit : la coordination entre les différentes entreprises de construction. La cellule synthèse

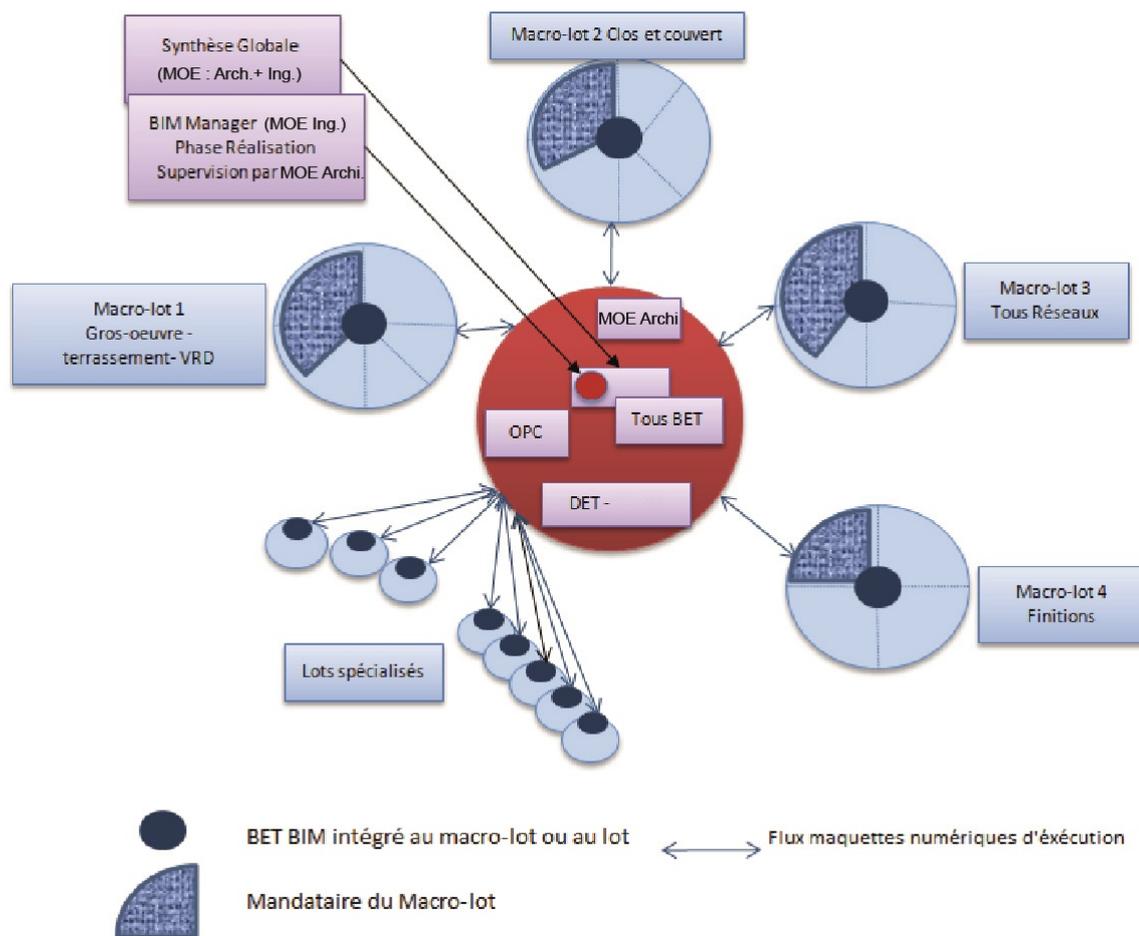


FIGURE 2.2 – Schématisation « en fleur » de l'organisation des échanges entre les entreprises et maîtrise d'œuvre.

Source: Extrait d'un document de communication du *Grand Projet d'École* destiné à expliquer la démarche BIM pendant le chantier.

doit aussi vérifier que la production des maquettes soit la plus efficace possible et on notera qu'une mission spécifique de « *BIM management chantier* » a été couplée à la mission de synthèse BIM dont nous expliciterons plus loin les activités. Enfin, une fois l'organisation subdivisée en « *pétales* », un nouveau processus d'échange et de production des maquettes et des livrables a été mis en place en se basant sur un rythme d'une réunion de synthèse hebdomadaire.

2.2.2 Les temporalités de la synthèse : entre co-conception et conception distribuée

Concernant le travail réalisé par les acteurs de la synthèse, on identifie deux phases principales de travail hebdomadaire. D'une part, il y a un travail distribué qui s'effectue au sein des entreprises par les acteurs entre chacune des réunions de synthèse, et d'autre part un travail collectif mené lors des réunions qui se déroulent au sein de la base VIE du chantier. Lors des phases de travail distribué, les acteurs alimentent, échangent et communiquent des informations afin d'élaborer leurs maquettes métier. D'ailleurs, remarquons que les acteurs travaillent depuis toute la France et parfois même depuis l'étranger. Tandis que lors des phases de travail collectif, les acteurs se retrouvent sur le site du *Grand Projet d'École* et négocient les réajustements qu'ils doivent effectuer en se basant sur les productions réalisées pendant la phase de travail distribué. Ces réajustements s'opèrent à la fois concernant le chantier du bâtiment mais aussi concernant l'élaboration de la maquette numérique.

La schématisation du fonctionnement de la synthèse (figure 2.3) permet de signaler deux choses. Premièrement que la fabrication des deux objets : bâtiment physique et maquette numérique s'appuie sur un processus commun et deuxièmement qu'une partie des réajustements collectifs inhérents à ces deux fabrications se font lors d'un même espace-temps : les réunions de synthèse. Dès lors, ces espaces-temps jouent un rôle double car ils permettent à la fois de résoudre les problématiques chantier mais aussi de répondre aux questionnements concernant la fabrication de la maquette numérique. En revanche, le travail distribué effectué sur ces deux objets entre chaque réunion s'opère de façon dissociée. Par exemple, une entreprise pourra d'un côté mettre à jour sa maquette métier en modélisant des murs porteurs d'un étage courant et de l'autre, être en train de faire couler une dalle de béton en sous-sol par ses ouvriers. Bien entendu, le phénomène de production asynchrone n'est pas nouveau puisque l'élaboration des plans d'exécution vient toujours avant la mise en œuvre. Mais la nouveauté provient du fait que les plans d'exécution doivent être extraits de la maquette métier de chaque entreprise qui doit être cohérente avec l'ensemble des autres maquettes métiers. Ainsi, pour qu'un plan d'exécution

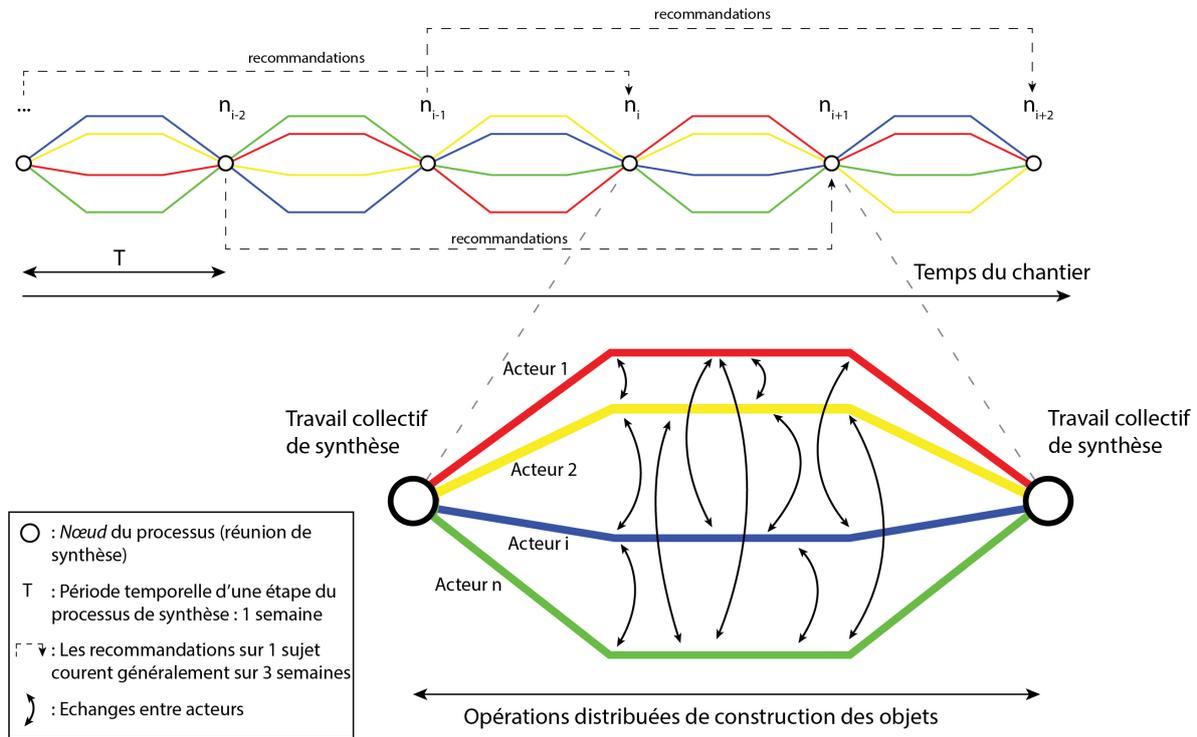


FIGURE 2.3 – Schématisation du processus de synthèse dans la temporalité du projet.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document issu de : http://www.unit.eu/cours/bim/u09/co/u09_080_9-6-1.html

soit susceptible d'être accepté, il doit être extrait d'une maquette métier qui doit, elle aussi, être préalablement validée. Ceci donne donc lieu à deux validations successives : la maquette puis le plan. Dès lors, l'avancée du chantier est contrainte par la conformité des maquettes métier ce qui oblige à une attention tridimensionnelle du projet beaucoup plus précise et plus étendue que celle circonscrite dans les plans ou les documents graphiques 2D.

D'un point de vue pratique, les réunions de synthèse se déroulaient initialement sur une demi-journée mais face à la progression des sujets à traiter, il a rapidement été nécessaire d'effectuer des réunions sur des journées complètes. Ces journées se découpent alors en deux temps. Un premier temps est dédié à la présentation de l'ordre du jour et des sujets qui seront traités dans la journée. C'est aussi un temps où les problématiques ou difficultés BIM peuvent être débattues collectivement. Une fois cette première réunion identifiée officiellement par « *réunion BIM* », il s'effectue simultanément la réunion de synthèse architecturale d'une part et la réunion de synthèse technique d'autre part.

Remarquons que ces trois temporalités sont d'ailleurs identifiées dans chaque compte rendu de synthèse par trois encadrés : BIM, synthèse technique et synthèse architecturale. La synthèse technique porte principalement sur des problématiques d'interfaces entre le gros œuvre, les réseaux, les lots intérieurs et d'éventuels lots spécialisés. La synthèse architecturale traite principalement de la cohérence spatiale et architecturale entre les différents lots.

En avril 2017, lorsque nous avons débuté nos observations dans ces réunions, celles-ci avaient donc déjà cours depuis plusieurs mois. En effet, ces réunions se sont déroulées pendant près d'un an et demi au cours de la période de fin novembre 2016 à mi-juillet 2018. Après nos premières observations, nous nous sommes aperçu que les temps spécifiquement dédiés aux problématiques BIM et à leur résolution collective étaient progressivement remplacés par l'urgence des sujets à traiter sur le chantier et donc en synthèse technique ou architecturale. Notons aussi qu'au fur et à mesure que les acteurs acquièrent les compétences BIM et que le processus BIM est intégré par les différentes entreprises, la temporalité spécifiquement dédiée aux sujets BIM perd de son utilité ou est déplacée dans les réunions de synthèse technique et de synthèse architecturale.

2.2.3 Le processus de la synthèse BIM

La démarche BIM impose une réorganisation de la synthèse mais modifie aussi les pratiques de production des documents graphiques ainsi que les processus de travail. Le processus de synthèse qui allie travail distribué et travail collectif autour de la production, de l'échange et de la validation des maquettes métiers peut être décomposée en cinq étapes principales.

Étape 1 (figure 2.4) : Au démarrage du chantier, la maquette PRO (constituée de la maquette architecte et de la maquette structure) ainsi que des documents explicatifs (charte BIM, note méthodologique synthèse) sont déposés sur un serveur afin d'être transmis à l'ensemble des entreprises. Ensuite, les maquettes architecte et structure continuent d'être mises à jour pendant le chantier et restent diffusées et disponibles aux entreprises.

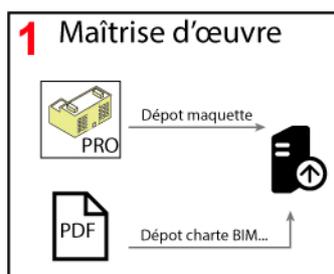


FIGURE 2.4 – Étape 1 : Production de la maquette PRO par la MOE et dépot sur le serveur.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document du *Grand Projet d'École*.

La maquette architecte est une maquette guide, depuis la phase conception, elle sert de référence aux maquettes entreprises. Les architectes de la *Grande Agence d'Architecture* nous rappellent que cette maquette est précieuse pour les entreprises surtout celles qui débutent avec la modélisation car elles peuvent s'appuyer dessus. Ainsi, une partie la vérification passe par une simple superposition des plans et la recherche d'éventuels décalages qui seraient alors synonymes de problèmes.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

La synthèse c'est toujours un bor***, de base et dans tous les chantiers [...]. La vie du chantier est ainsi faite qu'il y a des problèmes ou des éléments que l'on n'avait pas pris en compte dans les phases précédentes et la synthèse sert donc à résoudre ces problèmes-là. Mais [...] comme les intervenants ne sont pas très à l'aise avec Revit[®] c'est compliqué. Avant chaque rendu l'architecte doit dire : « *stop! J'arrête de dessiner* », pour qu'il y ait un fond de plan et que les entreprises puissent travailler dessus. Dans toutes les phases précédentes c'était l'architecte qui fournissait les fonds de plans. L'architecte s'arrêtait, l'ingénieur commençait alors à dessiner. D'ailleurs, c'est très bizarre parce que habituellement les architectes dessinent jusqu'à la fin de leurs jours et les ingénieurs terminaient de travailler avant eux. Enfin c'est ce qui se passait dans les charrettes habituelles. Là, il faut qu'on termine les choses avant ce qui est déjà un boulot car les architectes ne terminent jamais avant! C'est pour que les ingénieurs puissent ensuite mettre tout à jour à leur tour sur la base d'une maquette qui n'évolue plus! Mais en réalité la rigueur qu'on avait mis en place en conception, elle n'est plus faite en chantier car on n'a juste pas le temps.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Nos maquettes sont des maquettes vivantes jusqu'à la fin et pour tout le monde! [...] Toutes les maquettes conception [qui datent du PRO] sont prévues pour être des maquettes guides. Elles guident dans le sens où c'est la référence [...]. Quand on fait une modification, on modifie dans la maquette et on republie une nouvelle version de la maquette.

Les propos de Maria apportent un premier éclairage sur le changement qu'implique la démarche BIM sur les pratiques de travail de l'architecte et en particulier sur ses rapport de travail avec les ingénieurs qui réalisent la maquette structure. Elle signale que la rigueur des processus BIM demeure difficile à maintenir en chantier faute de temps et fait état d'une réelle difficulté à produire les maquettes architecte et structure dans les temps impartis.

Étape 2 (figure 2.5) : Les documents sont téléchargés par les entreprises. Chaque entreprise produit sa propre maquette métier en s'appuyant sur la maquette PRO et en respectant les éléments de la charte BIM.

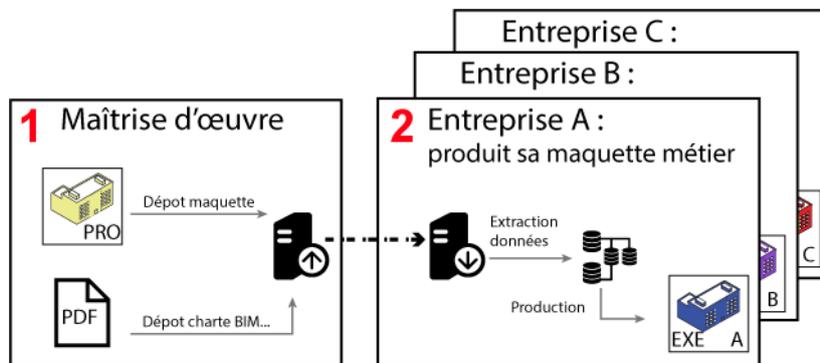


FIGURE 2.5 – Étape 2 : Production des maquettes métiers par les entreprises.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document du *Grand Projet d'École*.

Étape 3 (figure 2.6) : Grâce à un plugin logiciel, les entreprises déposent sur la GED une enveloppe ou leur maquette métier. Les livrables restent en attente que la maquette métier soit validée. Ils ne sont transmis aux acteurs concernés pour VISA MOE que lorsque la maquette métier est validée (étape 4-B).

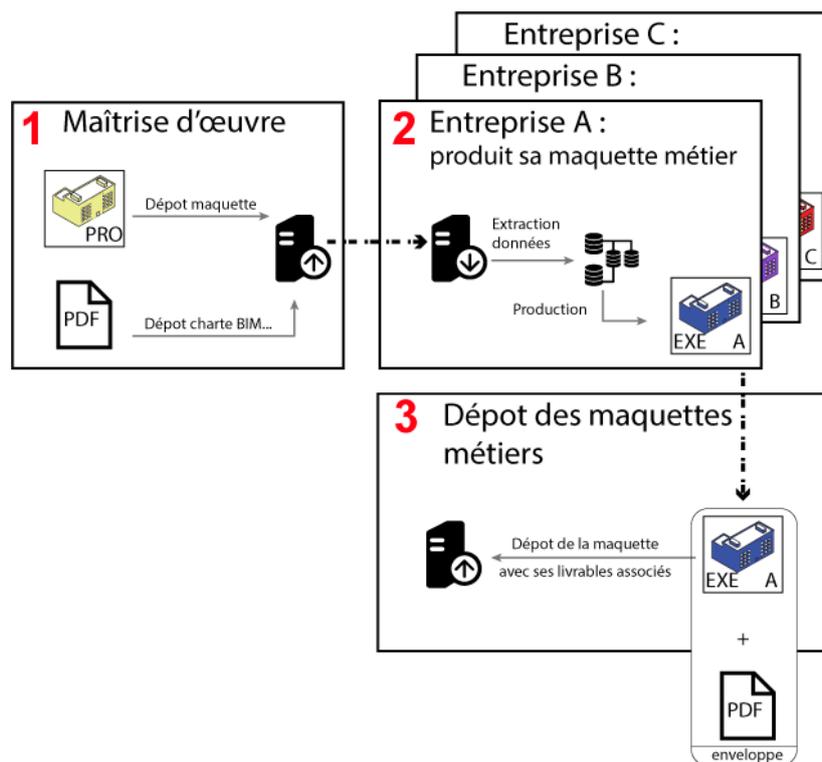


FIGURE 2.6 – Étape 3 : Les entreprises déposent leurs maquettes métiers sur la GED.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document du *Grand Projet d'École*.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°21, Mai 2017]

1. SYNTHÈSE - C'est dommage car le BIM c'est un outil formidable pour la coordination mais on a du mal à obtenir des informations [...]. Nous on est de la coordination. Alors n'attendez pas qu'on vous dise quoi faire. Nous on est juste là pour vous coordonner. Mais on n'a encore jamais eu l'occasion de travailler efficacement avec des maquettes finalisées et pas « *en chantier* », « *en cours* », « *à mettre à jour* » comme c'est souvent le cas.

[Réunion n°31, Juin 2017]

1. SYNTHÈSE - Aujourd'hui [l'entreprise C] joue le jeu. Pour que ce soit fluide et que ça fonctionne, il faut mettre à jour vos maquettes. Il faut absolument que vos maquettes soient diffusées avec un temps spécifique.

ENTREPRISE D - C'est vrai que le planning de mise à jour est plus compliqué de notre point de vue.

SYNTHÈSE - Dans le process il y a beaucoup d'inertie donc

on peine à passer à autre chose mais là c'est trop tard pour certains sujets, il faut qu'on avance.

2. SYNTHÈSE - La maquette VRD a eu un problème avec le géo-référencement donc si tu es venu avec un plan c'est mieux!

Le dépôt de la maquette métier est une phase cruciale dans le processus et l'organisation de la synthèse. Il devient effectivement nécessaire que toutes les entreprises déposent dans les mêmes temporalités leur maquette métier pour que l'équipe synthèse puisse faire son travail de synthèse et assembler toutes les maquettes métiers. Sans quoi, le travail de conception collective de réunion de synthèse ne peut être réalisé.

Pour maîtriser ces temporalités de dépôt, un plugin logiciel, développé par l'entreprise qui assure le service de GED⁴, est utilisé pour déposer les maquettes métiers et les livrables. Ce plugin constitue alors un nouveau dispositif de contrôle. Il est configuré afin que puisse être déposés sur la GED au choix : la maquette métier au format propriétaire (.rvt) ; la maquette métier au format IFC ; les livrables rattachés à cette maquette.

Dans le cadre du *Grand Projet d'École*, il a été expressément notifié aux entreprises de déposer leurs maquettes métiers au format propriétaire et au format IFC. Si la majorité des acteurs travaillent effectivement sur le logiciel Revit[®] et mobilisent donc le format propriétaire, remarquons que les architectes ne diffusent pas leur maquette architecture en format IFC.

Étape 4 (figure 2.7) : Les maquettes métiers sont téléchargées et vérifiées par le BIM manager chantier. Il vérifie le respect de la charte BIM et la qualité des informations numériques saisies par les acteurs : géolocalisation de la maquette, respect de l'allocation des modélisations dans les bons sous-projets, respect des typologies de familles d'objets... Ce contrôle est destiné à garantir la qualité informatique des maquettes et lui permet d'émettre trois types de Visa BIM : Refusé ; Validé Avec Observation (VAO) ; Validé Sans Observation (VSO).

4. Gestion Électronique de Documents

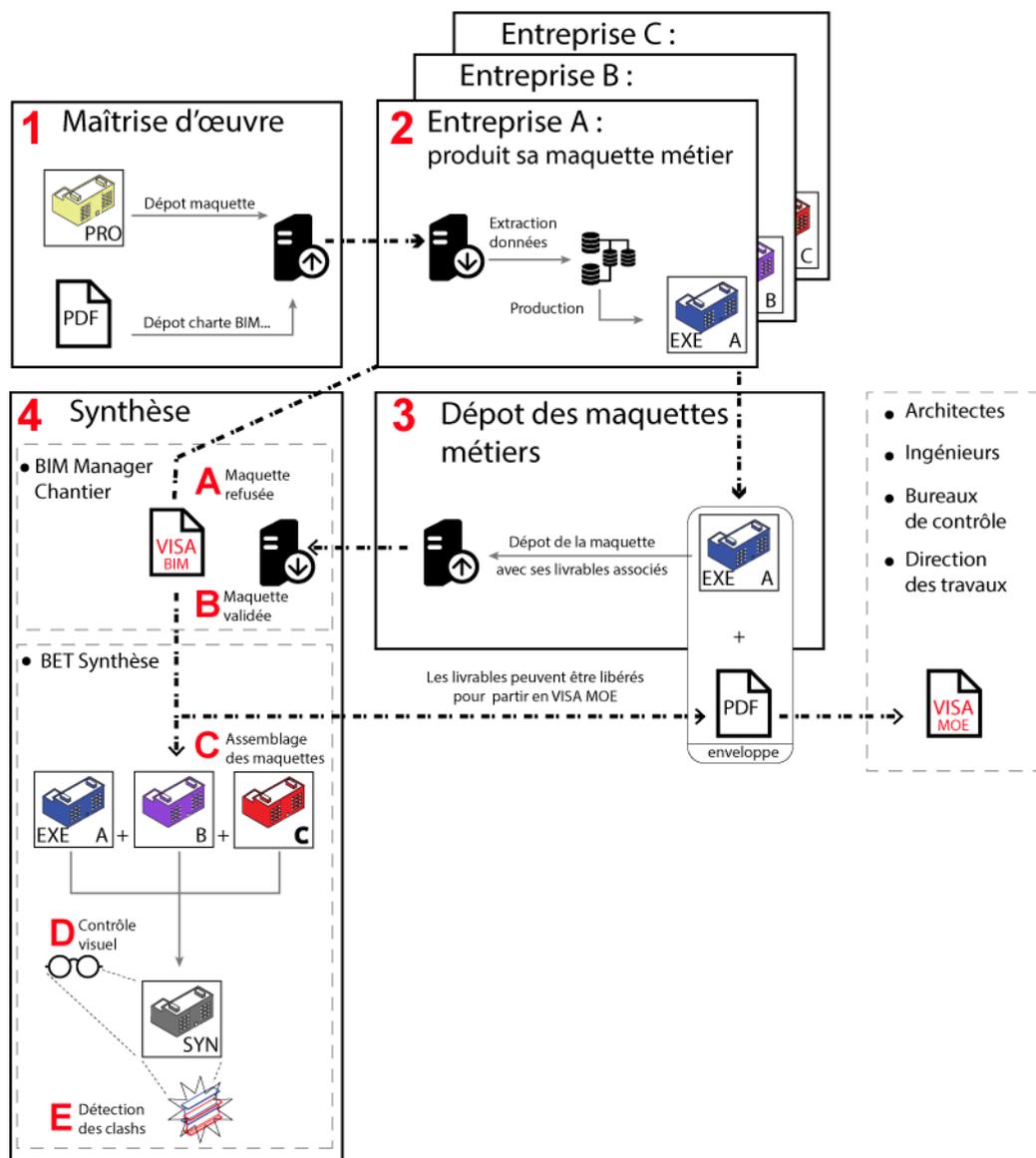


FIGURE 2.7 – Étape 4 : La cellule synthèse vérifie l'intégrité des maquettes et assemble la maquette synthèse.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document du *Grand Projet d'École*.

Étape 4-A : Si la maquette métier comporte des erreurs majeures, elle est refusée. Les livrables qui lui sont associés sont donc automatiquement refusés. L'entreprise concernée doit alors corriger les erreurs (retour Étape 2) et déposer une nouvelle version de sa maquette métier et les livrables associés.

Étape 4-B : S'il existe des erreurs dans la maquette métier mais qu'elles sont mineures et non bloquantes pour le processus de synthèse, le BIM manager chantier émet un Visa VAO : les erreurs sont signalées à l'entreprise et la maquette passe à l'étape 4-C. Une alerte est envoyée à l'entreprise

pour qu'elle corrige l'erreur d'ici à au prochain dépôt. De même, la maquette passe directement à l'étape suivante si elle ne contient pas d'erreurs et est validée sans observation (Visa VSO).

Étape 4-C : Les projeteurs BIM de l'équipe de synthèse réalisent l'assemblage des différentes maquettes métiers qu'ils reçoivent de la part des entreprises afin de produire une maquette synthèse.

Étape 4-D : Le BET synthèse effectue une analyse visuelle de la maquette synthèse afin de repérer les erreurs de modélisation.

Étape 4-E : En parallèle, le BET synthèse réalise des analyses de conflits automatique à l'aide de différents outils informatiques (détection de clashes) pour vérifier la cohérence des modélisations entre les maquettes métiers.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°19, Avril 2017]

1. SYNTHÈSE - Si vous voulez travailler en IFC, pas de problème, nous on sait retravailler avec même si ce n'est pas l'idéal, mais allez-y [...]! Le but du BIM c'est d'être plus souple alors que là c'est le contraire, c'est ultra rigide! Là on est à contre-courant du BIM.

[Réunion n°20, Avril 2017]

1. ENTREPRISE A - La maquette est faite mais elle est mal géo-référencée. Sinon on la diffuse comme ça?

SYNTHÈSE - Non vous la modifiez sinon elle ne sera pas acceptée en VISA.

ENTREPRISE A - Ok, alors on rediffuse ce soir.

2. SYNTHÈSE - La nouvelle famille c'est vous qui l'avez créée?

ENTREPRISE A - Oui, enfin pas moi directement, mais c'est nous.

ENTREPRISE C - Bah depuis que vous avez changé la structure, nous de notre côté on ne peut plus rien mettre à jour. Dès qu'on fait une mise à jour, toutes nos réservations disparaissent et on en n'a pas qu'un peu!

[Réunion n°21, Avril 2017]

1. SYNTHÈSE - On a besoin de maquettes mises à jour pour les synthèses. On rame beaucoup là parce que vous ne jouez pas le

jeu.

2. ENTREPRISE C - La modification a été faite mais pas sur la bonne maquette.

SYNTHÈSE - Attendez vous être en train de me dire que j'ai traité 1500 réservations et modifications sur une maquette qui n'était pas à jour?

[Réunion n°26, Juin 2017]

1. SYNTHÈSE - Votre maquette a été refusée, je suis désolé.

ENTREPRISE C - Oui, je sais, on s'est trompé dans une référence de hauteur. J'ai vu ça hier.

SYNTHÈSE - Mince, je pensais que ça allait le faire [...]! On reporte donc ce point à l'ordre du jour faute de non mise à jour de la maquette correspondante. Et comme la maquette de réservation a été refusée ce matin, donc on décale à la semaine prochaine.

On s'aperçoit dans ces différents extraits que s'il existe un protocole et un processus pré-établi, en pratique les choses se déroulent parfois autrement. En particulier, de nombreuses problématiques liées à l'utilisation des nouveaux artefacts numériques par les acteurs freinent le processus. On peut ainsi lister : le format d'export des maquettes métiers (sous format .IFC ou natif .RVT), la gestion des étiquettes de réservations, la mise à jour et la diffusion de toutes les maquettes métiers en même temps pour que la cellule synthèse puisse effectuer l'analyse, la problématique de géoréférencement, la construction de nouvelles familles d'objets dans les maquettes métiers, les bugs liées à la GED... Bien entendu, si les bugs sont parfois bien réels, le responsable de synthèse en signalant : « *vous ne jouez par le jeu* », sous entend que certaines difficultés relèvent probablement plus de la stratégie d'entreprise que d'un problème technique.

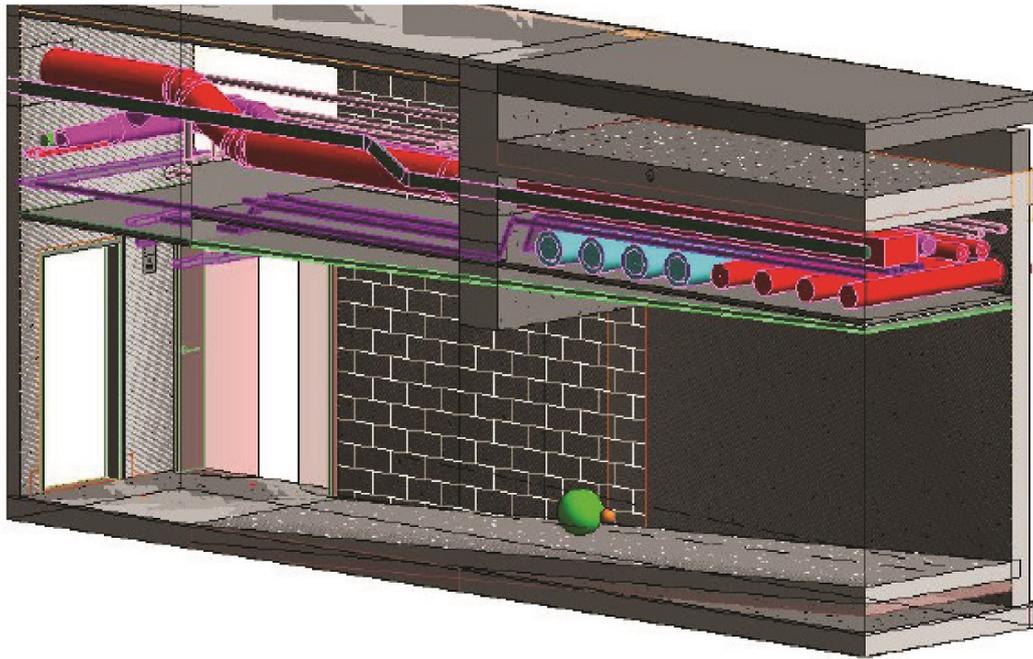


FIGURE 2.8 – Exemple de représentation d'un clash de modélisation

Source: Document extrait de la maquette synthèse par la maîtrise d'œuvre.

Étape 5 (figure 2.9) : Les acteurs de la synthèse se réunissent pour une réunion hebdomadaire de travail collectif. La cellule synthèse effectue un retour sur les erreurs et les conflits constatés. Le collectif d'acteurs travaille en s'appuyant sur les plans de synthèse et/ou des outils de visualisation de la maquette synthèse pour résoudre les problématiques. A l'issue de la réunion, un compte rendu, est envoyé à l'ensemble des acteurs leur permettant de connaître les modifications qui leur sont signalées. Une fois la réunion terminée, le processus reboucle sur l'étape 2.

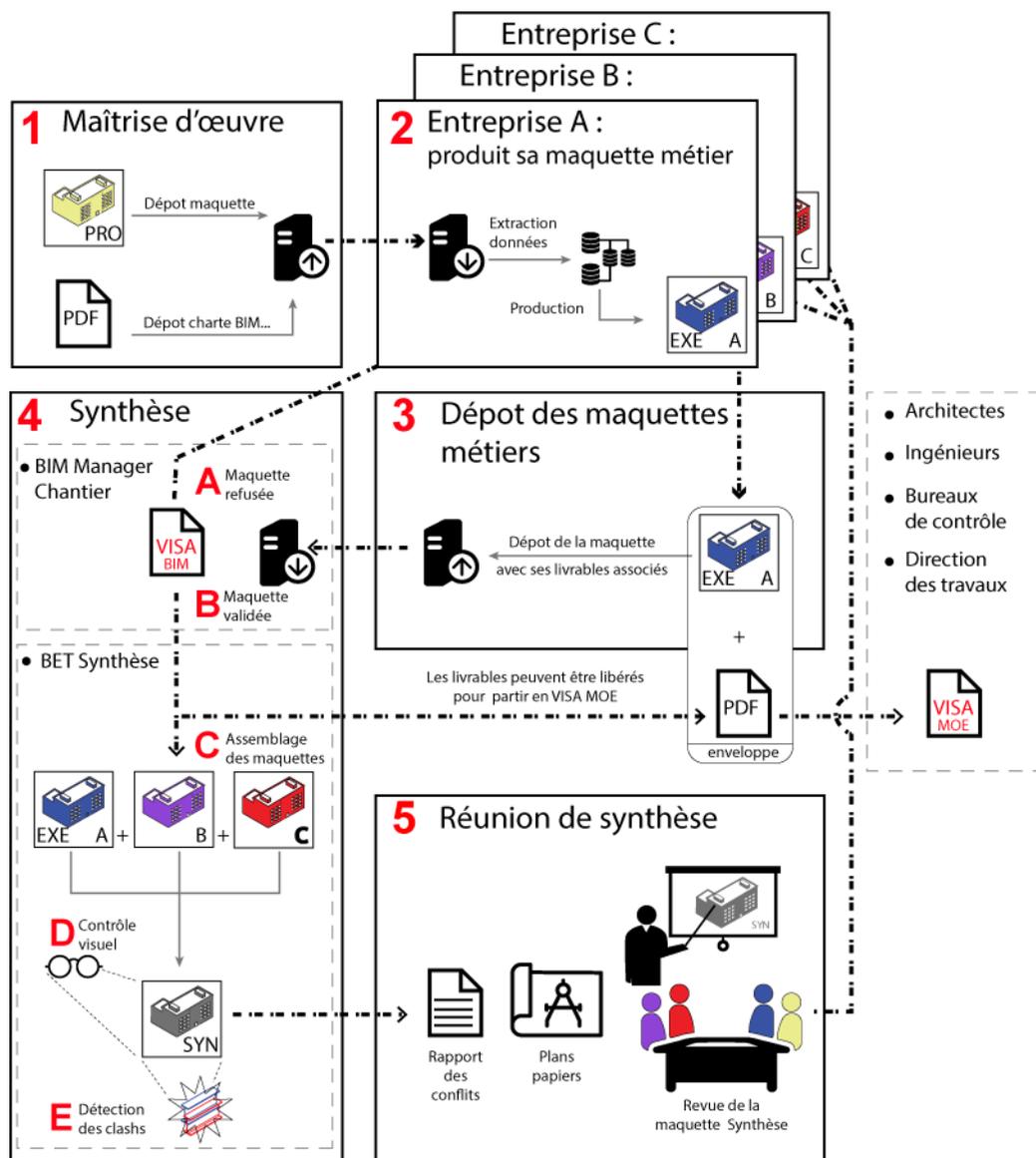


FIGURE 2.9 – Étape 5 : Les décisions techniques et architecturales se font en réunion de synthèse en s'appuyant sur la maquette synthèse et les plans extraits.

Source: Adaptation de l'auteur basée sur un document du *Grand Projet d'École*.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°28, Juin 2017]

1. SYNTHÈSE - On peut signer maintenant mais il ne faut pas réaliser tel que c'est représenté sur le plan extrait de la maquette non mise à jour. Mais en réalité il n'y a pas de sujet tout a déjà été vu! Ce qui montre bien que le problème c'est cette maquette qui date du 5 avril!

RESPONSABLE OPC ^a - Attendez mais ce problème, [l'architecte] vous a mis un e-mail il y un mois! Vous n'avez jamais répondu à ce mail?

ENTREPRISE A - Non...

RESPONSABLE OPC - Vous faites quand même chier!

a. Organisation Pilotage Coordination

Dans un premier temps, ce type schématisation (figure 2.9) nous permet de comprendre le nouveau processus général de travail mis en place pour les réunions de synthèse BIM. Dans un second temps, les extraits permettent de signaler que les activités des acteurs humains impliqués : maîtrise d'œuvre, entreprises, BIM manager chantier, BET synthèse, sont étroitement liées à celles à des acteurs non-humains (objet) tels que : les serveurs, le plugin logiciel, la GED, le logiciel de détection de clash, la routine informatique analysant la bonne géolocalisation des maquettes métiers, l'enveloppe, le VISA BIM, entre autres. Mais ces extraits permettent aussi de montrer que l'on ne peut pas s'astreindre au formalisme des schématisations, qui, si elles sont didactiques, ne permettent pas de refléter la réalité sociale des choses véritablement à l'œuvre lors de l'élaboration des maquettes numériques. En effet, comme tout processus, il existe des cas limites, des marges de manœuvres et des degrés de libertés qui permettent de court-circuiter une partie ou l'ensemble du processus.

Or, les court-circuits de ces processus sont quotidiens et révélateurs de probables points de faiblesses ou manques. Concernant le non respect du processus de diffusions des maquettes métiers, nous avons par exemple été témoin lors d'une immersion au sein de l'équipe de synthèse du déroulé suivant :

- La cellule synthèse constate que l'entreprise C n'a pas effectué le dépôt de sa maquette métier sur la GED.
- La synthèse ne peut donc pas être réalisée sans la nouvelle version de la maquette métier de l'entreprise C.
- Le responsable synthèse échange par téléphone avec un acteur de l'entreprise C, celui-ci fait savoir qu'ils rencontrent un problème avec le dépôt des maquettes et ne peuvent pas la redéposer immédiatement.
- Face à l'urgence de la situation, il est alors demandé à l'acteur de l'entreprise C de transmettre sa maquette métier par courrier électronique.

On s'aperçoit ici, que face à certaines conditions d'urgence, de difficultés techniques et avec un rapport de confiance suffisant, il devient tout à fait possible de court-circuiter le processus précédemment décrit et notamment le dépôt sur la GED et l'utilisation du plugin Revit[®]. Si cet exemple n'en demeure pas pour autant pénalisant vis-à-vis de l'avancement du projet, il démontre cependant l'existence de marges de manœuvre qui ne sont pas décrites par les processus mais pourtant quotidiennement utilisées par les acteurs et doivent donc nous permettre de considérer ces schématisations comme une réduction qui ne peut en aucun cas restituer la réalité de faits et la complexité des échanges.

Bien entendu, il existe aussi des dispositifs de contrôle et des engrenages de sécurité qui tentent d'empêcher la fraude et le non-respect de réglementations ou de normes que le processus entend établir. Ces dispositifs se matérialisent, en partie, par de nouveaux artefacts numériques tels que le plugin Revit[®], le fonctionnement de la GED ou encore le VISA BIM. On remarque effectivement que les difficultés organisationnelles liées à l'adoption de la démarche BIM et la production de maquettes numériques impliquent un apprentissage de nouvelles coutumes de travail mais font aussi appel à un écosystème numérique et un outillage avec de nouveaux objets (acteurs non-humains) qu'il convient de s'approprier avant que leur usage puisse être efficace.

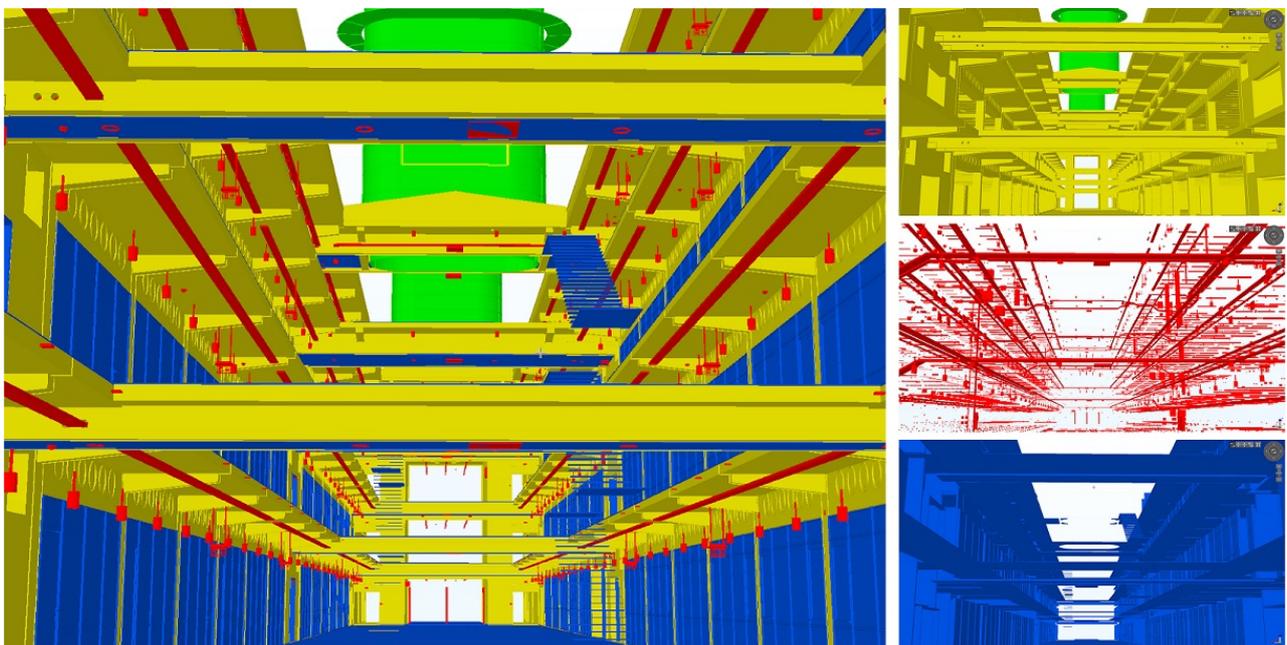


FIGURE 2.10 – Exemple de représentations d'une maquette synthèse et des maquettes métiers : maquette gros œuvre (jaune), maquette lot intérieur (bleu), maquette CVC (rouge) et maquette façade (vert)

Source: Visualisation proposée par l'auteur à partir de maquettes numériques du *Grand Projet d'École*.

2.3 Le rôle des non-humains dans l'activité de synthèse

Comme nous venons de le voir, au-delà des nouveaux processus de travail, les projets BIM voient aussi apparaître une série d'artefacts inédits. En plus des plans, coupes, carnets de croquis, fiches descriptives, comptes-rendus, la production de maquettes numériques renforce et légitime l'utilisation de multiples artefacts numériques supplémentaires. Ainsi, vouloir comprendre comment s'élabore une maquette numérique nous amène à nous intéresser à l'ensemble de ces objets. Comme le rappellent les sociologues Eve Chiapello et Patrick Gilbert (Chiapello *et al.*, 2013) dans leur ouvrage *Sociologie des outils de gestion* : les outils, qu'ils soient matériels (ordinateurs, servers, badge) ou « invisibles » (logiciels, plugin, routine), constituent des facteurs structurant le travail ainsi que les processus de coordination. Parmi l'ensemble des artefacts numériques, certains nous sont ainsi apparus être incontournables quant à la compréhension du travail de production de maquettes, mais aussi lors des mécanismes de coordination entre acteurs et donc de conception. Dans la liste de ces acteurs non-humains, on retrouve par exemple :

- le logiciel de modélisation BIM Revit[®] ainsi que les viewer BIM ;
- la plateforme GED qui permet l'échange et le partage des maquettes métiers ;
- l'« *add-on* »⁵ (ou le plugin) Revit[®] qui permet l'export automatique des maquettes métiers sur la GED ;
- le VISA BIM destiné à contrôler la qualité des maquettes métiers.

2.3.1 Le logiciel BIM

Un projet BIM ne peut pas être envisagé sans l'utilisation d'un logiciel BIM que ce soit pour construire mais aussi pour visualiser une maquette numérique. Au sein du *Grand Projet d'École*, la majorité des acteurs ont travaillé sur le logiciel Revit[®]. A ce propos, notons que cette situation demeure relativement rare en pratique car il reste extrêmement compliqué et litigieux d'imposer à une entreprise l'utilisation spécifique d'un outil ou d'un logiciel privé. D'ailleurs, Anna, la BIM manager chantier nous confie :

5. L'add-on est un module complémentaire qui ajoute une fonction au programme informatique (ici, le logiciel BIM) ce qui en permet une utilisation personnalisée.

Extrait d'entretien (Anna, BIM manager chantier au sein du *Grand Projet d'École*) —

Sur le projet [...] les entreprises avaient obligation de répondre en BIM [...]. Théoriquement on n'a pas le droit de le faire mais on a fortement sous-entendu dans une charte BIM de répondre en Revit® pour avoir moins de problématiques

Extrait de document : Charte BIM

« *Définition des formats des fichiers informatiques : Les maquettes numériques transmises par les titulaires seront obligatoirement au format Revit®, version 2016 ou équivalent. L'équipe de maîtrise d'œuvre a développé les études de conception sur Revit® 2016 et continuera de travailler avec ce logiciel en phase EXE. Une mise à jour annuelle de la version du logiciel sera prévue, sur simple indication de la maîtrise d'œuvre et, de façon prévisionnelle, pendant la première quinzaine du mois d'août.* »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École*

Avec la démarche BIM, les problématiques de logiciels BIM et de leurs interopérabilités prennent une grande importance car elles conditionnent directement la qualité des échanges, la coordination et donc le travail collectif à réaliser.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°31, Juin 2017]

1. ENTREPRISE C - Moi aujourd'hui j'ai un problème, je ne sais pas modéliser ce type de centrale de tirage VRD. Quand j'exporte en 3D, il n'en tient pas compte.

SYNTHÈSE - C'est quoi votre logiciel?

ENTREPRISE C - Geomensura®.

SYNTHÈSE - Mince!

ENTREPRISE C - Oui, moi je peux tout faire mais je ne sais pas exporter en 3D. Les dimensions ne correspondent pas. Je n'ai qu'un seul type de CT^a. Je suis en train de voir avec [l'entreprise D] mais c'est un problème avec mon logiciel de conception.

[Réunion n°50, décembre 2017]

2. ENTREPRISE A - On a un gros problème chantier sur le bâtiment 4 et 5[...].

MOE - Vous coulez le béton avant que les maquettes soient visées.

ENTREPRISE A - C'est ça ta réponse? C'est ça la réponse de la MOE [...]? La maquette est faite, il s'avère qu'il y a un problème entre l'IFC et Revit®. On a un vrai problème car Tekla® ne travaille pas comme Revit® [...]. Et pour en avoir discuté avec des spécialistes, Revit® n'est pas un logiciel de charpente.

SYNTHÈSE - Ce problème est résolu si on ne passe pas par Tekla® mais par Navisworks®. On sait de toute façon qu'il y a une perte de données sous IFC[...].

ARCHITECTE - Ce genre de choses polluent clairement notre travail. On ne peut pas continuer à travailler dans ces conditions. On ne peut pas faire des plans sur la comète avec le BIM si ça ne marche pas. Je vais faire remonter l'information à Autodesk® et à [Pascal, notre BIM manager][...]. Ce que je veux dire c'est que vous payez tous. Les logiciels ne sont pas gratuits. Donc s'il faut faire remonter les informations plus haut pour ne pas que ça se reproduise plus tard, car on aura tous d'autres chantiers, on le fera!

a. Centrale de Tirage

En exigeant des entreprises d'utiliser le même logiciel, la maîtrise d'ouvrage espère ainsi diminuer le risque des problématiques techniques et en particulier celles d'interopérabilités entre les différents logiciels métiers. Comme nous le montrent les extraits des réunions précédents, un unique logiciel BIM tel que Revit®, s'il permet de condenser l'ensemble (ou une grande partie) des logiciels métiers nécessaires à la réalisation d'un projet, il ne permet pas pour autant de remplacer tous les logiciels métiers. De plus, homogénéiser le logiciel support de travail n'empêche pas la mise à jour de ce dernier et, comme nous avons pu le constater, imposer la « migration » ou la mise à jour d'un même logiciel comme stipulé dans la charte BIM entraîne d'importantes difficultés pour les entreprises.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°31, Juin 2017]

SYNTHÈSE - Il y a les migrations Revit® 2018 à faire. Alors je peux vous dire qu'en septembre, ça va chauffer. Clairement, ça va être dur [...]. Ce n'est vraiment pas terrible car toutes les maquettes sont en 2017 [...] et il va falloir faire une mise à jour des plugin [...]. Il faut que tout soit fait en même temps. En fait c'est plutôt du ressort du BIM manager des [architectes].

ENTREPRISE C - Comment ça se passe, vous allez faire un planning?

SYNTHÈSE - Oui, notre BIM manager [de la cellule synthèse] va passer directement par vos BIM manager. Par contre ça va vous demander beaucoup de rigueur. Ce qui va poser problème avec la migration c'est la diffusion sur la GED car vous ne pourrez pas diffuser une maquette 2017 alors que vous serez en 2018.

ENTREPRISE C - Il faudrait au moins qu'on puisse faire un glissement progressif.

SYNTHÈSE - Oui, mais on ne peut pas. En vrai le mieux serait de ne pas faire la migration... Mais n'en parlons plus!

Extrait d'entretien (Yasmina, chef de projet entreprise D) —

Par contre, on a eu un gros problème et à chaque fois, tout le monde le vivait, c'était lors des migrations Revit[®] parce qu'on avait obligation d'être à jour chaque année [...]. Alors là, c'était une galère! Moi, je pensais que c'était nous mais en fait tout le monde pleurait de la même manière, donc c'est vraiment un problème. Parce que quand tu migres, quand tu changes de version, tu perds les informations, tu perds des éléments, donc en fait toutes les maquettes que tu as faites, il se peut qu'il y ait des pertes et tu ne maîtrises rien.

Concernant la mise à jour des logiciels, on constate que travailler sur une version obsolète du logiciel devient une condition bloquante pour le travail avec les autres acteurs car susceptible d'engendrer des incompatibilités ou des bugs entre les différentes maquettes métiers. C'est en particulier au BIM manager chantier et à l'équipe synthèse qu'il revient de signaler, coordonner et veiller à ce que l'ensemble des acteurs réalisent la mise à jour du logiciel en temps et en heure. Paradoxalement, comme le signale Yasmina, mettre à jour le logiciel est aussi un facteur de génération d'erreurs et d'un travail supplémentaire de vérification et de recollement des maquettes métiers. Imposer l'utilisation d'un unique logiciel à l'ensemble des acteurs demande alors la mise en place de réunions spécifiques pour une action de mise à jour qui pourrait, a priori, être considérée comme banale mais qui a de réelles conséquences pratiques sur le travail des acteurs, les échéances de rendus, le chantier, les coûts...

Enfin, signalons aussi que Revit[®] n'a pas été le seul logiciel BIM utilisé sur le *Grand Projet d'École* et lors des réunions de synthèse. En plus de logiciels métiers dédiés, d'autres logiciels tels que les « *viewer BIM* », plus légers que les logiciels de modélisation BIM, ont permis de visualiser et d'accéder à différents paramètres des maquettes métiers. Ces logiciels ne permettent pas la modélisation

mais la visualisation des modèles et ont permis de travailler sur la maquette synthèse assemblée lors des réunions.

2.3.2 La plateforme de Gestion Électronique de Documents (GED)

La conduite d'un projet BIM de grande ampleur semble difficilement pouvoir se passer de l'utilisation d'une GED. Dans le cas du *Grand Projet d'École*, la GED est un artefact omniprésent. C'est effectivement l'interface prioritaire d'échange de documents entre tous les acteurs du projet. Nous avons pu nous entretenir avec deux ingénieurs appartenant à l'entreprise qui fournit le service de GED. Françoise et Thiago, qui ont travaillé à l'implémentation de la GED sur le *Grand Projet d'École* ainsi qu'à son développement, nous expliquent son importance :

Extrait d'entretien (Françoise, Cheffe de Projet et Thiago, expert BIM, tous deux en charge du développement de la GED^a pour le *Grand Projet d'École*)

^a. Gestion Électronique de Documents

Françoise -- Sur [le *Grand Projet d'École*], on démarrait le BIM, c'était tout nouveau pour nous. La GED par contre, ça faisait longtemps qu'on en faisait.

Thiago -- Je dirais que fin 2015 on a pris le parti de se lancer dans le BIM. [...] [La GED] c'est une plateforme collaborative. Le but, quel que soit le type de projet : BIM ou pas, le but c'est de collaborer. Et en fonction du type de projets, c'est qu'ils [les acteurs] puissent échanger toute la documentation du projet en respectant les process, notamment les validations qui doivent être réalisées [...]. Notre but, [...] c'est de réunir les différents acteurs [...] autour du BIM, pour qu'ils échangent leurs maquettes. Puis est arrivé le besoin de savoir comment on peut aider les utilisateurs BIM à produire plus facilement les maquettes et à les échanger dans le cadre des plateformes collaboratives. C'est comme ça qu'on en est arrivé à développer l'add-on Revit[®], de manière à ce que les gens puissent travailler de manière transparente au travers de leur outil de production et de mettre à disposition cette documentation issue des maquettes directement dans [la GED].

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°18, Avril 2017]

1. ENTREPRISE A - Avec [la GED] on a un bug. On met huit heures pour charger des PDF générés avec Pdfcreator[®]. Alors qu'avec

un autre logiciel ça met cinq minutes [...]. Peut-on passer par autre chose que [cette GED]?

[Réunion n°20, Avril 2017]

1. ENTREPRISE A - On ne peut pas diffuser car la semaine dernière on a eu un problème de [GED].

RESPONSABLE OPC - Non mais ça on l'a déjà vu, ça aurait dû être fait il y a trois semaines!

2. SYNTHÈSE - Il a des bugs de processus, il faut remettre les choses à plat.

ENTREPRISE D - Je ne comprends pas, on avait un pdf avec un fichier Excel[®] et ça marchait bien.

SYNTHÈSE - Oui mais c'était en attendant [de résoudre le problème de GED] et ne pas bloquer l'ensemble du processus [...]. La synthèse BIM permet de remettre sur les rails le processus on n'est pas là pour gommer les erreurs dans le système. Donc on va arrêter de discuter au niveau de la technologie BIM et de Revit[®] et on avance.

Premièrement, on remarque que même pour cette entreprise implantée dans le secteur de la construction et le développement de GED, le *Grand Projet d'École* constitue un projet BIM aux exigences encore inédites. Ensuite, Thiago explique que le but de la GED « *c'est de réunir les différents acteurs [...] autour du BIM, pour qu'ils échangent leurs maquettes* » et évoque aussi la nécessité que ces échanges « *respect[ent] les process, notamment les validations* ». Il précise ainsi que les échanges via outil ne sont permis qu'à condition de respecter un processus et certaines validations préalablement définies. On s'aperçoit ainsi qu'une GED dispose d'une capacité intrinsèque à structurer et conditionner les échanges entre acteurs et affecte donc leur capacité à se coordonner.

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Quand tu as une agence à Paris et une autre à Grenoble qui travaillent ensemble, tu peux pas attendre 24h pour voir les modifications que font les autres. Tu dois pouvoir travailler en synchronisant ta maquette [...]. Et ça, sur le Revit[®] serveur, c'est direct, si tu déplaces ta porte à Grenoble, ça synchronise et je le vois à Paris.

Concernant les architectes et au cours de la phase de conception du *Grand Projet d'École*, Emeric

nous explique que les échanges de maquettes s’effectuent grâce à une routine informatique, toutes les nuits les maquettes structures des ingénieurs sont déversées sur le server FTP⁶(ou la GED). Une seconde routine transfère automatiquement ces maquettes sur le serveur de la *Grande Agence d’Architecture*. Ainsi lorsque les architectes arrivent le matin à l’agence : toutes les maquettes structures des ingénieurs sont remplacées dans leurs dossiers. Mais Maria, nous signale aussi que le server met parfois une journée entière à charger une maquette volumineuse. Donc pendant cette journée : « *tu n’as ni ton dessin ni les informations et on doit s’adapter à de nouvelles temporalités pour dessiner* ».

Sur le *Grand Projet d’École* on se rend ainsi compte que l’utilisation et le paramétrage d’un server et notamment la synchronisation, la temporalité des mises à jour et l’accès ou non aux maquettes métiers participe fortement à l’organisation des rapports de travail entre les différents acteurs.

Enfin, remarquons justement que Thiago évoquait aussi la mise en place d’un nouveau module Revit[®] (add-on Revit[®]) afin d’« *aider les utilisateurs BIM à produire plus facilement les maquettes et à les échanger* ». Nous faisons justement face ici à des acteurs non-humains qui structurent et conditionnent le travail. Au cours de nos observations en réunion de synthèse, nous avons constaté que l’utilisation de ce module s’est parfois révélée problématique pour certaines entreprises ce qui nous a poussé à essayer d’en comprendre le fonctionnement.

2.3.3 L’add-on Revit[®]

L’add-on, le plugin ou le module Revit[®] développé dans le contexte du *Grand Projet d’École* permet l’enregistrement automatique d’une maquette modélisée depuis le logiciel Revit[®] vers la GED. Il offre aussi la possibilité à l’utilisateur d’enregistrer sur la GED, soit sa maquette métier uniquement, soit une enveloppe contenant la maquette métier et les différentes feuilles ou livrables qui lui sont rattachées (figure 2.6). Le module assure ainsi une traçabilité des différents documents produits avec le logiciel BIM. Au cours de notre entretien, Thiago revient sur les spécificités du module :

Extrait d’entretien (Thiago, expert BIM, en charge du développement de la GED^a pour le *Grand Projet d’École*) —

a. Gestion Électronique de Documents

La première version du module BIM [...] permettait de publier des maquettes, des feuilles, mais c’était assez limité [car] on avait nos propres règles et on n’était pas très souple [...] par rapport à la méthode de travail [des autres acteurs] [...] puis on l’a

6. File Transfer Protocol

amélioré [...]. Une des problématiques [...] c'est cette cohérence de versionning, dans le BIM. Ça, c'est vraiment une des forces de [notre GED] qui permet, à tout moment, de pouvoir retrouver un état de la maquette, et de tous les livrables issus de cet état-là, et ceci, à n'importe quel moment du projet. Par exemple si on part d'une maquette de synthèse, on connaît la liste de toutes les maquettes liées, qui ont été utilisées qui sont dans [la GED] avec quelle version [...]. Par exemple pour travailler sur sa maquette une personne va avoir des maquettes liées [...], elle va déclarer la liste des maquettes qui l'intéresse. A partir du moment où elle a fait ce travail, c'est terminé. Elle n'a plus rien à faire pour cette maquette-là [car] à chaque fois que la personne se connecte [...] le module va vérifier s'il y a eu de nouvelles maquettes validées [...]. Parce que tant que la maquette n'est pas validée ou si elle a été refusée, elle n'est pas prise en compte [...]. S'il avait fallu aller dans [la GED] télécharger manuellement le fichier, le mettre dans un répertoire ou utiliser un Revit[®] server, retourner dans Revit[®], refaire le lien manuellement, à recharger... Et bien toutes ces opérations fastidieuses sont automatisées au travers notre plugin Revit[®]. [...] Ça permet surtout de garantir que les utilisateurs vont bien travailler avec les bonnes versions de maquettes validées, et non pas avec une version qui a été récupérée sur une clé USB. Par exemple : « *Tiens, je suis en réunion de synthèse, tiens donne-moi ta maquette, tiens : je te la file* »! Bon, ça c'est pas possible, parce qu'aujourd'hui avec l'add-on, c'est pas possible. Enfin, on ne pourra jamais tout interdire [...] mais normalement [l'add-on] détecte qu'il y a une maquette qui a été insérée enfin téléchargée manuellement, il va lui dire que ça correspond pas au fichier qui a été déposé dans [la GED]. Parce qu'il y a aussi ce contrôle, dans la dernière version du plugin, on vérifie la cohérence du fichier Revit[®] [...] entre ce qui est sur le plateau de l'entreprise et ce qui est dans [la GED]. Parce que il y a des petits malins qui s'amuse à aller les modifier. Ça, on ne l'interdit pas parce que ça on ne peut pas l'interdire. Il y a des gens qui peuvent vouloir faire une copie, dans ces cas-là, ils font une copie, ils le rechargent avec un lien manuel et ils peuvent travailler, mais le lien d'origine, ils ne pourront entre guillemets jamais tricher avec, parce qu'il y a un contrôle.

Le discours de Thiago à propos du module Revit[®] que son entreprise a développé est très riche et permet de comprendre une partie des effets que peuvent avoir ce type d'artefacts sur la gestion du travail et la production de maquettes. Premièrement, il rappelle que l'add-on a évolué au cours du projet. En effet, lorsque Thiago évoque le manque initial de souplesse de leurs règles par rapport à la méthode de travail des acteurs du projet, il rappelle le caractère contraignant que peut avoir un outil

numérique par manque d'adaptabilité et d'autonomie ou s'il n'est pas suffisamment bien adapté aux besoins de ses utilisateurs.

Puis, Thiago fait état de la problématique de versionning des maquettes. Le versionning correspond ici à la gestion des nouvelles versions d'un document ou d'une maquette. Or, puisque tous les acteurs du projet travaillent respectivement et simultanément sur leurs propres maquettes métiers lors des phases de travail distribué, il faut que chacun puisse mettre à jour les maquettes de ses partenaires afin d'ajuster son propre travail de modélisation. Ainsi, chaque acteur travaille sur sa propre maquette métier et appelle en lien les autres maquettes métier qui l'intéressent. Si une maquette métier plus récente a été déposée et validée sur la GED, elle est alors, grâce au plugin, automatiquement mise à jour. La séquence de travail et les « *opérations fastidieuses* » décrites par Thiago sont alors évitées car automatisées grâce au module. Il faut signaler que l'intérêt du plugin est unanimement reconnu par l'équipe de synthèse notamment car le téléchargement manuel quotidien de plusieurs dizaines de maquettes est extrêmement chronophage. Cependant notons que le verbatim suggère qu'il n'y a « *plus rien à faire* » et que l'artefact « *permet de garantir que les utilisateurs vont bien travailler* ». Le discours de Thiago tend à nous faire penser que l'objet permet non seulement que le travail se fasse « tout seul » mais aussi que son utilisation même est une garantie d'un « *bon travail* ». Face à ce type de considération, le chercheur Evgeny Morozov réalise justement un travail de mise en garde face à l'apparent solutionnisme technologique que laissent entrevoir les programmes informatiques (Morozov, 2014). Ces derniers résolvent des routines et transforment les moyens et les méthodes de réalisation de ce travail mais ils ne suppriment jamais intégralement le travail ni ne garantissent qu'il soit « bon ».

Enfin, Thiago explicite par des exemples la puissance de contrôle dont dispose le module Revit[®] sur l'activité des acteurs. L'add-on a ainsi la capacité de « *vérifie[r] la cohérence du fichier Revit[®]* », d'autoriser ou d'interdire les dépôts qui ne correspondent pas à la norme mais surtout il agit comme un filtre capable d'identifier les acteurs ayant fraudé et donc potentiellement pénalisables ce qui rentre ici en résonance avec l'exemple de pratiques de court-circuitage du processus de synthèse que nous avons évoqué précédemment.

On remarque alors qu'un objet, en apparence aussi anodin qu'un plugin logiciel, peut jouer une quantité de rôles dans le travail d'élaboration d'une maquette numérique. Il peut ainsi : contraindre les méthodes de travail, assurer la traçabilité des échanges, modifier les activités de travail, surveiller les acteurs afin de contrôler qu'ils ne trichent pas, entre autres. Dans la collection des objets présents et utilisés dans le processus BIM, un autre acteur non-humain d'importance est le nouveau VISA BIM

qui joue permet le rôle de contrôle qualité des maquettes numériques.

2.3.4 Le VISA BIM

Nous venons de voir que le logiciel BIM, l'add-on ainsi que la GED sont des outils structurants qui permettent d'assurer que le processus d'échange des maquettes métiers soit respecté par l'ensemble des acteurs. Cependant, si le processus de dépôt et d'échange des maquettes métiers est respecté, la qualité intrinsèque des maquettes doit, elle aussi, être vérifiée. Aussi, dans une logique analogue au VISA MOE, un VISA BIM a été mis en place et permet de valider ou non la qualité d'une maquette. En pratique, le VISA BIM se matérialise par la transmission d'un e-mail à l'acteur ayant déposé une maquette qui l'informe de sa qualité. Ces nouveaux types VISA apparaissent bien moins complexes que les VISA MOE car ils ne sont ici délivrés que par le BIM manager chantier. Contrairement aux VISA MOE qui peuvent requérir la signature des architectes, ingénieurs, bureaux de contrôle, direction des travaux, entre autres, le VISA BIM, quant à lui, n'est délivré que par le BIM manager qui détient seul le pouvoir de validation et donc de l'avancement du processus.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Le visa BIM, c'est un visa qui porte sur la structure de la maquette. A partir du moment où la structure est correcte, sauf erreur majeure, on peut implémenter autant de choses qu'on veut dans la maquette, la structure reste validée [...]. Par contre à chaque dépôt, le BIM manager va refaire un visa [...]. Aujourd'hui, comme ça fonctionne je pense que c'est un visa qui compte pour du beurre! A partir du moment où il y a eu *VSO*^a une fois, toutes les maquettes suivantes seront VSO sauf s'il y a un gros bug sur la maquette. Donc à partir d'un certain temps, c'est un visa qui n'a plus vraiment de valeur. Mais le processus fait que dès qu'on dépose une maquette, elle sera publiée à l'ensemble des intervenants qu'une fois que le visa du BIM manager est fait.

^a. Validé Sans Observations

Remarquons qu'en pratique, c'est principalement lors de la production des premières maquettes métiers que le VISA BIM est particulièrement utile. Une fois qu'une maquette donnée est validée, comme le rappelle l'architecte Nicolas, il y a peu de chance pour que les versions ultérieures de cette même maquette soient problématiques. Anna, la BIM manager chantier du *Grand Projet d'École* nous confie ainsi que pour une nouvelle entreprise le nombre de ses maquettes refusées diminue effectivement au fur et à mesure de l'avancée du projet car les contraintes de modélisation des maquettes sont

progressivement intégrées par les nouveaux acteurs. Cependant, on peut tout de même considérer que le VISA BIM demeure un puissant filtre car il régule les temporalités et structure le processus de production. On comprend alors mieux la panique des entreprises de construction face au pouvoir régulateur que détient la BIM manager chantier.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°25, Mai 2017]

1. SYNTHÈSE - Ce qui est étrange dans votre manière de travailler c'est que vous attendez un visa finalisé pour avancer, du coup on est toujours en retard sur la synthèse.

ENTREPRISE D - Je pense à mon avis que ça y est c'est enclenché.

SYNTHÈSE - Désolé mais votre réponse ne me satisfait pas. On ne peut pas attendre le chantier.

2. ENTREPRISE D - Je ne comprends pas. Vous demandez une maquette. Mais en faisant cela, on risque d'avoir des maquettes qui ont des informations non validées.

ARCHITECTE - Oui, mais ce sont des maquettes de synthèse ce ne sont pas des maquettes finalisées et visées.

ENTREPRISE D - Le marché, c'est : on valide un produit, on fait une synthèse, s'il faut modifier le produit, on fait une FTM. Le marché il dit ça!

2.4 Le rôle des acteurs humains impliqués dans la synthèse

Les principaux acteurs (humains) que nous avons côtoyés et sur lesquels notre intérêt s'est porté au cours de nos observations sont :

- l'équipe de synthèse
- les entreprises représentant les quatre principaux macro-lots
- les BIM managers

Par ailleurs, si nos observations ont aussi porté sur les architectes, nous consacrerons une analyse plus conséquente des effets de la démarche BIM sur leur pratique et leur profession dans le chapitre quatre.

Nous présenterons dans un premier temps les profils et les responsabilités des acteurs de l'équipe synthèse. Puis, nous expliciterons comment s'est organisé le travail et l'accompagnement des entreprises notamment vis-à-vis de la production des maquettes métiers. Ensuite, nous approfondirons l'analyse en nous concentrant sur le rôle et les responsabilités des BIM managers.

2.4.1 Les membres de l'équipe de synthèse

La cellule synthèse est structurée autour de trois principaux acteurs :

- Éric, le directeur de synthèse et chef de projet synthèse technique,
- Amélie, la cheffe de projet synthèse architecturale,
- Anna, la BIM manager chantier.

A ce trio d'acteurs, rattaché à la *Grande Agence d'Ingenierie*, s'ajoute entre trois et cinq modelleurs BIM (ou projeteurs BIM) qui assistent quotidiennement Éric et Amélie dans l'assemblage, l'analyse, la vérification des erreurs et la détection de clashes des maquettes métiers.

La note spécifique sur l'organisation de la synthèse rattachée aux CCTC⁷ « *décrit les rôles, les responsabilités, les tâches et les processus inhérents [...] à l'élaboration de la maquette numérique du projet en phase exécution* ». Le document rappelle que les études de synthèse, par l'intermédiaire du directeur de synthèse, ont pour objet d'« *assurer pendant la phase d'exécution, la cohérence spatiale des éléments de l'ouvrage de tous les corps d'état [...]* ».

7. Cahier des Clauses Techniques Communes

Notons que les responsabilités liées au poste qu’occupe Éric portent principalement sur la cohérence spatiale des éléments de l’ouvrage. De même, ce document stipule qu’un acteur associé à l’équipe synthèse sera chargé de « *contrôle[r] le respect des données entrantes dans la/les maquette(s) numérique(s) d’exécution, la conformité des éléments la constituant, la qualité « Informatique » de celles-ci, conformément à la charte BIM [...], il réalise les compilations des maquettes numériques au fur et à mesure des mises à jour soumises par les entreprises. Il gère en fin de chantier la transition de la maquette numérique chantier vers la maquette numérique DOE* ».

C’est précisément pour assurer la cohérence des maquettes numériques que la mission de BIM manager chantier a été associée à la cellule synthèse. Contractuellement, le directeur de synthèse et le BIM manager chantier ont des activités qui apparaissent alors dissociées mais complémentaires. Il existe alors une distinction claire entre les tâches relevant de la fabrication du bâtiment pour le directeur de synthèse (« *cohérence spatiale des éléments de l’ouvrage* ») et celles relevant de la fabrication de la maquette numérique pour le BIM manager chantier (« *respect des données* », « *conformité des éléments* », « *qualité Informatique* »).

Intéressons-nous maintenant aux profils des trois acteurs de la cellule synthèse. Éric qui a la charge de la direction de la synthèse est un acteur avec une solide expérience professionnelle dans le milieu de la construction. Il est ingénieur de formation et travaille depuis plus de dix ans au sein de la *Grande Agence d’Ingenierie*. Il est d’ailleurs un des partenaires de la *Grande Agence d’Ingenierie* et a la responsabilité de tout le service synthèse d’une antenne de l’agence. De plus, au-delà de diriger la cellule synthèse, Éric est aussi le chef de projet de la synthèse technique et effectue aussi une autre mission de synthèse sur un second projet. Sur le *Grand Projet d’École* il est épaulé par Amélie qui gère et coordonne la synthèse architecturale. Le profil d’Amélie est très différent puisque c’est une jeune architecte qui a complété son cursus par un master spécialisé. Puis elle a travaillé pendant deux ans en agence d’architecture avant de passer sa HMONP⁸. Elle intègre ensuite la *Grande Agence d’Ingenierie* et nous raconte alors les conditions de son arrivée ainsi que son activité sur le projet :

Extrait d’entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du Grand Projet d’École) —

Je suis cheffe de projet synthèse architecturale. Mais comme il n’y a pas vraiment [de ressources humaines] je suis aussi la projecteuse de cette mission-là [...]. La description du poste men-

8. Habilitation à la Maîtrise d’Œuvre en son Nom Propre

tionnait « *faire de la synthèse architecturale* », chose qui était un petit peu floue pour moi quand j'ai postulé, je l'avoue. Mais il était clairement dit que c'était sur un projet important. Et j'avais aussi envie de développer mes compétences en BIM. Parce que je sentais qu'il y avait un vrai mouvement qui se passait là-dessus et qu'il valait mieux se positionner dès à présent [...]. [Au début] c'était vraiment... Je t'avoue que les premiers mois c'était... Enfin, voilà... [elle grimace]. Mais il y aussi ce côté très enivrant, parce qu'il y avait tout à créer, tout à faire, tout à décider, l'écriture de la charte, quelle méthodologie, le nombre de réunions, quels types de documents il allait en sortir [...]. Et sur ce projet-là [...] les choses se sont faites un petit peu naturellement sans être trop définies au départ.

Premièrement, on remarque que Amélie ne semble pas avoir d'expérience sur le type de poste qui lui est confié puisqu'elle considère que la synthèse est quelque chose d'un « *petit peu flou* ». Ce manque d'expérience contraste avec le sentiment d'Amélie qui pense qu'un « *vrai mouvement* » vis-à-vis de la démarche BIM est à l'œuvre et explique son désir de se « *positionner dès à présent* » sur un « *projet important* » afin de développer « *[s]es compétences en BIM* ». Contrairement à Éric, le profil d'Amélie est initialement bien moins expérimenté sur le domaine de la construction et plus particulièrement de la synthèse mais elle exprime un réel intérêt et une volonté de s'investir concernant la démarche BIM. De plus, on remarque qu'Amélie occupe une double activité : celle de cheffe de projet synthèse architecturale mais aussi celle de projeteuse. Cela démontre d'une part qu'elle a une certaine maîtrise des logiciels BIM, au moins du niveau d'une projeteuse BIM, et d'autre part que les frontières et les activités relatives à son poste sont encore mouvantes et mal définies. D'ailleurs à travers ses non-dits : « *au début, c'était vraiment, c'était...* » ; « *je t'avoue que les premiers mois c'était...* » ; « *enfin, voilà...* » « *les choses se sont faites [...] sans être trop définies au départ* », Amélie signale que ses activités et ses responsabilités n'étaient pas nécessairement bien circonscrites. On remarque aussi que le niveau des responsabilités qui lui sont confiées est élevé puisqu'au début de son activité il y a « *tout à créer, tout à faire, tout à décider, l'écriture de la charte, quelle méthodologie, le nombre de réunions, quels types de documents il allait en sortir* ». Ceci s'explique car dans le cadre d'une démarche BIM, la nouvelle activité de synthèse reste encore très récente. Dans un tel contexte, d'importantes responsabilités liées à la structuration et l'organisation de la démarche BIM et ont pu être confiées à des professionnels qui ne disposaient pas nécessairement de longues expériences dans la construction.

Éric et Amélie constituent un binôme d'acteurs que nous avons constamment retrouvé lors de nos observations en réunion de synthèse. Concernant l'accompagnement à la production des maquettes

métiers, Anna : la BIM manager chantier est un acteur clé. Bien que physiquement moins présente lors des réunions, elle joue néanmoins un rôle central dans la circulation et la régulation du flux des maquettes métiers. Anna nous partage aussi les particularités liées l'intitulé de son poste, ainsi que les conditions de son arrivée sur le projet et son parcours :

Extrait d'entretien (Anna, BIM manager Chantier au sein du *Grand Projet d'École*) —

- En phase conception, il n'y avait pas de mission de BIM management conception qui ait été vendue [...] ce n'est pas comme moi, en phase chantier, qui ai vraiment une mission financière définie avec des missions et un poste bien défini [...]. En phase conception, ça a été intégré à la mission de conception [...]. Au départ j'ai été embauchée comme BIM coordinatrice chantier et là, je suis BIM manager chantier. Et moi, je suis, pour le moment, rattachée à la cellule de synthèse qui est dirigée par Éric parce que la mission de BIM management chantier a été vendue jumelée avec la mission de synthèse. Du coup c'était logique que je fasse partie de cette équipe-là.

-- Pourquoi ça a changé de nom de coordination en management ?

-- Et bien parce qu'en fait, au départ, c'est une mission sur laquelle tu n'as pas de retour d'expérience parce qu'ils n'avaient pas eu de retour sur d'autres chantiers puisque c'était la première mission, donc pour être franche entre ce qu'ils m'ont présenté quand ils m'ont embauchée ce que je fais réellement, c'est... [elle marque un temps, sourit puis grimace]

-- C'est le jour et la nuit ?

-- Ouais! [rires] On va dire qu'eux, ils se sont surtout axés sur : « *bah voilà : tu vas recevoir quelques maquettes que tu vas contrôler et valider* ». Au final [...] ça va beaucoup plus loin que ça [...]. Il y a eu aussi toute la partie développement de la plate-forme dont on ne m'avait pas du tout du tout parlé au début [...]. Je parle de [la GED] avec le plugin. Je devais plutôt faire une sorte du duo avec Luc [le responsable BIM de la *Grande Agence d'Ingenierie*] d'où le : « *coordonnatrice* » parce que je sortais de l'école. Et finalement ils se sont rendu compte que je maîtrisais la chose. Luc, lui il avait d'autres choses à gérer donc finalement, c'est moi qui ai pris en main toute la gestion et le management [du *Grand Projet d'École*]. Dans la charte BIM, clairement, on m'a identifiée comme manager chantier, du coup bah je suis devenue BIM manager chantier.

En préambule, Anna explicite la nécessité d'avoir un acteur entièrement dédié à la gestion et l'accompagnement de la production de maquettes numériques notamment à travers le rôle du BIM manager chantier. De plus, les missions de BIM management ne sont visiblement pas nécessairement

définies contractuellement car elles peuvent être intégrées à d'autres missions (comme ce fut le cas pour la conception), les propos d'Anna laissent alors présager l'extension d'activités spécifiques aux BIM managers à toutes les phases du projet : BIM management programmation, BIM management conception, BIM management chantier, BIM management exploitation-maintenance.

Par ailleurs, ses propos laissent aussi entrevoir plusieurs éléments propres à la mise en place d'une nouvelle « *mission BIM* ». Premièrement, elle rappelle que ce poste ne jouit d'aucun antécédent « *pas de retours d'expérience* », « *pas d'autres chantiers* », « *première mission* », et donc que la mission est complètement nouvelle. Encore une fois, cela démontre la dimension encore exceptionnelle que revêt la démarche BIM en France en 2015 (année de son embauche), même pour une entreprise de grande ampleur telle que la *Grande Agence d'Ingenierie*. Ensuite, Anna fait état d'une véritable différence entre l'énoncé de sa fiche de poste et la réalité de ses activités. Elle qui pensait simplement devoir « *recevoir quelques maquettes* », les « *contrôler et [les] valider* » se retrouve alors à travailler sur le « *développement de plateforme [GED]* » et de son plugin. Ceci marque, là encore une vraie difficulté à circonscrire les missions et les activités de BIM management et qui s'étendent visiblement du contrôle et de la gestion de maquettes au développement de solutions informatiques. De plus, remarquons que Anna, qui sortait tout juste de son école d'ingénieur au moment d'être embauchée, correspond au profil du jeune diplômée ayant une appétence pour les logiciels informatiques. Enfin, on constate que son statut professionnel de BIM coordinateur va rapidement évoluer vers celui de BIM manager. D'ailleurs, l'évolution d'un statut vers l'autre s'opère lorsque son supérieur hiérarchique a « *d'autres choses à gérer* » et estime que Anna « *maîtrise les choses* ». Cette promotion qui s'effectue sans difficultés et dans un laps de temps restreint renforce la difficulté pratique à dissocier les activités et les responsabilités entre un BIM coordinateur et un BIM manager sur lesquels nous reviendrons dans le dernier chapitre.

Nous venons de présenter les parcours, les responsabilités et une partie des activités du trinôme d'acteurs de la cellule synthèse. Notons que ces trois acteurs ne sont pas directement impliqués dans la production des maquettes puisqu'ils ne modélisent pas la géométrie et n'informent pas les paramètres qui leur sont attachés ; cependant ils vérifient et coordonnent la production des maquettes métiers. Aussi, afin de mieux comprendre comment et grâce à qui s'opère l'élaboration collective de la maquette numérique il nous faut nous intéresser aux nouveaux profils de BIM managers puis aux acteurs directement impliqués dans la production de maquettes à savoir : les entreprises de construction et les architectes.

2.4.2 Les entreprises de construction

Les entreprises de construction sont les principaux acteurs du chantier et donc de la synthèse car ce sont elles qui produisent les maquettes métiers, les livrables, les plans et qui réalisent le chantier. Et c'est principalement les acteurs des quatre macro-lots du projet que nous avons pu observer, car au moins un représentant de ces entreprises était systématiquement présent lors des réunions. A l'inverse, des lots spécialisés sont parfois arrivés plus tardivement au cours du chantier et surtout n'étaient pas nécessairement conviés à toutes les réunions, ce qui a rendu plus difficile nos observations à leur égard. Officiellement, chacune de ces quatre entreprises a désigné un acteur qualifié afin d'assurer l'élaboration et la mise en forme des informations propres au macro-lot qu'il représente. Sur la liste des acteurs présents en début de chaque compte-rendu de réunion, on constate que sur trois des quatre entreprises, un acteur est spécifiquement identifié par la dénomination : « *réfèrent synthèse* ». De même, dans le cadre de la démarche BIM, la maîtrise d'ouvrage a imposé que chaque entreprise désigne un « *réfèrent BIM* ». La charte BIM stipule ainsi que l'acteur doit maîtriser les outils BIM afin de pouvoir transmettre les méthodologies et processus BIM à ses équipes et mettre en place l'organisation interne pour produire les livrables. Elle précise aussi que « *le réfèrent BIM est responsable de l'intégration dans la maquette numérique de son lot, des remarques effectuées par la direction de synthèse* ». Sur ce point, là encore, les quatre entreprises opèrent différemment puisque pour certaines, les référents BIM étaient systématiquement présents à chaque réunion de synthèse et, pour d'autres, ces acteurs ne se déplaçaient que lorsqu'ils étaient explicitement conviés. Au-delà de la stratégie entrepreneuriale, ceci dépend de la maturité BIM dont chacune d'elles disposaient au début du projet afin de pouvoir se passer ou non de BIM réfèrent. En effet, certains acteurs rattachés à l'entreprise A ou B, au même titre que les architectes, maîtrisaient suffisamment les enjeux de la démarche BIM pour ne pas avoir besoin de réfèrent BIM. Or, concernant l'élaboration de la maquette numérique, la problématique du réfèrent BIM est importante car ce sont ces derniers qui sont chargés de faire le lien entre les équipes avec lesquelles ils travaillent et les prescriptions et recommandations effectuées pendant les réunions de synthèse. Anna fait d'ailleurs état de débuts d'un travail collectif laborieux avec les maquettes numériques et les BIM référents :

Extrait d'entretien (Anna, BIM manager chantier au sein du *Grand Projet d'École*) —

Au démarrage de l'OS^a [...] j'ai rencontré tous les BIM référents officiels [...] [car] ils étaient différents des personnes des négociations donc [...] je voulais refaire un débriefing. Du coup, l'idée, c'était d'un peu les sensibiliser sur les attentes du client, sur ce qu'on doit livrer à la fin, sur mes attentes techniques Revit[®], la GED, le plugin [...]. Je t'avoue qu'il y a eu des BIM référents, ils sont arrivés en réunion, ils n'avaient pas lu charte BIM, enfin, en gros, ça a été vraiment comme si tu avais des enfants à l'école primaire, mais c'était vraiment ça hein! Moi, j'étais vraiment un peu choquée même, et je me disais qu'on parlait de très très loin. Et heureusement que je suis plutôt patiente, tu vois et assez pédagogue, parce que je pense que j'ai répété les choses. Je te dis pas combien de fois je les ai répétées [...] si tu veux, c'est tellement nouveau et il y a tellement de choses pour eux à prendre en compte. Et en fait, je pense qu'ils n'ont pas l'habitude qu'il y ait une personne comme moi qui leur impose des méthodes, qui leur fixe des choses à faire en termes de méthodologie et de charte en phase exécution [...]. Et du coup, ben le fait d'avoir toutes ces informations à prendre en compte et aussi à savoir que si c'est pas pris en compte et ben je refuse. Et du coup si ça passe pas, c'est pénalisant. Et ça les a un peu paniqués! Et donc, du coup il y a eu pas mal de réunions où j'ai un peu répété la même chose. Et pour te dire, ben il y avait des BIM référents qui savaient pas que c'était une maquette collaborative Revit[®], qui connaissaient pas les sous projets. Donc j'ai du même faire des petits tutoriels Revit[®], tu vois, des formations Revit[®]!

a. Ordre de Service

Le retour d'expérience que fait Anna sur l'implémentation de la démarche BIM est éloquent. D'abord, elle rappelle que les acteurs identifiés comme BIM référents pour une entreprise ne sont pas immuables tout au long du chantier. En particulier, les acteurs présents lors des négociations ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux avec qui elle travaille sur le chantier. De même, au cours de notre entretien avec Amélie, la cheffe de projet de la synthèse architecturale, signale aussi la difficulté de travailler avec des BIM référents qui ne restent pas nécessairement sur toute la durée du projet. En particulier, l'une des entreprises a vu son BIM référent être remplacé à plusieurs reprises sans réussir à effectuer une passation de qualité et entraînant d'importantes difficultés de gestion des problématiques en cours. Anna remarque aussi un manque important de maturité BIM, même pour des acteurs ayant été identifiés comme des BIM référents. La jeune BIM manager chantier se retrouve

alors à adopter un rôle de formatrice. L'immaturation des BIM référents considérés comme des « *enfants à l'école primaire* » ou lorsqu'elle estime qu'elle partait de « *très très loin* » montre que malgré sa jeune expérience professionnelle, elle se considère globalement sur le plan des compétences BIM très largement au-dessus des BIM référents des entreprises. Enfin, ses propos démontrent aussi que son statut mais aussi ses compétences lui permettent d'être dépositaire d'une nouvelle forme de pouvoir au sein du projet. En effet, elle a la capacité « *d'imposer des méthodes* » et « *de fixer des choses à faire en terme de charte* » à l'ensemble des BIM référents et donc aux entreprises de construction. Et dans le cas où ces derniers ne prennent pas en compte ses indications dans la production de leurs maquettes d'exécutions, elle dispose du pouvoir de refuser leurs productions. Or, comme nous avons précédemment vu : une maquette métier refusée entraîne automatiquement les refus des livrables qui lui sont attachés et entraîne aussi l'impossibilité de passer à la mise en œuvre. Comme le rappelle Jérôme Guéneau la « *BIM manager [...] agi[t] en termes d'évaluations – ce qui est recevable de ce qui ne l'est pas, plutôt qu'en termes descriptifs – les arguments prévalant à l'établissement d'une spécification. Le process va privilégier une pratique gestionnaire des informations ou savoirs inscrits dans les spécifications (modélisées ou associées) afin de permettre la poursuite, sans contradictions logiques, des niveaux de définition de la maquette* » (Guéneau, 2019, p. 20). Dès lors, la BIM manager chantier se voit dotée d'un important pouvoir décisionnel modifiant ainsi la chaîne de valeur et explique la panique des entreprises qui doivent se repositionner et ajuster leurs pratiques en conséquence.

Enfin, remarquons que tous les acteurs rattachés à une même entreprise en sont des porte-paroles. Ils ont la capacité de condenser les interactions développées par un groupe d'acteurs auxquels ils sont associés et qu'ils représentent. En effet, aux yeux des autres acteurs (entreprises, architectes, cellule synthèse, OPC⁹) les discours portés par un acteur appartenant à une entreprise ont une valeur symbolique. Pour l'ensemble du réseau, l'acteur qui parle, parle au nom de l'organisation à laquelle il appartient et il en défend naturellement les intérêts qu'importe l'intitulé de son poste au sein de celle-ci. Dès lors, les porte-paroles officiels tels que les référents synthèse ou les BIM référents peuvent être court-circuités au profit d'acteurs ayant une forte expertise technique ou une maturité BIM importante.

2.4.3 Le cas particulier des BIM managers

Lorsqu'une innovation technologique de rupture telle que celle qui accompagne la démarche BIM fait son apparition, on observe généralement concernant l'espace professionnel un bouleversement de l'équilibre préexistant entre acteurs installés et nouveaux venus. Dans ce contexte, les BIM managers

9. Organisation Pilotage Coordination

incarnent précisément ces nouveaux venus. Mais qui sont ces BIM managers ? En quoi consiste leur travail ? Et quelles sont leurs missions et leurs responsabilités dans les projets BIM ? Nous avons déjà présenté Anna, la BIM manager chantier mais nous aussi pu rencontrer ou côtoyer une petite dizaine d'acteurs identifiables à des BIM managers. Il semble alors se dégager trois profils relatifs à leurs parcours professionnels :

- Le professionnel ayant travaillé dans le monde du logiciel informatique
- Le professionnel de la construction ayant une appétence pour les logiciels informatiques
- Le jeune diplômé ayant une appétence pour les logiciels informatiques

Extrait d'entretien (Léonard, Référent synthèse de l'entreprise A) —

Moi, j'ai fait de la synthèse [...] qui de fil en aiguille est devenue la synthèse 3D [...]. Donc mon supérieur hiérarchique, à un moment donné, il s'est posé la question de recruter un BIM manager. Et je resterais en synthèse avec un BIM manager [...]. Mais on s'est rendu compte que si il recrutait un BIM manager, il aurait eu un petit jeune qui sort de l'école et qui se dit BIM manager. Donc au final, qui n'a pas l'expérience de chantier ni rien. Donc, il s'est dit que c'était mieux que ce soit moi qui m'ouvre à cette fonction là. Donc, j'ai fait le master BIM en même temps que mon boulot.

Bien entendu, ces trois profils se retrouvent au sein *Grand Projet d'École*. Dans la première catégorie on peut ainsi identifier Pascal, le BIM manager de la *Grande Agence d'Architecture*. Il nous rappelle notamment qu'après une formation en architecture, il travaille au sein d'une entreprise de développement de logiciels. Plus tard cette entreprise sera rachetée pour devenir aujourd'hui l'un des principaux fournisseurs de logiciel BIM sur le marché. Fort de cette expérience, Pascal montera sa propre société et intégrera la *Grande Agence d'Architecture* comme prestataire de services. Léonard, diplômé en architecture et travaillant comme ingénieur dans l'entreprise A appartient à la seconde catégorie. Après une expérience significative dans le suivi de chantier et la coordination d'études de synthèse, il décide, avec sa hiérarchie, de se former via un master BIM pour être en mesure de reprendre une partie des missions BIM de son entreprise. Enfin, Anna incarne l'exemple de la jeune diplômée. Sur le *Grand Projet d'École*, elle est recrutée à la sortie de son école d'ingénierie et après avoir effectué un projet de fin d'étude portant sur la démarche BIM. Elle deviendra la BIM manager chantier du *Grand Projet d'École*.

Ces premières observations concernant les profils des BIM managers permettent d'observer trois choses. Premièrement, il apparaît que l'accès au métier de BIM manager demeure encore ouvert à une multiplicité de profils. Deuxièmement, à défaut de connaissances reconnues en informatique, une forte appétence pour les logiciels semble être aujourd'hui suffisante pour être recruté. Et enfin, la présence de profils dépourvus d'expérience significative dans le domaine de la construction montre que l'intérêt ou la maîtrise des logiciels semble prévaloir à l'expertise de constructeur. A propos de la nature du travail dont ils ont la charge : pour Pascal, le BIM manager « *constitue du personnel de soutien, de support* » et précisera même concernant son propre cas :

Extrait d'entretien (Pascal, BIM manager au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Peut-être que par l'expérience et les connaissances, j'ai une fonction de support étendu [...] mais on ne va pas se leurrer non plus, ici, on est au service de [l'architecte qui dirige l'agence] : point final! C'est comme ça et j'assume complètement ce rôle [...]. Ton boulot, c'est ça quoi! Non seulement, c'est ça mais en plus j'en suis très fier! Regarde partout : c'est du Revit® partout! [Il montre autour de lui les affichages de différents projets tous extraits avec le logiciel Revit®]. Moi, j'ai jamais construit une famille [Revit®]! C'est fou, en douze ans, il y a une seule famille que j'ai fait, parce que les gens, ils n'y arrivaient pas. Mais c'est tout! Sinon, mon boulot, c'est de leur montrer comment faire les choses pour que ces gens-là soient autonomes. Encore une fois, [le *Grand Projet d'École*], c'est un super exemple, parce qu'aujourd'hui, Damien et Emeric ils sont merveilleux! Ils sont hyper forts avec Revit®! Ils font plein de trucs et trois fois plus vite que moi! Ils sont excellents! Parce qu'ils sont autonomes, ils n'ont pas besoin de moi tout le temps, ils ont appris, je pense qu'ils ont de bonnes bases, ils ont bien compris la logique du truc. Ils ne se posent pas de questions, ça va à deux cents à l'heure. Les maquettes [du *Grand Projet d'École*], tu vas chez Emeric, c'est un truc de dingue, il est arrivé avec des planches [...] c'est ouf!

Essayons d'analyser les propos de Pascal lorsqu'il évoque son activité de BIM manager au sein de la *Grande Agence d'Architecture*. Premièrement, on remarque qu'il considère son travail comme une fonction support au travail de l'architecte et déclare d'ailleurs être « *au service* » de ce dernier. Notons cependant que cette position doit être nuancée puisqu'il fait ici référence à l'architecte qui dirige l'agence et non pas n'importe quel architecte de l'agence. Dans la seconde partie de l'extrait d'entretien, Pascal expose principalement des exemples de production, d'utilisation ou de maîtrise du

logiciel Revit[®] desquels il tire une grande fierté. Il énonce ainsi clairement « *mon boulot, c'est de leur montrer comment faire les choses pour que ces gens-là soient autonomes* ». Autrement dit, son travail consiste visiblement à transmettre des compétences liées à l'utilisation d'un logiciel BIM, et ici de Revit[®]. Pour Pascal, l'autonomie et l'excellence BIM des architectes se décèle lorsqu'ils « *n'ont pas besoin de [lui]* » car ils « *ont compris la logique* », qu'« *ils ne posent pas de question* » et vont à « *deux cents à l'heure* ». Là encore, il est intéressant de noter que l'ensemble de ces considérations se rapportent principalement à la maîtrise du logiciel BIM, ce qui nous permet de comprendre pourquoi l'industrie du logiciel occupe une place croissante au sein du secteur de la construction.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Pascal est un bon BIM manager parce qu'il a une compréhension informatique de la donnée qui va au-delà du logiciel. C'est un pro de Revit[®], Autodesk et tout ces logiciels mais il comprend au-delà [...] C'est-à-dire qu'il se bat avec le logiciel, des tas de trucs, les plug-in, des machins : et il pige tout!

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Contrairement aux architectes qui se baladent à droite à gauche avec leurs émotions, [le BIM manager] nous permet de mieux nous organiser, de ranger les choses, c'est vrai que c'est un plaisir d'avoir travaillé avec lui parce qu'il te donne des repères dans ce logiciel qui est tellement vaste! Et s'il te laisse seul dans le vide, je pense que tu pleurerai tous les jours. Il nous a maintenu dans une rigueur pour qu'on fasse comme il veut.

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Je pense que son rôle le plus prépondérant c'est la formation [...]. Il nous l'a toujours dit, son but c'est de nous rendre autonomes [...]. Après ça demande aussi de se tenir au courant de toutes les évolutions, de toutes les nouvelles fonctionnalités, les nouvelles possibilités, tous les nouveaux logiciels qui vont autour, tout ce qu'on peut faire avec la maquette numérique [...] et avec le traitement de l'information [...]. C'est vraiment le fait d'être toujours sur le qui-vive sur les dernières nouveautés et d'être capable de les mettre en place à l'agence, pour que l'agence soit le plus efficace possible.

Cependant, dans les faits, les BIM managers ne sont pas uniquement chargés d'accompagner les

collaborateurs avec qui ils travaillent dans l'appropriation des logiciels BIM. En effet, on leur demande aussi de définir les tâches et formaliser les nouveaux process et méthodologies émergentes (charte BIM, convention BIM) ou encore de vérifier l'intégrité et la structuration des informations des maquettes numériques. Enfin, la dimension managériale du métier est finalement rarement évoquée mais rappelons tout de même que les BIM managers restent avant tout des managers. Mais de qui sont-ils les managers ? Dans quel but ? Et surtout, à la place de qui ?

Pour tenter de répondre à ces questions, revenons sur les missions et les responsabilités du BIM manager dans un projet de construction tel que le *Grand Projet d'École*. Comme nous l'avons vu précédemment, la définition de ces missions et responsabilités demeure déterminée par le client ou l'entreprise qui fait appel au BIM manager et dépend donc de sa maturité BIM. En 2005, François Ausseur et Vincent Melacca (Ausseur & Melacca, 2005) insistaient d'ailleurs sur la complexité à introduire des TIC¹⁰ dans l'évaluation des responsabilités et plus particulièrement concernant l'analyse des risques dans les chantiers de construction. Cependant, on observe que les assureurs professionnels de la MAF¹¹ se sont récemment positionnés et proposent un cadrage des missions et des responsabilités du BIM manager.

Extrait de document : un modèle de contrat AMO BIM 2017

« le BIM manager [...] n'est pas un constructeur au sens de l'article 1792-1 du Code civil, ne participe pas à la réalisation de l'ouvrage, ne supporte pas la responsabilité des informations émanant des acteurs »^a

a. www.maf.fr/bim-la-maf-met-au-point-des-outils-contractuels-pour-les-concepteurs

En spécifiant que le BIM manager n'est pas un constructeur et ne participe pas à la réalisation de l'ouvrage, les assureurs ont trouvé un moyen de minimiser les risques liés à sa fonction. De plus, cette définition vient corroborer notre précédente observation à propos des profils professionnels des BIM managers. En effet, puisque le BIM manager « ne participe pas à la réalisation de l'ouvrage » et n'en supporte pas la responsabilité, avoir une expertise de constructeur ne devient donc pas une obligation.

Extrait de document : un modèle de contrat AMO BIM 2017

« le BIM manager a [...] la charge [...] de la gestion du processus collaboratif BIM. A ce titre, il coordonne la participation de l'ensemble des constructeurs, spécialement de la maîtrise d'œuvre, en vue de la réalisation d'une maquette numérique ».^a

a. www.maf.fr/bim-la-maf-met-au-point-des-outils-contractuels-pour-les-concepteurs

10. Technologies de l'Information de la Communication

11. Mutuelle des Architectes Français assurances

Dans un second modèle de contrat toujours diffusé par la MAF on peut noter que les responsabilités du métier concernent principalement la réalisation de la maquette numérique et non pas la réalisation de l'ouvrage destiné à être construit. Le BIM manager devient alors le coordinateur des acteurs en vue de la réalisation de cette maquette numérique. Et si l'architecte représente historiquement la figure de chef d'orchestre du projet de construction, le BIM manager occupe dorénavant le rôle de chef d'orchestre de l'élaboration de la maquette numérique. Il reste alors à savoir comment s'opère, dans la pratique, le travail de coordination que doivent se partager ces deux acteurs.

Extrait de document : extrait de la Revue de Droit Immobilier, 2017

« Si une erreur est commise dans la démarche BIM et se traduit par un sinistre survenant après réception et portant atteinte à la solidité de l'ouvrage ou le rendant impropre à sa destination, la responsabilité décennale de l'auteur ne pourra être écartée au seul motif que son rôle est principalement celui d'un informaticien. Cela ne veut pas dire que le BIM manager, même s'il est désigné par le maître d'ouvrage, peut être assimilé de plein droit à un constructeur et soumis à ce titre à une assurance obligatoire. Encore faut-il qu'un sinistre de nature décennale soit susceptible de lui être imputé et tout dépend, à cet égard, de l'étendue de la mission qui lui a été confiée, c'est-à-dire de la rédaction des contrats qui définissent son rôle exact et les limites de son intervention.

Il arrive (et cela semble être le cas dans la majorité des clauses actuellement pratiquées) que les dispositions contractuelles écartent toute décision technique à la charge du BIM manager. Les aspects techniques relèvent de la seule compétence des intervenants, maîtres d'œuvre et entreprises, le rôle du BIM manager restant clairement limité à la mise à disposition d'un savoir-faire informatique pour la conception et la gestion de la maquette sous la responsabilité des constructeurs. Le BIM manager ne semble pas alors pouvoir être recherché en responsabilité décennale. Néanmoins, certaines pratiques contractuelles vont en sens contraire. Ainsi, certains contrats prévoient que le BIM manager soit chargé des missions suivantes :

- analyser les interférences (ou clashes) identifiées par le logiciel ;
- détecter toute autre interférence de présynthèse et en informer les intervenants ;
- proposer avec l'assistance de l'architecte et du maître d'œuvre des solutions pour les interférences identifiées.

Le risque du BIM manager nous semble dans ce cas pouvoir s'assimiler à celui d'un professionnel chargé des plans de synthèse au sein de la phase études d'exécution (EXE) de la loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée (loi MOP). Et il est alors prudent, même si le risque est marginal, de mettre en place une garantie décennale correspondant à l'obligation d'assurance posée par l'article L. 241.1 du code des assurances. »^a

a. BIM, maquette numérique et assurance construction (Roussel, 2017, p. 515)

En résumé, la nouvelle figure de BIM manager illustre de manière factuelle la réorganisation professionnelle qui est en cours mais dont les enjeux et les conséquences pour les autres acteurs de

la construction demeurent encore flous. Le travail des BIM managers est devenu indispensable aux agences d'architectes, d'ingénierie et aux entreprises de construction qui souhaiteront répondre à des projet BIM et en particulier du fait de leurs expertises relatives aux logiciels BIM et de l'écosystème logiciels qui s'y rattachent. En effet, nous venons de voir que le logiciel BIM constitue un outil central pour les projets BIM et s'explique par la nécessité de construire une maquette numérique. De plus, nous avons vu que le BIM manager devient le coordinateur des activités de fabrication de la maquette numérique ce qui lui permet d'occuper une position centrale au sein des projets BIM et requestionne alors nécessairement la place des autres acteurs et en particulier celle des architectes.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

La tentation est vraiment grande de se spécialiser en bureau BIM ou de devenir BIM manager. [...] Aujourd'hui c'est un statut qui est un peu un statut de niche parce que tu es assez indépendant, tu apportes un vrai truc transversal à tous les projets. Tu n'es pas le gratte papier, tu changes la hiérarchie. Les boites souvent, ce qu'elles demandent à un BIM manager c'est de changer quelque chose de vraiment fondamental dans l'organisation ou les façons de faire. Alors, ça fonctionne ou pas mais c'est un job plutôt valorisant! On ne te demande pas de venir charretter sur un bureau pendant six mois où tu fais gratte papier d'un projet que d'autres ont fait. BIM manager, là tu as un vrai rôle impactant sur l'entreprise. Tu as une valorisation salariale qui va avec et ça paye plutôt bien donc là-dessus déjà c'est tentant. Mais voilà, moi, c'est pas du tout ce qui m'intéresse.

Le BIM manager c'est compliqué car je trouve ça déjà très surcoté, clairement. Pour commencer, on devrait tous être un peu le BIM manager de nous même! Tu as besoin d'un BIM manager quand les gens ne sont pas formés [...] [car] quand tout le monde a le niveau, c'est terminé. Tu as besoin du manager pour former les gens, pour les guider [...]. Tu as besoin du BIM manager pour restructurer ta donnée au début, pour organiser tes maquettes, pour organiser une méthode de travail : ça, c'est clair ! Mais une fois que la chose est mise en place en place et que les gens ont la compétence, le BIM manager il devient un peu secondaire. C'est ce qui se passe chez nous d'ailleurs, en ce moment le BIM manager il s'emmerde!

GRILLE DES SALAIRES

Titre de poste	0 à 3 ans	3 à 5 ans	5 à 8 ans	> 8 ans	Régions
Dessinateur - Projeteur	24 149	28 022	31 860	37 470	inférieur de 11% à 14%
Architecte - Assistant Chef de Projets	28 922	33 295	37 713	44 625	
Architecte - Chef de Projets	34 053	38 170	43 005	49 215	
Référent BIM BIM Coordinateur	34 167	41 640	47 800	n/ a	inférieur de 11% à 14%
BIM Manager	38 400	50 000	60 000	64 000	
Décorateur	24 050	28 350	31 200	46 000	inférieur de 11% à 14%
Architecte d'Interieur	25 511	39 200	49 333	55 250	
Directeur Travaux	n/ a	n/ a	43 000	50 366	inférieur de 11% à 14%
Directeur de Projets	n/ a	n/ a	52 667	65 450	
Paysagiste	24 153	33 612	38 257	44 284	inférieur de 11% à 14%
Urbaniste	27 600	35 333	39 687	46 842	
Infographiste	24 900	30 000	45 000	50 000	inférieur de 11% à 14%

*Tous les salaires sont en brut annuel.

FIGURE 2.11 – Grille de salaires produite par l'entreprise Highline.

Source: www.highlineparis.com

Enfin, on notera aussi que sur le plan salarial l'activité de BIM manager ou de BIM référent, est économiquement beaucoup plus intéressante que celle d'architecte. En effet, les grilles salariales diffusées par des recruteurs des métiers de la conception (figure 2.11) montrent qu'à l'exception du directeur de projet avec plus huit années d'expérience, les postes de BIM managers sont les mieux rémunérés.

Conclusion

Pour comprendre comment a été pensé et conçue l'élaboration collective de la maquette numérique du *Grand Projet d'École* nous avons d'abord dû préciser le cadre théorique sur lequel nous sommes appuyés. En particulier, la sociologie des techniques s'est avérée particulièrement enrichissante nous permettant de considérer la maquette numérique comme un objet « en train de se faire ». Ceci nous a alors amené à réinvestir l'approche pragmatique qui consiste à réévaluer l'importance des objets dans l'étude des faits sociaux. Nous avons ainsi considéré les objets comme des acteurs (non-humains) car ils ne sont pas inertes mais agissent au sein de la société.

Par ailleurs, précisons que la phase de chantier est une phase de production qui combine simultanément la fabrication du bâtiment physique et de la maquette numérique. Cependant cette phase n'est pas antinomique avec l'activité de conception et défendons ainsi l'idée qu'une conception collective est à l'œuvre au cours du chantier. Cette conception collective passe alors par l'activité de coordination dont les réunions de synthèse constituent le lieu privilégié d'expression et explique notre intérêt pour ces espaces-temps et donc nos observations aux sein de ces réunions.

Ce chapitre s'attache ensuite à expliciter les propriétés structurantes de la synthèse pour tout projet architectural. Nous démontrons alors comment la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École* ont pensé la réalisation de ce chantier BIM en articulant l'ensemble des acteurs autour d'une équipe de synthèse spécialisée. La description du processus et du cheminement de la production des maquettes métiers nous permet alors de comprendre que la démarche BIM, à travers la production de maquettes numériques, impose une nouvelle complexité de travail et de coordination à l'ensemble des acteurs du projet.

Puis en s'intéressant aux objets (ou artefacts numériques) structurant du processus de production de maquettes numériques nous avons pu en mettre en exergue quatre : le logiciel BIM, la plateforme de Gestion Électronique de Documents, l'add-on Revit[®] et le VISA BIM. Ces quatre objets constituent des dispositifs qui permettent : la production, la diffusion, l'automatisation et le contrôle des données des maquettes numériques. Ces objets incarnent alors de façon pratique et symbolique une rupture dans l'outillage traditionnellement dédié à la conception et la production d'un projet architectural.

Par ailleurs, si notre attention a porté sur ces quatre artefact, il faut signaler qu'il en existe une multitude et que la démarche BIM a précisément tendance augmenter le nombre d'artefacts numériques dans le projet.

Le dernier temps de ce chapitre est dédié aux rôles que jouent les principaux acteurs qui participent à la synthèse (l'équipe synthèse, les entreprises de construction et les BIM managers). A travers la reconstruction des profils des membres de l'équipe de synthèse on comprend que les projets BIM requièrent une double compétence : à la fois une expérience de construction pour pouvoir gérer le chantier mais aussi des compétences informatiques pour pouvoir gérer le travail avec les maquettes numériques. Face à ces nouvelles exigences on remarque alors que les entreprises de construction impliquées dans le *Grand Projet d'École* demeurent très inégalement armées. Dès lors, la mise en place de BIM référents, portes-paroles voués à faire le lien entre les problématiques BIM et le projet, symbolise leur capacité ou incapacité à répondre efficacement aux exigences de production de maquettes.

Enfin, si l'impératif de production de maquette numérique modifie les processus du projet on constate que c'est aussi les pratiques des professionnels qui sont contraintes d'évoluer. Des nouveaux savoir-faire numériques apparaissent dont les BIM managers deviennent alors les principaux dépositaires. D'ailleurs, ces derniers, capables d'orchestrer la fabrication des maquettes numériques sont ainsi devenus des acteurs clés des projets BIM. Le positionnement de cet acteur dans les projets BIM entraîne alors une nouvelle configuration des rapports de pouvoir tout en déplaçant les frontières professionnelles. En particulier, on constate qu'une nouvelle concurrence entre architectes et BIM managers pourrait s'opérer quant à la conduite du projet.

Chapitre 3

Les effets observables de la maquette numérique en réunion de synthèse

Introduction

Dans ce troisième chapitre nous nous intéressons aux conséquences de la fabrication de la maquette numérique sur le travail des acteurs du projet impliqués dans les réunions de synthèse. Ainsi, c'est par l'expérience ethnographique immersive, au plus près des acteurs et des objets, que nous entendons pouvoir comprendre comment s'effectue une partie de la phase de « fabrication » collective de la maquette numérique et quels sont les effets que cela opère sur le projet et ses acteurs.

D'ailleurs, nous avons vu dans le chapitre précédent que la maquette numérique est un objet « en train de se faire ». Dès lors, il s'agit de repérer et d'identifier dans la quotidienneté des pratiques les traces liées à ce nouvel objet en construction. Dans un premier nous nous attacherons donc à restituer notre cheminement dans cette quête de traces et à montrer la complexité et la spécificité d'étudier objet dont les traces demeurent matériellement difficilement accessibles.

Dans un second temps, notre analyse se portera sur la spécificité de la maquette synthèse. Mobilisée pour l'activité de synthèse, elle constitue un assemblage de maquettes métiers produites par les différents acteurs. La maquette synthèse, interprétée comme un objet à la frontière des différents mondes sociaux-professionnels qui la mobilise peut alors être qualifié d'objet intermédiaire ou encore d'objet frontière. D'ailleurs cette attention pour les propriétés des objets mobilisés collectivement nous poussera à reconsidérer le déroulement des réunions de synthèse avant l'introduction de la maquette numérique pour comprendre autour de quels objets étaient structurées ces réunions avant la mise en place de la démarche BIM. Dans le cas du *Grand Projet d'École* c'est en particulier l'introduction du vidéoprojecteur, indicateur pratique d'appropriation de la démarche BIM, qui nous permet d'observer qu'un nouveau travail collectif sur la maquette synthèse est à l'œuvre.

Puis, nous essayons de comprendre comment s'opère l'appropriation du nouveau dispositif constitué du vidéoprojecteur et de la maquette synthèse. Il s'agit de comprendre quels sont les mécanismes mis en place par le collectif de professionnels pour interpréter, donner du sens et travailler avec ces nouveaux objets du projet. Par une restitution fine des séquences de travail, nous nous attacherons à montrer les changements apportés par les acteurs pour qu'ils puissent s'approprier la maquette synthèse afin de favoriser la coordination et donc la conception du projet.

Enfin, nous nous intéresserons aux propriétés physiques et les contraintes spatiales qu'imposent le dispositif vidéoprojecteur et maquette synthèse. Nous montrerons comment l'association et l'utilisation de ces deux objets entraîne une réorganisation spatiale des réunions de synthèse. Il s'agira aussi de

montrer comment le point de vue sur le projet est modifié et comment, grâce aux maquettes métiers, il devient possible de disputer le pouvoir de coordination de ces réunions.

3.1 Récolter les indices révélateurs de la fabrication d'une maquette numérique

Voilà plusieurs mois que je me rends en réunion de synthèse. Les réunions hebdomadaires ont lieu dans une salle située dans les bâtiments préfabriqués de la base VIE du chantier. Le chantier est à plus d'une heure de transport de chez moi, qui habite dans le nord de Paris. Je dois prendre le métro, le RER puis le bus. Il faut ensuite contourner les palissades, badger pour passer le portique et accéder aux préfabriqués. A chacune de mes venues je constate que le projet avance inexorablement et que le bâtiment prend corps semaine après semaine. Avant d'entrer dans la salle de réunion, qui est probablement comme beaucoup de salles de chantier : quelconque, j'essaie de prendre quelques minutes pour m'imprégner de ce qui m'entoure. Face au chantier (figure 3.1), je suis temporairement et de façon singulière, l'observateur d'un processus de construction du *Grand Projet d'École*, d'un objet « en train de se faire » (Callon & Latour, 1991; Latour, 1989). Je contemple les grues tourner, je regarde les ouvriers s'agiter et le béton couler, j'entends les marteaux-piqueurs tambouriner, je hume les odeurs de terre mouillée.

Le chantier se déploie sous mes yeux et j'éprouve le sentiment que mes sens sont capables de capter les traces du travail réalisé car ces traces sont là, devant moi, omniprésentes. Matthew Crawford évoque justement l'effet des traces sensibles de son nouveau travail de réparateur de moto sur son épouse (Crawford, 2016, p. 32). Ainsi, à chaque fois qu'il rentre de son atelier, cette dernière vient le sentir et devient progressivement capable d'apprendre « à identifier les divers solvants utilisés pour nettoyer les différentes parties d'une moto, elle émet son verdict : carburateur, freins, etc ». Parce qu'elle laisse des traces sensibles, la journée de travail de Matthew devient accessible à l'imagination de son épouse. Et « si la saleté et les odeurs sont manifestes, la quantité de cogitation à laquelle il s'est livré demeure, elle, bien invisible ». On pourrait alors certainement déceler chez les ouvriers du chantier du *Grand Projet d'École*, en examinant leurs vêtements, leurs mains, émettre quelques verdicts : « terrassement », « peinture », « béton », « placoplâtre » ... Il existe ainsi une grande diversité de traces que dépose le chantier sur chacun de ses ouvriers. Les taches sur le carnet de l'architecte, les poussières d'acier sous les ongles du ferrailleur, la boue incrustée sous les semelles du terrassier ou encore les éclaboussures sur le bleu de travail du peintre. Ces quelques résidus, ces traces sensibles, constituent des preuves qu'un objet est bien en cours de réalisation. Bien entendu, ces traces ne permettent pas de rendre compte de toute la complexité de ce qu'est réellement un projet « en train de se faire ». Elles ne disent effectivement rien des négociations entre les entreprises, de l'état de crise lorsqu'un poteau mal coffré menace de s'effondrer, de la gestion des intérimaires ou des ouvriers de l'entreprise sous-traités, des pénalités de retard, de la zone de stockage encombrée, de la pénibilité du

travail ou encore des recommandés envoyés et des recours judiciaires à venir. Le contraste entre l'agitation et la puissance du chantier d'une part et le calme et le sérieux des réunions d'autre part n'ont eu de cesse de me fasciner et de me déstabiliser. Et l'enquête sur la fabrication de la maquette numérique, elle, c'est à l'intérieur, en réunion de synthèse, au sec et au chaud, qu'elle se déroule. Mais comment se fabrique la maquette numérique, supposée assister, épauler, et faciliter la construction de l'ouvrage que je viens de traverser? Qui sont les « *ouvriers numériques* » qui la réalisent? Quelles traces de son élaboration sont déposées? Mais surtout où est-elle et peut-on observer son « chantier » de la même manière qu'il m'est possible d'observer le chantier du bâtiment physique?



FIGURE 3.1 – Le chantier du *Grand Projet d'École*, été 2017.

Source: Photographie de l'auteur

C'est donc éloigné des ouvriers mais entre les architectes, les ingénieurs, les responsables d'entreprises et les membres de la cellule synthèse que j'opère la première récolte d'indices. Lors de ces réunions, « le BIM » et la maquette numérique sont omniprésents dans les discours des différents acteurs et c'est d'abord des traces orales que j'essaie de capturer. Mon carnet de terrain devient alors le support de collecte et d'un archivage méticuleux de ces traces (figure 3.2) qui constituent, in fine, une grande partie du matériel

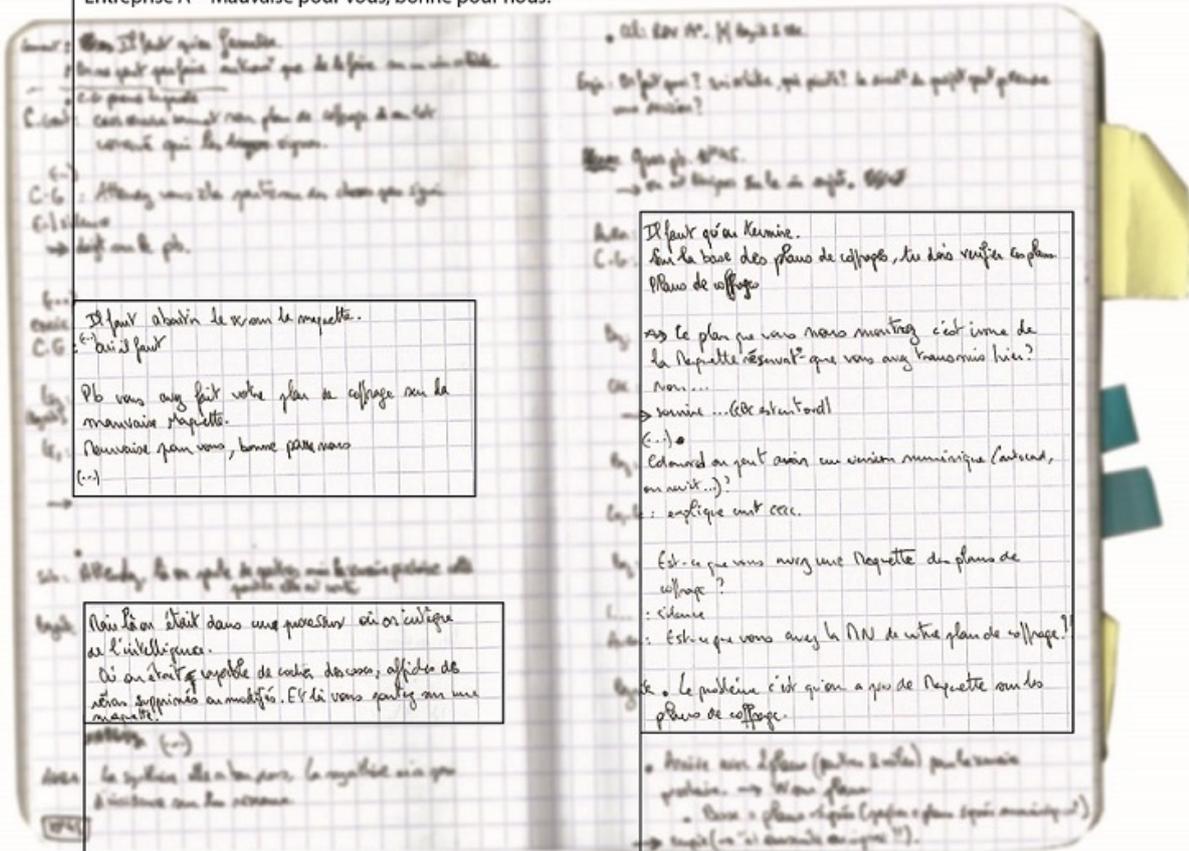
empirique sur lequel s'appuie mon enquête.

Entreprise C - Il faut boutir le travail sur la maquette?

OPC - Oui il le faut!

Entreprise C - Le problème c'est que vous [entreprise A] avez fait votre plan de coffrage sur la mauvaise maquette.

Entreprise A - Mauvaise pour vous, bonne pour nous!



Il faut aboutir de vous la maquette.
 C-6 : oui il faut
 Pb vous avez fait votre plan de coffrage sur la mauvaise maquette.
 Mauvaise pour vous, bonne pour nous

Mais là on était dans un processus où on intègre de l'intelligence. Où on était capable de cocher des cases, d'afficher des réservations supprimées ou modifiées. Et là vous partez sur une maquette qui n'a plus cette intelligence.

Entreprise C - Mais là on était dans un processus où on intègre de l'intelligence. Où on était capable de cocher des cases, d'afficher des réservations supprimées ou modifiées. Et là vous partez sur une maquette qui n'a plus cette intelligence.

Il faut qu'on termine.
 C-6 : Sur la base des plans de coffrage, tu dois vérifier le plan Maquette de coffrage
 C-7 : Ah le plan que vous nous montrez c'est issue de la maquette réservation que vous nous avez transmis hier?
 C-8 : Non...
 C-9 : ... (ce n'est pas le cas)
 C-10 : Pourquoi on peut avoir une version numérique (Autocad, ou Revit...)?
 C-11 : ... (il ne sait pas)
 C-12 : Est-ce que vous avez une maquette de plans de coffrage?
 C-13 : ... (il ne sait pas)
 C-14 : Est-ce que vous avez la NN de votre plan de coffrage?
 C-15 : Le problème c'est qu'on a pas de maquette sur les plans de coffrage.

Entreprise C - Le plan que vous nous montrez, il est issu de la maquette réservation que vous nous avez transmis hier?

Entreprise A - Non...

Entreprise C - Bon est-ce qu'on pourrait une version numérique de ce plan sous Autocad ou Revit?

Entreprise A - ... [ne répond pas]

Entreprise C - Est-ce que vous avez une maquette de ces plans de coffrage?

[Silence]

Synthèse - Est-ce que vous avez une maquette de ces plans de coffrage?

Entreprise C - Le problème c'est qu'on n'a pas de maquette sur les plans de coffrage.

FIGURE 3.2 – Exemple de traces orales conservées et retranscrites (le reste des notes ayant été anonymisé)

Source: Composition de l'auteur

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°19, Avril 2017]

1. ENTREPRISE C - Il y en a un qui a un kutch?

[Silence, tout le monde se regarde]

ENTREPRISE B - Ah non, à l'heure du BIM on n'en a plus besoin!

[rire général]

2. ENTREPRISE C - Je ne sais pas si ça tient mais peut-être qu'avec le BIM on peut se passer d'IPN?

[rire général]

[Réunion n°18, Avril 2017]

1. ENTREPRISE A - Le BIM c'est trente fois plus de travail [...]! C'est d'une lourdeur!

[Réunion n°20, Avril 2017]

1. SYNTHÈSE - Notre maquette synthèse, la nôtre, elle est vide. Et on appelle en lien toutes les autres maquettes.

Progressivement, mes carnets de terrains se remplissent d'une collection de verbatim, de courts échanges. Et au delà de la signification et de la compréhension de l'élaboration des maquettes, je constate que la démarche BIM cristallise aussi des attentes qui dépassent largement les frontières même de ses définitions. Ceci au point que certains acteurs semblent ironiquement vouloir octroyer au BIM des propriétés « quasi-magiques » car capable de remplacer n'importe quel objet utilisé dans la construction (« *kutch* ») ou bien de résoudre n'importe quelles problématiques techniques (« *IPN* »). Mais la démarche BIM et la maquette numérique sont aussi perçues comme une nouvelle contrainte. Je comprends entre les lignes qu'il y a une multitude de maquettes numériques et que c'est la maquette synthèse qui mutualise l'ensemble des maquettes métiers. Je m'étonne aussi de l'importance des bugs informatiques et que les problématiques qu'ils soulèvent sont bien plus importantes que je ne le soupçonnais. Malgré ces premiers indices il m'est difficile d'interpréter la portée de ces extraits car ces matériaux m'apparaissent soit incomplets, soit trop hétérogènes pour comprendre la complexité des différents mécanismes en cours. Mais ces premières interprétations me démontrent que « *quelque chose* » est à l'œuvre et que les professionnels que j'observe s'activent à ce

qu'un nouvel objet advienne. Et si je ne suis pas encore le témoin oculaire de la maquette numérique « *en train de se faire* », je comprends qu'être présent lors de ces réunions me permet déjà d'assister à une partie du travail collectif indispensable à son élaboration.

Parallèlement à la récolte de ces données, mes yeux se mettent à chercher des traces susceptibles de révéler la présence de maquettes numériques. Au delà du discours des acteurs, j'éprouve effectivement le besoin d'accéder à d'autres types d'indices. Des indices plus tangibles, plus physiques, plus « réels ». Je constate alors que d'autres preuves d'existence de la maquette s'inscrivent dans les objets circulant entre les mains des acteurs présents en réunion. Ainsi sur certains des plans, coupes, détails sur lesquels les acteurs travaillent, s'ajoutent des vues extraites des maquettes numériques. Le couplage de ces vues 3D aux plans 2D permet alors de faciliter la compréhension des problématiques constructives et servent d'interface entre les différents lots (figure 3.3). En réalité, dans ce *Grand Projet d'École*, l'ensemble des documents graphiques qu'ils soient 2D (plans, coupes, élévations) ou 3D sont tous extraits des maquettes numériques puisque c'est une requête contractuelle.

Extrait de document : Charte BIM du Grand Projet d'École

« *La maquette numérique permet d'assurer la cohérence des documents graphiques propres à chacun des titulaires. L'ensemble des pièces graphiques seront extraites des modèles BIM (plans, coupes, élévations intérieures et extérieurs, détails...).* »^a

a. Cahier des Clauses Techniques Communes - Dossier marché 2016 du *Grand Projet d'École*

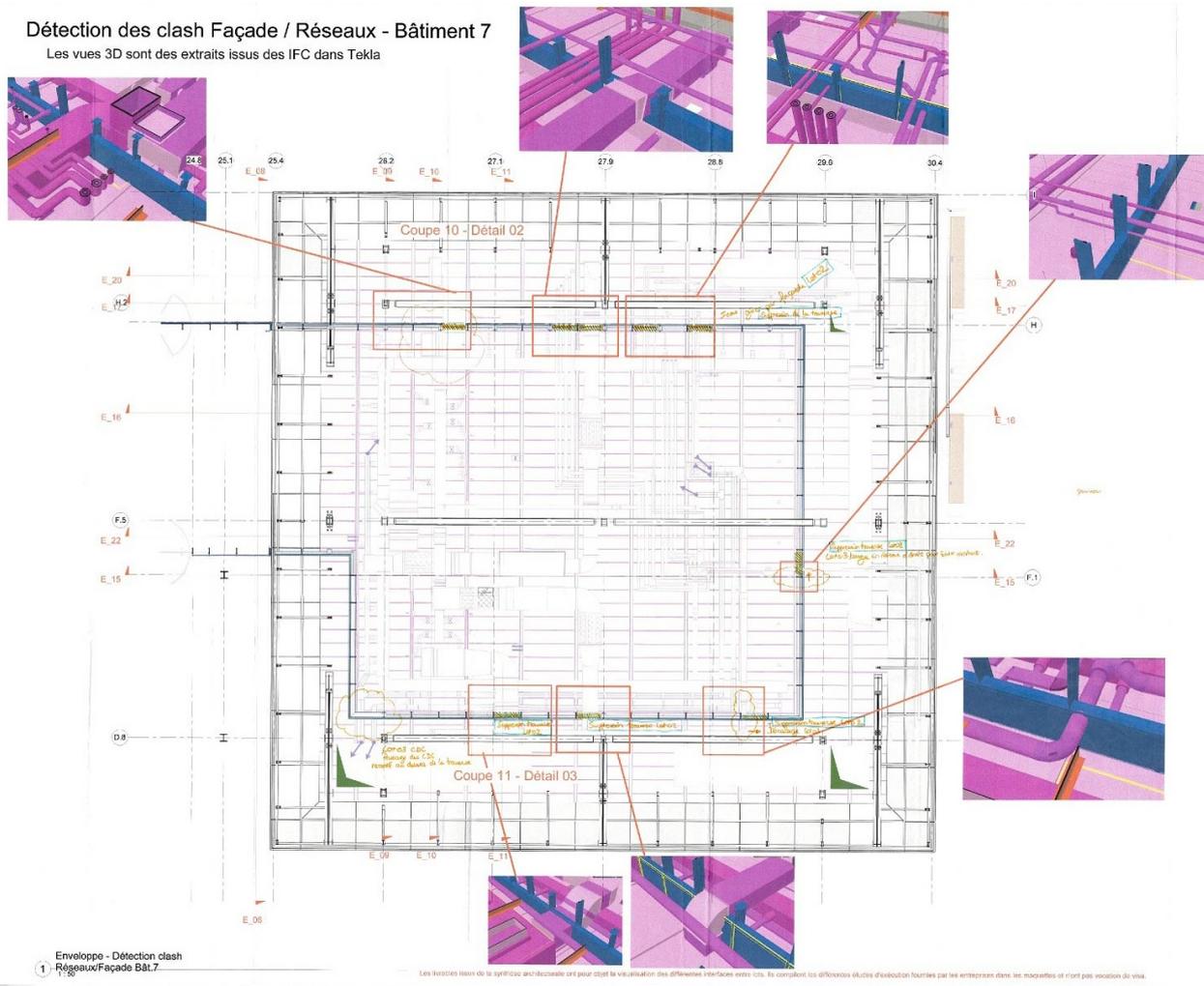


FIGURE 3.3 – Mise en évidence sur un plan des clashes entre différents lots grâce aux extraits de maquette.

Source: Document du *Grand Projet d'École*

De même, en consultant les comptes rendus de réunion, je remarque qu'au fur et mesure que le projet avance, ces derniers contiennent de plus en plus d'extraits 3D (figure 3.4). Là encore, ces extraits constituent des traces que des maquettes numériques ont été construites. Cependant, j'ai le sentiment de n'avoir accès qu'à une petite partie du puzzle que constitue l'élaboration des maquettes numériques. Mais alors, comment un objet, censé permettre de construire un bâtiment si grand peut-il être si omniprésent dans les discours et les objets mais si discret à la fois ? La réponse était pourtant dans son nom. En effet, puisque l'objet est numérique il est uniquement consultable grâce à un ordinateur. L'objet, invisible et pourtant omniprésent, m'était tout simplement inaccessible sans un dispositif adéquat.

Au cours d'une réunion, j'observe alors pour la première fois que l'ordinateur (et la maquette numérique)

est utilisé en réunion pour appuyer et vérifier un état géométrique. La question porte alors sur un mouvement de dalle possible. L'entreprise A prouve qu'il ne peut pas y avoir de mouvement de dalle en montrant sa maquette métier ouverte sur son ordinateur. L'entreprise D convient ainsi d'adopter une autre solution. La maquette métier et son état numérique permettent de visualiser et d'attester la véracité d'un propos. De même, j'ai pris conscience que s'il est évident que « *vous ne pouvez pas enfoncer un clou sur internet* » (Blinder, 2006), alors contrairement au chantier que je traversais, le travail d'élaboration des maquettes ne peut pas laisser de traces sensibles. Il me serait alors bien difficile d'avoir une opinion, un avis ou de prendre conscience de la nature du travail effectué.

Le travail de modélisation des maquettes métier était le même pour tous. Ainsi les experts de l'architecture, de la charpente métallique, du gros œuvre ou du paysage effectuaient un travail numérique de fabrication de maquette relativement analogue pour ne pas dire identique.

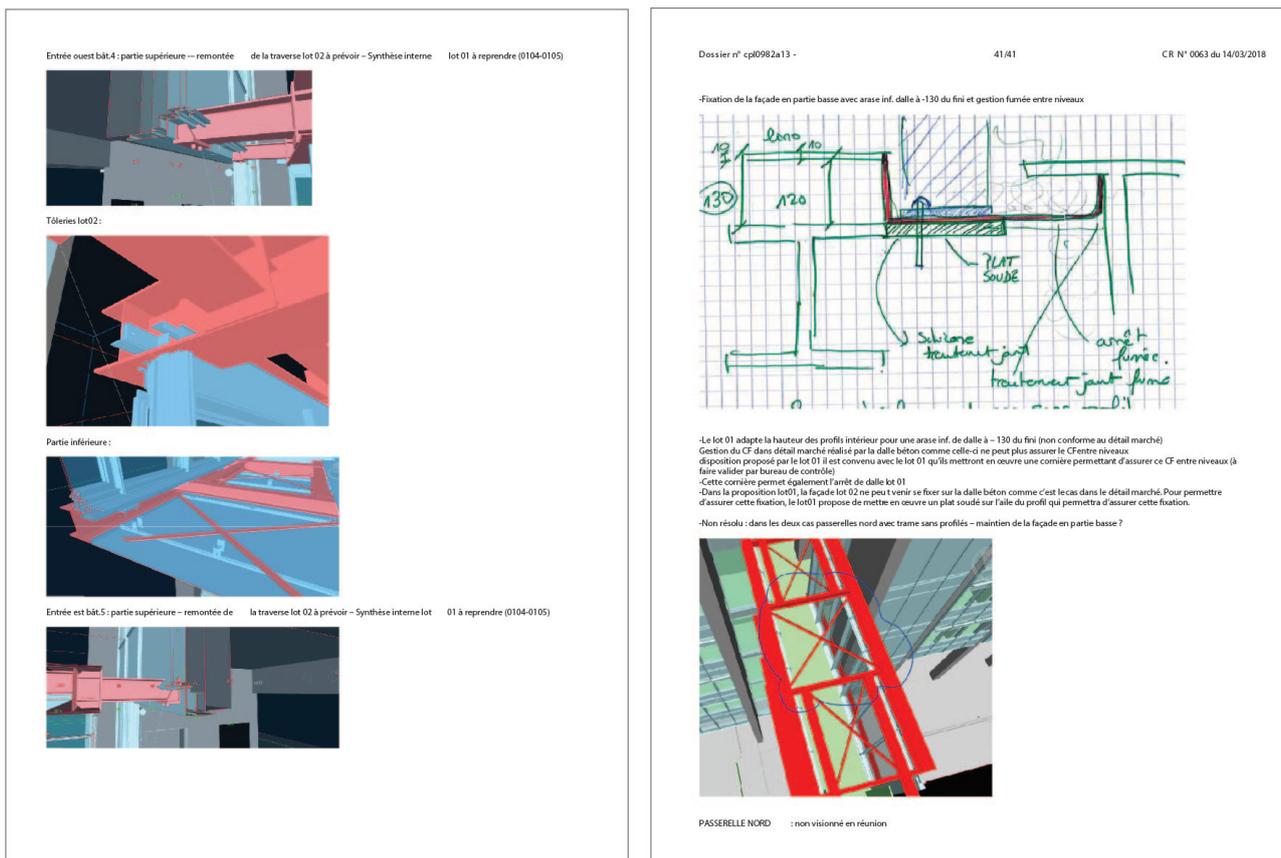


FIGURE 3.4 – A gauche : extrait de compte-rendu montrant un problème d'interface entre maquettes métiers. A droite : extrait d'un compte rendu montrant un oubli de détail technique dans la modélisation d'une maquette métier.

Source: Document du *Grand Projet d'École*

Une autre difficulté que j'ai rencontrée avec la récolte de ces traces physiques (plans PDF, comptes-rendus, extrait 3D) était que ces éléments ne représentaient que des états « figés » et temporaires des maquettes numériques. L'ensemble de ces états constituaient des photographies prises à un instant « *t* », de la même manière qu'une photo de chantier n'est pas le chantier. Intuitivement, j'avais besoin de voir la maquette numérique et ses photographies.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein du Grand Projet d'École) —

Revit[®] n'affiche pas l'instantané! En fait la seule façon de le figer, parce que pour moi le Revit[®], c'est un être vivant, il change chaque fois qu'un intervenant décide de changer cette machine, donc pour le figer, tu aurais eu besoin d'un appareil photo, c'est-à-dire d'un pdf. Il n'y a qu'en sortant un pdf que tu peux être sûr que la chose sera figée, mais c'est valable dans un compte rendu ou ce type de documents [...]. Le jour où tu as fait le pdf, le lendemain, il est déjà caduque. Et tu ne peux pas travailler comme ça. C'est pour ça qu'il faut figer un peu la maquette [...]. Parce que qu'est-ce qui se passait à l'époque [au début du projet]? Il se passait que c'était une masse molle qui évoluait toutes les heures et comme elle évoluait tout le temps, on avait du mal à la prendre en main parce que ça partait dans tous les sens [...]. Les livrables ça reste des photos que tu fais et il faut savoir que lui [le Revit[®]] il est malléable, il change, il grandit tous les jours comme un être humain [...]. Et lui il ne va jamais arrêter de grandir! Non, parce que lui, avec la maintenance, il va commencer à se teindre les cheveux, il va avoir une autre vie. Lui, son but c'est de grandir dans le sens, où lui, il vit en fait ! Il vit jusqu'à ce qu'on ne l'utilise plus et qu'il meure. Mais toute sa vie il va changer tout le temps [...]. C'est ça l'enjeu du BIM : c'est que il va jamais s'arrêter de grandir [...] et c'est ça qui est beau!

Bien entendu, j'ai pu voir les architectes travailler sur leurs maquettes métier. Mais qu'en était-il à ce moment de la maquette du maçon? De celle du plombier? Du façadier? Il ne s'agissait pas uniquement d'observer une maquette à travers l'ordinateur d'un seul acteur ou de mon propre ordinateur mais j'espérais, d'une certaine manière, accéder à l'ensemble des écrans de ses constructeurs. Pouvoir voir l'assemblage de toutes ces maquettes pourrait certainement me permettre de mieux comprendre la complexité de l'élaboration collective de cet objet. Il s'agissait alors de m'armer de l'équivalent du fusil photographique de Marey (figure 3.5) qu'évoquent Bruno Latour et Albana Yaneva (Latour & Yaneva, 2008) pour pouvoir observer et capturer une partie du « *vol* » de la maquette numérique. D'une certaine façon et comme l'évoque Maria, un ordinateur nous donne accès à un appareil photographique puisqu'il permet d'effectuer des captures,

ou des photographies (PDF) des maquettes. Or, ne disposant pas d'un accès à tel « *fusil* », mon premier réflexe a donc été de rechercher quels étaient les acteurs qui, en réunion, disposaient d'ordinateurs. Ainsi, seuls les acteurs qui avaient un ordinateur en réunion devenaient pour moi de potentielles « *portes d'accès* » vers la maquette numérique. Ils pouvaient ainsi, soit me donner accès au « *vol* » de leur maquette, soit à m'aider à capturer de nouvelles photographies qui puissent m'en dire plus sur le travail d'élaboration de cet objet. Il me fallait cartographier et comprendre qui étaient les acteurs qui avaient « *accès* » aux maquettes numériques et me rapprocher d'eux pour poursuivre mon enquête (3.6).



FIGURE 3.5 – Le fusil photographique de Marey utilisé pour décomposer le mouvement du vol d'une mouette (1882).

Source: <https://petapixel.com>

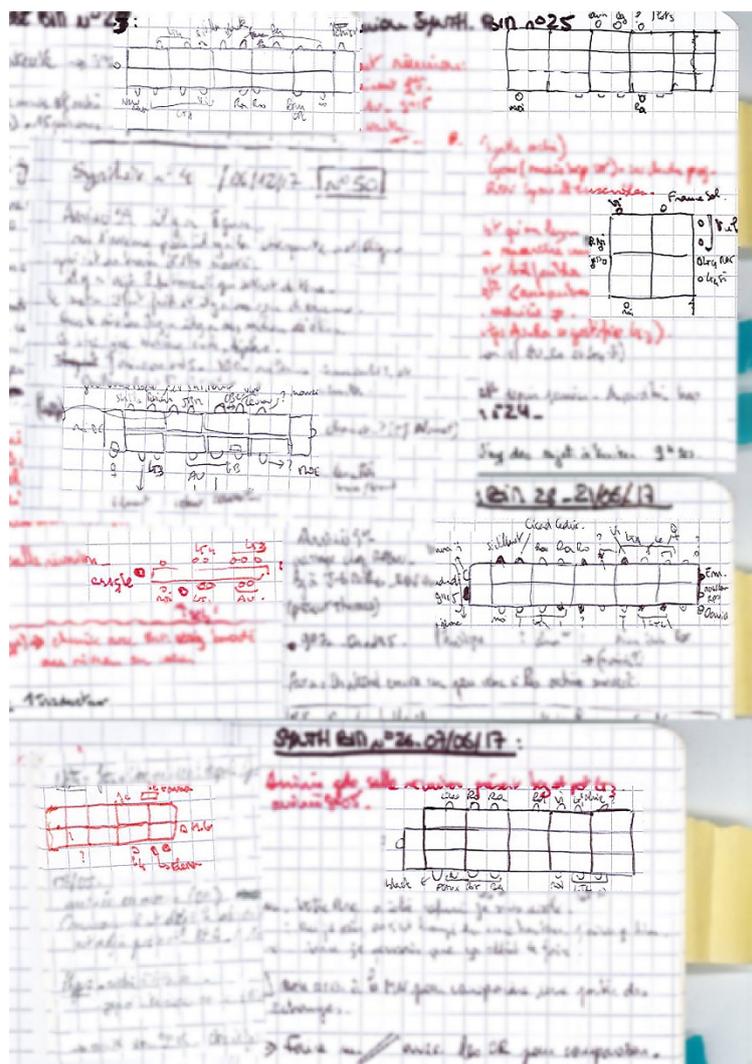


FIGURE 3.6 – Extrait de carnets de terrain : cartographie des acteurs utilisant un ordinateur en réunion.

Source: Composition de l'auteur

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein du Grand Projet d'École) —

Là, il faut prendre un appareil photo : ça peut être un pdf. C'est comme quand t'as un bébé, tu le prends en photo dans les meilleurs moments. Il faut donc choisir les bons moments pour faire ta photo [...]. Pour moi, le bon moment c'est : tu mets une injection de données, tu laisses un temps de digestion et après, il y a des livrables qui sortent [...] et qui doivent être signés. Là ça introduit une nouvelle temporalité [...] les gens comme ce qu'ils signent c'est la photo, c'est pas la maquette, ils vont vouloir, même si cela vient d'une maquette qu'ils connaissent, ils vont vouloir vérifier si cette photo elle n'a pas du Photoshop® der-

rière [...] si tout correspond à ce qu'ils ont vu de la maquette, et ça, ça prend du temps de relecture derrière. Parce que qu'est-ce qui se passe avec les plans? Comme tout le monde connaît [le travail avec] les plans, ils savent qu'ils ne bougent pas. Le plan indice machin, c'est celui là et pas un autre [...]. Lui, il ne bouge pas! C'est une matière inerte! L'autre, [la maquette numérique] : non! Ce n'est pas une matière inerte, elle vit, donc tu sais pas, tu te méfies si un autre lot a mis un peu plus de données ou à rajouté quelque chose à la dernière minute [...]. C'est ça qui est compliqué, c'est que l'autre vit! C'est plus un plan comme avant, les plans avant, ils ne bougeaient pas !

Le repérage, l'identification et mon rapprochement vers les acteurs travaillant avec des ordinateurs a des limites. En effet, tous les acteurs qui travaillent sur des ordinateurs ne sont pas nécessairement des « constructeurs de maquettes ». De plus, je comprends rapidement que certains acteurs, bien que représentants d'entreprises ou ayant des responsabilités dans l'élaboration des maquettes métier n'ont simplement pas la compétence pour manipuler les logiciels BIM ce qui les prive naturellement d'arguments concernant la prise de certaines décisions relatives à la maquette numérique mais ils ne me permettent pas non plus d'accéder à leur maquette métier. D'autres acteurs en revanche utilisent délibérément leurs capacités à utiliser les logiciels BIM en réunion pour appuyer leurs argumentations ou contredire d'autres acteurs.

J'apercevais parfois une maquette sur l'ordinateur d'un représentant d'entreprise mais ces moments demeuraient anecdotiques. Dès lors, la fabrication de la maquette continuait de m'apparaître mystérieuse. Heureusement, un jour, Éric a posé un vidéoprojecteur dans la petite salle de réunion de synthèse technique et j'ai enfin eu le sentiment que ma patience avait été récompensée. Le vidéoprojecteur, ce dispositif de visualisation collective de la maquette numérique était un « *fusil de Marey* » collectif et son utilisation a entraîné une ré-organisation de l'espace-temps des réunions. Les réunions qui s'élaboraient jusqu'alors avec les plans dépliés sur la table avec tous les acteurs autour (figure 3.7), se sont totalement reconfigurées (figure 3.8 et figure 3.9).



FIGURE 3.7 – Exemple de réunion : mai 1944, les soldats américains sont en plein « *tent briefing* », dans le sud de l'Angleterre.

Source: <https://dnarchi.fr/experimentations/lerc-post-bim-pour-une-obsoltescence-deprogramme-ii-iii/>

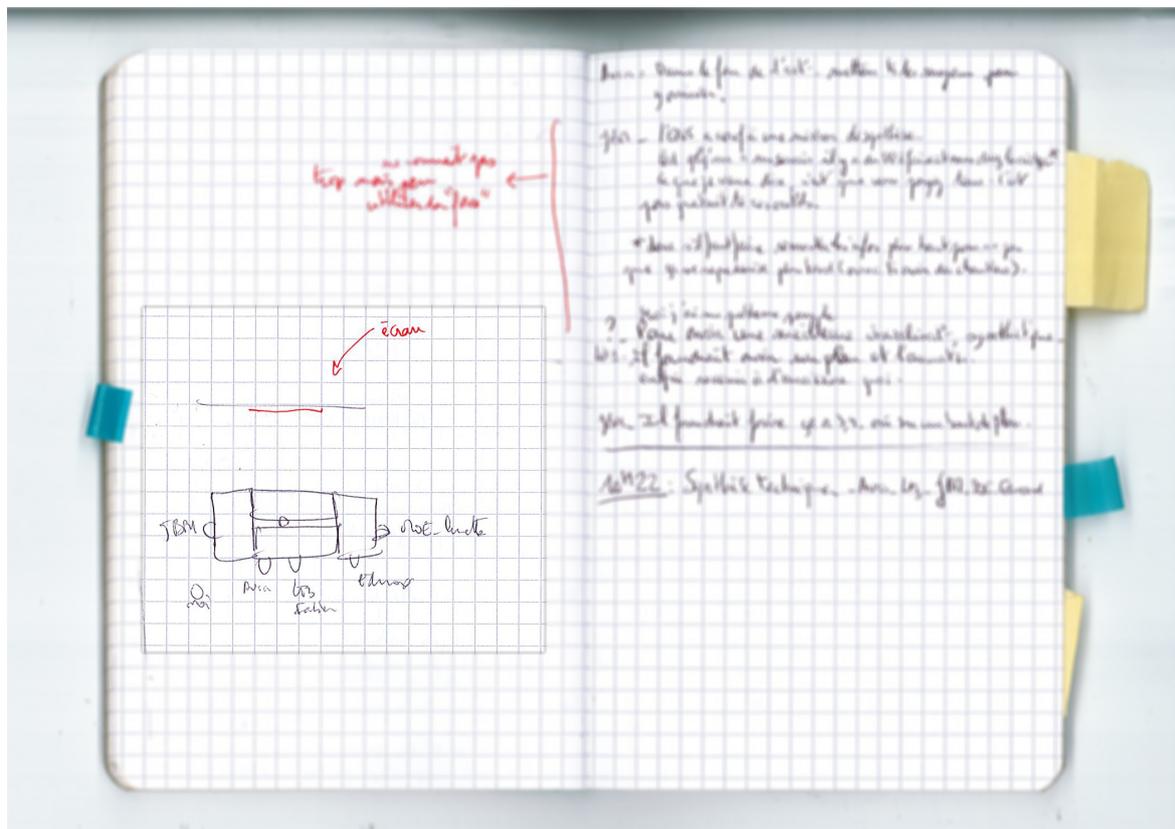


FIGURE 3.8 – Croquis du ré-aménagement spatial de la réunion de synthèse technique.

Source: Carnet de l'auteur



FIGURE 3.9 – Réunion de synthèse technique menée avec une maquette synthèse projetée.

Source: Composition de l'auteur

Le vidéoprojecteur a naturellement empiété sur l'espace anciennement dédié aux plans et la maquette numérique (ou sa projection) a pris une nouvelle place physique autour de la table. L'évolution me semblait suffisamment importante pour le signaler à Éric qui n'a pas caché son plaisir.

Extraits de réunion de synthèse

[En voiture lors de la pause déjeuner, décembre 2017]

-- SYNTHÈSE - Ah, tu as remarqué? Ça me fait plaisir! Là, là, on fait du vrai BIM et ça change vraiment tout!

L'enthousiasme du responsable de synthèse généré par la réussite de pouvoir travailler directement sur une maquette synthèse n'était pas feint. Et dorénavant, ce « *vrai BIM* » se réalisait sous mes yeux. Il me restait alors à comprendre en quoi la visualisation de la maquette synthèse « *change[ait] vraiment tout* » !

3.2 Analyser la transformation des réunions synthèse

On peut considérer que le travail avec des maquettes numériques relève d'un processus innovant. Il existe alors, dans la temporalité relative à l'appropriation de ces processus, des moments de passage depuis une phase de découverte et d'apprentissage vers une phase plus opérationnelle ou d'application. Ces moments charnières se matérialisent souvent par le support d'objets qui peuvent justement constituer des « *marqueurs de passage* » d'une étape à une autre (Peters *et al.*, 2010; Vinck, 1999*b,c*). Leur mobilisation ou acceptation collective témoignent alors du ralliement des différents acteurs au processus innovant. L'arrivée du vidéoprojecteur et de la maquette synthèse marquent ainsi un « *avant* » et un « *après* » dans le déroulement des réunions de synthèse. Dès lors, comment interpréter et considérer l'importance et la place que peuvent avoir ces objets au milieu des discussions, arrangements, disputes, controverses, négociations qui se déroulent devant nos yeux ?

3.2.1 La maquette synthèse : entre objet-intermédiaire et objet-frontière

Pour comprendre les effets de ces nouveaux objets ou non-humains sur le réseau de professionnels avec qui ils sont en interaction, il nous faut dans un même temps considérer « *le monde inscrit dans l'objet et le monde décrit par son déplacement* » (Akrich, 1987). Conjointement à ces nouvelles considérations pour les objets, émerge deux notions :

- celle d'objet intermédiaire (Blanco *et al.*, 1996; Jeantet, 1998; Mer *et al.*, 1995)
- et celle d'objet-frontière (Star & Griesemer, 1989; Star, 1989).

Comme le rappelle Dominique Vinck (Vinck, 2009), « *dans les deux cas, les auteurs aux origines de ces notions s'efforcent de prendre en compte la matérialité des choses que produisent et mobilisent les acteurs* ». Le sociologue poursuit en distinguant ces deux notions de la façon suivante : l'objet intermédiaire permet principalement d'étudier les réseaux de coopération, auxquels les activités de conception collective peuvent être identifiées, tandis que l'objet frontière permet d'insister sur l'appartenance des acteurs humains à des mondes sociaux différenciés. Ces deux caractérisations continuent d'être mobilisées dans des travaux qui portent sur les activités de conception que ce soit dans le design (Bassereau *et al.*, 2015), l'industrie et l'ingénierie (Jeantet & Tiger, 1988; Blanco *et al.*, 1996; Mer *et al.*, 1995) ainsi que dans des recherches qui entendent prendre en compte les objets dans l'étude de faits sociaux (Forgues *et al.*, 2009; Peters *et al.*, 2010; Star & Griesemer, 1989). On constate cependant dans la littérature que la proximité conceptuelle de ces notions entraîne une multiplication d'interprétations créant des difficultés à circonscrire les propriétés et le sens que leurs auteurs leur avaient initialement

attribués. Ces difficultés sont d'ailleurs mises en exergue dans deux dossiers de la revue d'anthropologie des connaissances intitulés : *Retour sur la notion d'objet-frontière* et publiés en 2009 et 2010. Dans la suite, nous considérerons donc que les objets-frontière constituent un sous-ensemble des objets intermédiaires (Trompette & Vinck, 2009). En particulier, Susan Leigh Star définit un objet-frontière de la manière suivante :

Extrait de document : The Structure of Ill-Structured Solutions : Boundary Objects and Heterogeneous Distributed Problem Solving

« Les objets-frontière sont des objets qui sont suffisamment plastiques pour, à la fois, s'adapter aux besoins locaux et aux contraintes des différentes parties qui les emploient, et sont assez robustes pour pouvoir maintenir une identité commune à travers les sites. Ils sont faiblement structurés dans l'usage commun et deviennent fortement structurés dans les usages individuels. A la manière d'un tableau noir, l'objet frontière « reste au milieu » d'un groupe d'acteur aux points de vues divergents. »^a

a. (Star & Griesemer, 1989)

Dès lors, la propriété « supplémentaire » de l'objet-frontière sur l'objet intermédiaire est que sa « structure est suffisamment commune à plusieurs mondes sociaux pour qu'elle assure un minimum d'identité au niveau de l'intersection tout en étant suffisamment souple pour s'adapter aux besoins et contraintes spécifiques de chacun de ces mondes. Ce[t] objet[-frontière] [est] supposé[] maximiser à la fois l'autonomie de ces mondes sociaux et la communication entre eux » (Trompette & Vinck, 2009). A l'image du travail mené sur les SIG (MacEachren, 2001), l'objet-frontière permet de replacer la maquette numérique à l'intersection des différents mondes sociaux dans lesquels elle évolue tout en permettant l'étude des activités des acteurs humains qui la mobilisent. Notons que l'identité d'un objet-frontière à travers différents mondes sociaux peut être défini par différents critères : symboliques, législatifs, pratiques, etc. Enfin, Dominique Vinck (Vinck, 2009) propose aussi d'identifier comme « travail d'équipement » les activités collectives qui consistent à ajouter des éléments à un objet intermédiaire telle qu'une nomenclature, un code ou un langage formel qui puisse permettre à cet objet de s'inscrire dans un espace d'échange entre acteurs hétérogènes et ainsi d'« être considéré » comme un objet-frontière.

Dans cette perspective, nous avons donc, au cours de nos observations, considéré les acteurs humains (figure 3.10) mais aussi les acteurs non-humains (figure 3.11).



FIGURE 3.10 – Les acteurs humains de la réunion de synthèse.

Source: Composition de l'auteur

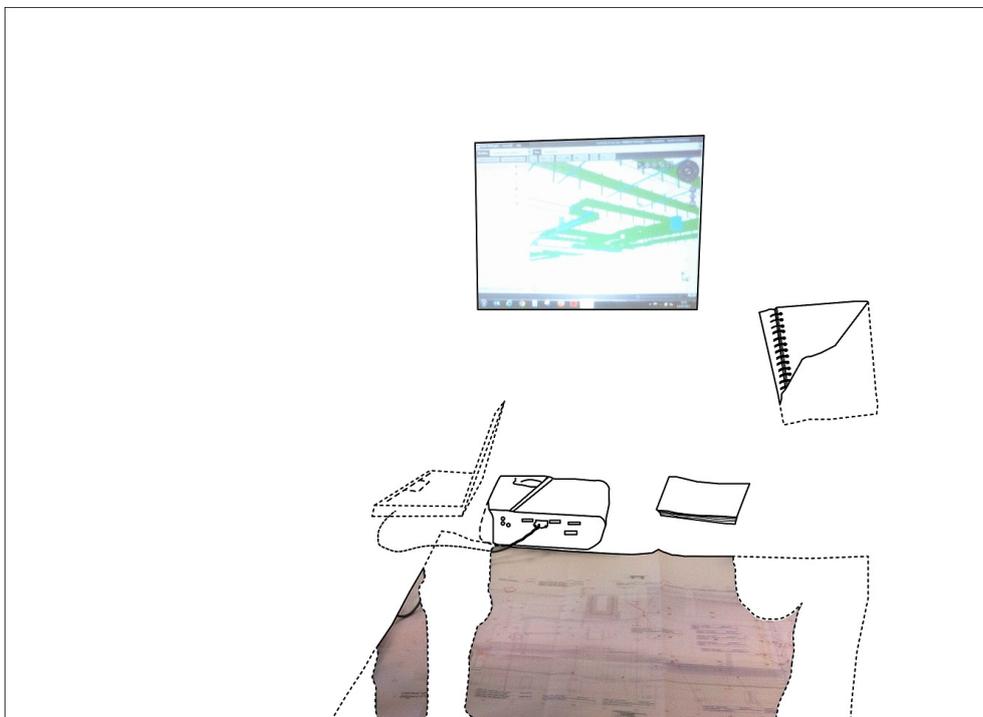


FIGURE 3.11 – Les acteurs non-humains de la réunion de synthèse.

Source: Composition de l'auteur

Cette mise au point concernant les non-humains nous permet alors d'ouvrir un nouveau champ d'analyse concernant les situations de réunions de synthèse du *Grand Projet d'École* observées et plus précisément celles qui s'appuient sur la maquette synthèse à travers l'utilisation du vidéoprojecteur. Aussi, afin de comprendre les effets que peuvent avoir ces objets sur l'organisation du travail collectif et la coordination des acteurs il nous faut revenir sur les réunions sans ces deux objets afin de mesurer ce qu'a pu produire leur introduction aux réunions.

3.2.2 Retour sur le déroulement des réunions sans maquette numérique

La réunion de synthèse BIM vient de s'achever. Dans la petite salle dédiée à la synthèse technique, Éric dépose sur le coin de la table une dizaine de plans pliés. Il consulte ses notes, l'ancien compte-rendu de réunion et déplie le premier plan de synthèse devant lui. C'est un A0 qui occupe presque toute la place. L'architecte Maria, s'assoit à côté de lui et la réunion de synthèse technique commence. Le premier sujet concerne le cheminement des eaux pluviales d'un bâtiment.

Éric est le responsable de synthèse technique ; il occupe une position de coordinateur et pilote donc l'ensemble de ces réunions. La fonction qu'il occupe au sein du projet et la dénomination de son poste indique qu'il est présumé diriger la réunion avant même que celle-ci ne débute. Comment se passent ces réunions dans les faits ? Mais surtout en quoi la considération pour les non-humains nous permet d'en apprendre davantage sur le déroulement de ces réunions et les relations entre les différents acteurs ?

Premièrement et d'un point de vue spatial, on pourrait initialement penser qu'aucune position autour d'une table semble privilégier l'activité de pilotage. En effet, la disposition des tables « *en carré* » laisse présupposer qu'aucune place est prédominante sur les autres. A priori, toutes les places autour de la table sont donc équivalentes. Cependant, dès lors que le plan de synthèse est posé sur la table, les caractéristiques de l'objet, et en particulier son sens de lecture devient un paramètre structurant l'espace. Le plan de synthèse vient cadrer et définir une orientation spatiale privilégiée. Désormais toutes les places autour de la table ne sont plus équivalentes. L'orientation du plan de synthèse, face au pilote de la réunion, renforce non seulement sa position de pilote mais permet aussi de confirmer un certain ordre social préétabli. On remarque d'ailleurs que les architectes se placent souvent à côté du pilote ce qui démontre leur positionnement hiérarchique au sein du projet et notamment lors de ces réunions. Les autres acteurs : les porte-paroles des entreprises, eux, se partagent les places qui restent autour de la table. Ils visualisent ainsi les plans de côté ou à l'envers. Et même s'ils

ne s'en rendent pas nécessairement compte, les points de vue sur le plan ne sont donc pas les mêmes et ne permettent pas le même confort. Le rapport au travail collectif n'est donc pas identique selon la position que l'on occupe autour de l'objet. De plus, comme le fait remarquer Dominique Vinck (Vinck, 2009), nous constatons aussi que ce cadre dessiné par la disposition du plan, n'est jamais remis en question par les acteurs. Il existe ainsi une interdépendance entre la configuration sociale et la configuration spatiale des humains et leur agencement avec les objets. Le plan papier disposé sur la table, agit précisément comme un objet intermédiaire en tant qu'il opère « *une fonction de cadrage, éventuellement voulue et perçue par les acteurs en présence, acceptée, dénoncée, subie ou négociée par eux selon les cas* » (Vinck, 2009).

Par ailleurs, l'ensemble des activités de coordination : discussion, négociation, organisation, se structurent grâce aux informations contenues dans ce plan. Et c'est précisément sur cet objet intermédiaire que les inscriptions des acteurs s'effectuent (annotations, prises de mesures, signatures, etc.) et lui permettent d'acquérir un sens commun aux yeux de tous. Ce sont précisément ces conventions collectives tacites car transmises par des traditions ou ces inscriptions explicites qui peuvent être considérées comme un « *équipement* » de l'objet et que l'on peut ainsi considérer comme un objet-frontière. Ces équipements de l'objet permettent effectivement qu'un groupe d'acteurs hétérogènes puisse se coordonner, négocier et s'entendre sur des décisions communes. Nous avons ainsi vu que dans le cas de réunion de synthèse sans maquette numérique, le plan était un objet central et structurant des espaces-temps de conception collective. Il s'agit maintenant de comprendre les effets de l'introduction pratique de la maquette synthèse dans ces réunions.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°20, Avril 2017]

1. SYNTHÈSE - Je suis incapable de faire de la synthèse sur du papier. Il me faut une maquette!

3.2.3 La vidéoprojection de la maquette synthèse : un nouveau support de conception collective

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du Grand Projet d'École) —

C'était une vraie problématique car au départ, on n'utilisait pas du tout d'outil 3D en réunion, puisque les maquettes Revit[®] ne sont pas ouvrables en l'état au vu de la taille du projet [...] on [travaillait] plutôt sur des plans papier, puis finalement, on s'est dit non : il faut absolument qu'on trouve un viewer pour pouvoir les visualiser en réunion. On a travaillé le viewer Tekla[®] et Navisworks[®] en fonction des formats qu'on voulait appeler et puis finalement projeté sur une paroi, adjoint éventuellement des plans.

Comment analyser les effets sur le travail de coordination qui s'effectue en réunion de synthèse à travers l'introduction de la vidéoprojection de la maquette ? On peut considérer, dans notre cas que le vidéoprojecteur et la maquette synthèse doivent être compris comme un couple d'objets. En réalité, si la maquette synthèse pouvait se passer de l'ordinateur et du vidéoprojecteur pour être rendue visible à la manière d'une maquette physique ou d'un plan papier, nous n'observerions probablement pas les mêmes effets. Le vidéoprojecteur joue ici le rôle de dispositif de médiation qui permet l'accès à la maquette synthèse. Autrement dit, c'est un dispositif assimilable au fusil de Marey puisqu'il nous donne accès à la maquette synthèse et à la visualisation de son « *vol* ».

Dans un premier temps, nous nous concentrerons donc sur les effets du vidéoprojecteur sur les acteurs et le déroulement des réunions. Dans un second temps, nous nous attacherons à décrire le déroulement d'un « *vol* » dans une maquette et d'en analyser les effets sur les acteurs, le travail et la coordination des réunions.

Lorsque des temporalités collectives de conception et d'ajustement du projet sont implémentées d'objets tels que le vidéoprojecteur et la maquette synthèse, de nouvelles pratiques de coordination et donc de conception sont mises en place. Nos premières observations concernant le vidéoprojecteur et les effets sur les réunions ont déjà permis de montrer le caractère structurant de l'un de ces objets. Il s'agit maintenant d'étudier les effets de la maquette synthèse en nous attachant à montrer en quoi les propriétés de cet objet justifient qu'il puisse être considéré comme un objet frontière.

3.3 Les effets pratiques de l'utilisation de la maquette synthèse sur la coordination des réunions

Rappelons que le vidéoprojecteur n'est qu'un dispositif parmi d'autres de visualisation d'une maquette numérique. En effet, d'autres dispositifs tels qu'un ordinateur et son écran ou encore un casque de réalité virtuelle peuvent aussi être utilisés pour accéder à une maquette numérique. Dans notre cas, c'est surtout la facilité d'utilisation et la démocratisation du dispositif pour les besoins d'un travail collectif qui explique son utilisation. Les observations que nous avons menées démontrent le caractère structurant de ce dispositif. Premièrement, on s'aperçoit que son utilisation par le coordinateur des réunions est un marqueur temporel de changement. Il démontre effectivement que les processus BIM ont été appropriés par l'ensemble des acteurs et que l'activité pédagogique ou d'enrôlement exercée par l'équipe synthèse a fini par porter ses fruits. Rappelons qu'il aura fallu près de six mois entre le début des réunions synthèse, effectuées dans un premier temps sur plan papier uniquement, et la première revue de synthèse s'appuyant sur une maquette projetée. En effet, avant de pouvoir projeter et travailler avec une maquette synthèse il faut : que le processus de travail soit assimilé, que toutes les maquettes métiers aient été transmises dans les temps impartis, que la compilation, la détection des clash et l'analyse aient pu être effectuées, que le viewer BIM puisse lire et afficher sans bugs l'ensemble des modèles importés au format IFC et que ses fonctionnalités permettent le préenregistrement de plages de vues.

3.3.1 La réorganisation spatiale des réunions de synthèse

Lorsqu'on s'intéresse aux effets que peut avoir l'introduction de nouveaux objets à un contexte de réunion, on constate que le vidéoprojecteur occupe une place centrale sur la table. Le dispositif de vidéo projection ainsi que les ordinateurs des acteurs semblent alors reléguer les objets traditionnels de la réunion tels que les stylos, carnets de détails, cahier de notes, feuille d'émargement au second plan. Plus symboliquement, c'est l'utilisation du plan de synthèse qui se retrouve complètement modifié. En effet, le plan, qui était auparavant le support principal de discussion et d'inscription des échanges et des solutions techniques, perd totalement son caractère collectif au profit de la maquette projetée. En pratique et symboliquement, le plan utilisé uniquement par le pilote, se retrouve « *coincé* » entre lui et son propre ordinateur voire devient encombrant (figure 3.12).

De plus, notons que le plan de synthèse est normalement extrait de la maquette numérique ce qui implique qu'une partie des informations qu'il contient sont, a priori, redondantes avec celle qu'il est

possible d'afficher via la maquette projetée. Remarquons néanmoins que c'est sur le plan que Éric inscrit les propositions prescriptions et les modifications à effectuer ou encore que sont apposées les signatures des différents acteurs. Le plan conserve ainsi la propriété d'être un objet contractuel et notamment parce que sur le chantier les ouvriers construisent encore actuellement grâce aux plans et non pas grâce aux maquettes numériques.



FIGURE 3.12 – Le plan de synthèse est « coincé » entre l'ordinateur et le coordinateur de la réunion.

Source: Composition de l'auteur

Ensuite, on peut constater que les propriétés d'utilisation du dispositif de vidéo projection ne sont pas neutres car elles imposent une « orientation » de la réunion en direction du mur où est projetée la maquette synthèse. Le fonctionnement intrinsèque du vidéoprojecteur conditionne ainsi l'agencement spatial des réunions et constitue un « *marqueur spatial et un opérateur d'orientation* » (Vinck, 2009). Les acteurs ne se réunissent effectivement plus aléatoirement autour de la table et ne circulent plus autour du plan de synthèse. Ils font maintenant tous face à la projection de la maquette synthèse. La

réorganisation spatiale des réunions de synthèse peut être décrite de la forme suivante : le responsable de synthèse pilote via son ordinateur la maquette synthèse qui est projetée à l'ensemble des acteurs en présence. Le pilote de la réunion énonce les problématiques qu'il a identifiées et il les fait visualiser à l'assemblée. Remarquons ici que la personne qui manipule la souris et l'ordinateur utilisés pour projeter la maquette concentre le pouvoir relatif à la conduite de la réunion. Ensuite, en fonction des sujets, un architecte ou un acteur rattaché à une entreprise vient apporter son expertise en guidant le pilote et explicitant la formulation de ses recommandations pour résoudre la problématique rencontrée. Il est ainsi courant que l'expert se lève, aille pointer les éléments qui posent problème, propose son analyse et la proposition de résolution en guidant le pilote afin que la solution apportée soit comprise de tous et discutée collectivement (figure 3.13).

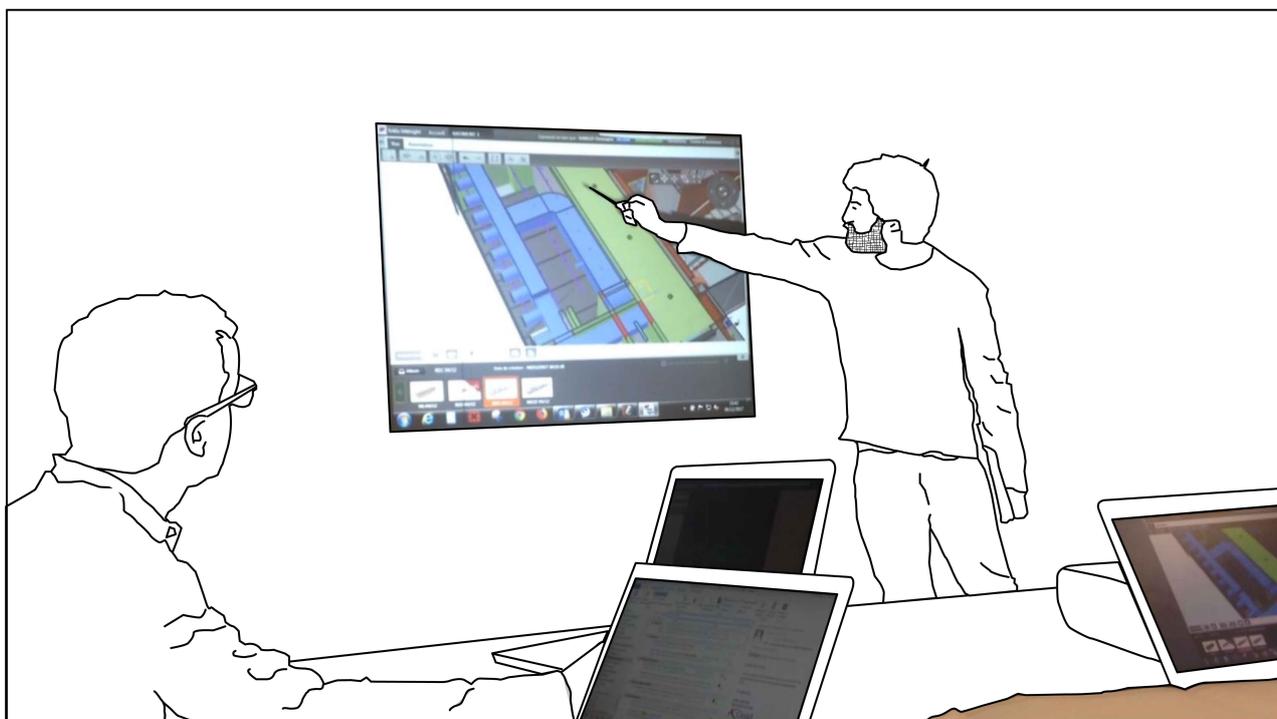


FIGURE 3.13 – Exemple de situation de travail avec une maquette projetée.

Source: Composition de l'auteur

3.3.2 Le changement du point de vue sur le projet

En adoptant un travail avec la vidéo projection de la maquette synthèse, le point de vue sur l'objet et le projet change. Entre le travail avec le plan papier et le travail avec la maquette numérique, il s'opère un changement du même ordre que celui entre la maquette physique et la maquette numérique.

Et comme le fait remarquer un architecte lors de la première réunion avec le vidéoprojecteur : « *Maintenant, on est comme au cinéma* » ! Or puisque les acteurs viennent pointer devant la projection, on pourrait aussi penser que l'on se trouve dans une configuration qui oscille entre le cinéma et la représentation théâtrale. D'ailleurs et sur la question de point de vue entre ces deux situations, Paul Virilio emprunte à Marcel Pagnol la citation suivante « *dans un théâtre, mille personnes ne peuvent s'asseoir à la même place et donc on peut affirmer qu'aucune d'entre elles ne voit la même pièce [...]. L'auteur dramatique doit pour viser son public prendre la canardière et la bourrer de mille plombs de chasse pour frapper d'un seul coup, mille buts différents, tandis que le cinéma, lui, résout le problème puisque ce que voit le spectateur où qu'il soit placé dans la salle, c'est exactement l'image que la caméra a vue* » (Virilio, 1993, p. 93). Dans notre cas, la projection de la maquette numérique et le point de vue proposé est assimilable à la situation de cinéma. En revanche c'est la situation de réunion, elle-même, qui pourrait être assimilée à la représentation théâtrale. Et on peut donc considérer que tous les spectateurs adoptent le même unique point de vue sur la maquette synthèse. Dès lors, a contrario du plan posé sur la table, avec le vidéoprojecteur, toutes les places autour de la table apparaissent équivalentes. Il n'est plus nécessaire de se lever pour visualiser dans le bon sens. L'utilisation du dispositif permet un certain confort puisque chacun peut suivre la réunion et prendre des notes assis depuis sa place. Les acteurs n'ont plus besoin de se tenir debout, de tourner autour de la table afin d'arriver à bien visualiser l'élément du projet qui est discuté.

Cependant, le point de vue collectif sur la maquette projetée et donc sur le projet est choisi par Éric qui pilote la réunion et contrôle la souris d'ordinateur permettant la navigation dans l'objet projeté. Il est alors important de noter que le pouvoir relatif à la maîtrise du point de vue collectif sur la maquette synthèse (et donc sur le projet) s'incarne par la personne qui tient la souris d'ordinateur. C'est principalement Éric, le responsable de synthèse technique qui occupe cette position. Cependant, on remarque que certains acteurs qui maîtrisent l'utilisation de logiciels BIM, sont aussi en capacité de « disrupter » une réunion et d'en prendre temporairement le contrôle. Ainsi, sur la figure 3.14, on remarque qu'un acteur de l'entreprise C, après avoir signalé que la maquette métier qu'il dispose sur son ordinateur est une version plus récente que celle projetée, parvient à « court-circuiter » le rôle du responsable de synthèse, et il pilote alors temporairement la réunion. Ce pilotage s'opère soit en se branchant sur le vidéoprojecteur, soit en montrant la maquette métier sur son propre ordinateur (entraînant alors certains acteurs à se lever). Étant donné que cet acteur expose sa maquette métier et qu'il maîtrise le point de vue, il contraint implicitement les autres acteurs à adopter les points de vue ou éléments du projet qu'il souhaite. Le collectif de professionnels est ainsi obligé d'adopter le système

de référence choisi par l'acteur de l'entreprise C et ils se retrouvent dans une position où ils doivent « se mettre à sa place » (figure 3.14 et extrait de réunion n°31). Celui-ci est alors temporairement en capacité de mener les acteurs vers des zones du chantier qu'il souhaite discuter en priorité mais aussi d'en éluder d'autres. On s'aperçoit alors que contrairement au travail collectif sur un plan de synthèse papier unique, où tous les acteurs se font face, il devient possible de faire porter l'analyse, ne serait-ce que temporairement, sur « sa propre maquette métier ». Or, dans le contexte de projet en chantier où chaque entreprise négocie des marges de manœuvre ou du temps de mise en œuvre, toute asymétrie dans le traitement des problématiques de chantier, peut devenir un avantage. Ainsi, le déplacement de l'analyse de la maquette synthèse par le responsable synthèse vers une maquette métier d'une entreprise offre la possibilité d'une prise de pouvoir, même temporaire et infime, sur le déroulement de la réunion et donc de l'orientation des solutions à mettre en place.

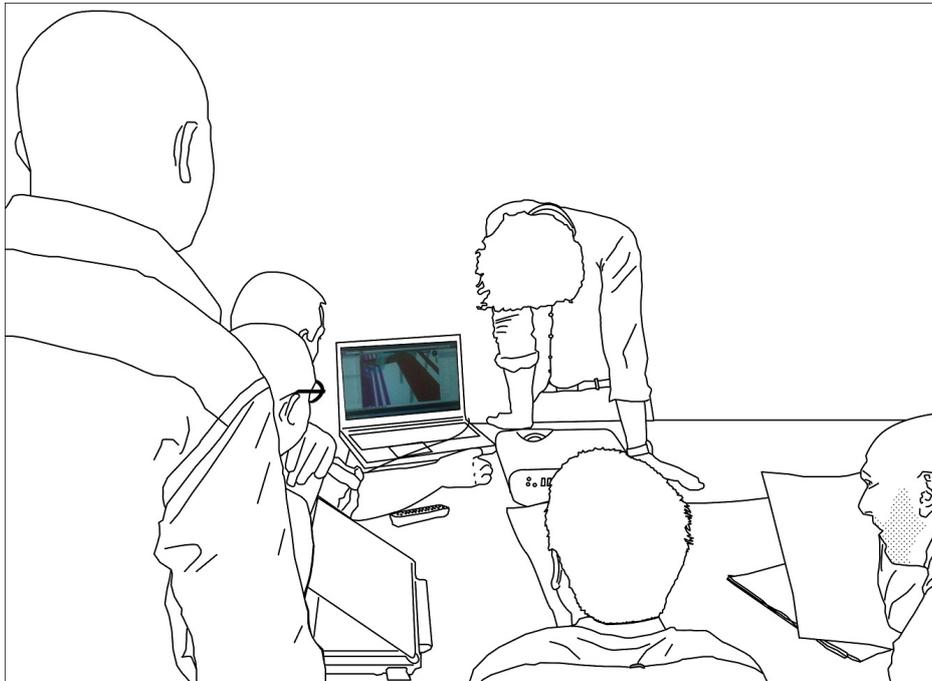


FIGURE 3.14 – Situation de réunion où un acteur pilote sa maquette métier.

Source: Composition de l'auteur

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°31, Juin 2017]

1. SYNTHÈSE - Ce qu'on comprend avec l'écran de [l'entreprise C] c'est qu'il y a un doublon de modélisation de la chambre de tirage. C'est pour ça qu'on ne comprenait pas sur le plan.

3.4 Coordonner les acteurs du projet grâce à l’immersion dans la maquette synthèse

Nous venons de voir que le vidéoprojecteur a des effets multiples sur les situations de coordination collective : réorganisation spatiale, changement de point de vue, reconditionnement des pratiques, modification du pilotage de la réunion, entre autres. Par ailleurs, nous avons aussi signalé que les réunions s’appuyaient traditionnellement sur des objets de représentations statiques et physiques du projet (plans, coupes, carnets de détails). Or la démarche BIM, en introduisant le travail en maquette numérique incite à travailler collectivement avec un moyen de représentation dynamique. Dans notre cas, la maquette synthèse, puisqu’elle mutualise différentes maquette métiers constitue l’exemple le plus complexe de travail et de gestion de maquette numérique. De plus, contrairement aux plans, coupes, détails, carnets de croquis qui sont des représentations statiques, il devient possible de « se déplacer » virtuellement dans le projet grâce à la maquette numérique. Nous noterons qu’en pratique, cette maquette constitue, elle aussi, une photographie du projet à un instant « t » mais l’intérêt de sa représentation est précisément sa capacité à permettre une appropriation dynamique du projet. Le caractère immersif et tridimensionnel doit ainsi permettre aux acteurs de résoudre plus facilement les problématiques rencontrées.

Dans le contexte d’opération de conception que sont les réunions de synthèse, nous montrerons donc que la maquette synthèse peut être considérée comme un objet-frontière. Puis nous tenterons de comprendre comment les propriétés immersives et dynamiques de cette maquette, conditionnent le déroulement des réunions. Et enfin nous verrons comment les acteurs du projet s’approprient ce nouvel objet de représentation en y inscrivant du sens.

3.4.1 La maquette synthèse comme objet-frontière

Pourquoi cette notion d’objet-frontière apparaît-elle pertinente pour caractériser et analyser la maquette synthèse ? Premièrement, les réunions de projet réunissent des groupes d’acteurs qui peuvent être entendus comme des organisations partageant une communauté de pratiques et de savoir-faire (Forgues *et al.*, 2009, p. 49). Il est ainsi possible d’identifier ces organisations en considérant : les architectes comme des concepteurs, les ingénieurs comme des calculateurs, les entreprises comme des constructeurs, etc. Dès lors, les réunions de synthèse peuvent justement être interprétées comme des espace-temps où des acteurs hétérogènes (car appartenant à des organisations ou des mondes sociaux différenciés) doivent se coordonner, et donc concevoir, non seulement pour réaliser le bâtiment mais

aussi pour construire une maquette numérique.

La maquette numérique constitue une frontière dans le sens où elle sépare autant qu'elle relie les utilisateurs et les concepteurs. Ainsi, chacun des acteurs n'a pas à se préoccuper de l'autre et peut se croire le réel auteur de l'action. Ceci nous apparaît d'autant plus vrai que chaque organisation conçoit et construit sa propre maquette métier.

De manière générale les objets circulent d'un acteur à l'autre et chacun est en capacité d'agir ou d'interagir sur ceux-ci. Dans le cas des maquettes métiers, les interactions qui s'exercent sur ces objets contribuent à permettre à des mondes professionnels hétérogènes de se coordonner. Et c'est précisément par le travail sur ces maquettes, leurs circulations, leurs interprétations collectives et les négociations qui s'opèrent à leur propos que la coordination est rendue possible et que le projet évolue. Notons que ces maquettes sont aussi un moyen grâce auquel les acteurs parviennent à communiquer et à se comprendre. Cependant, chaque acteur peut aussi opérer une mise à distance avec les autres acteurs en choisissant de ne pas diffuser sa propre maquette métier à l'ensemble des professionnels. Ceci lui permet de garder une forme d'autonomie et de contrôle par rapport à ses propres activités. Paradoxalement, la maquette synthèse, en tant que compilation ou assemblage de toutes les maquettes métiers est à la fois familière et étrangère à chacun des acteurs. Et c'est bien en ce sens qu'elle constitue un type de maquette d'autant plus intéressant.

3.4.2 La fabrication collective de la maquette synthèse

S'intéresser à l'élaboration d'une maquette numérique induit nécessairement une part de modélisation numérique. On peut alors se poser la question de la place que prend la modélisation ou la capacité à manipuler des maquettes dans les nouvelles configurations d'un projet BIM ? Lorsque des professionnels de compétences différentes doivent interagir autour d'un même objet, il existe initialement peu d'éléments communs entre les visions et les interprétations des uns et des autres. Comme le rappelle Dominique Vinck (Vinck, 1999c) il est nécessaire que l'objet puisse être saisi par chacun au sein de son propre système de référence lié à son monde professionnel (Brandt, 2007). Ce qui importe alors c'est que « *chacun puisse se ressaisir de l'intervention des autres [...] [et] vérifie pour lui-même l'acceptabilité des solutions. La convergence du processus de conception entre plusieurs acteurs peut alors être assurée sans qu'à aucun moment tous les acteurs voient la chose de la même façon* ».

Concernant les réunions de synthèse il n'est pas nécessaire que tous les acteurs disposent d'une compétence de modélisation pour pouvoir travailler avec une maquette. Il est aussi possible de participer

et échanger à propos de son élaboration ou au sujet des informations qu'elle contient. Cependant, les acteurs ayant préalablement acquis la compétence de modélisation ou la capacité d'utiliser un logiciel BIM disposent d'une palette d'argumentation plus large quant aux défis que représente la coordination du projet. Cette distribution inégale de l'accès à la manipulation des maquettes engendre une asymétrie des rapports entre acteurs face à l'appropriation au projet. Comme évoqué précédemment, cette compétence de modélisation autorise ainsi une prise de pouvoir de certains acteurs sur d'autres comme avec l'exemple de l'acteur de l'entreprise C qui « court-circuite » temporairement le pilotage de la réunion (figure 3.14).

De plus, ces compétences constituent un avantage discursif important lorsqu'il s'agit de négocier l'avancement d'une tâche par rapport à une autre dans la fabrication de la maquette numérique et donc du projet. Dans le cas du *Grand Projet d'École*, on observe ainsi que des acteurs non dotés de compétences de modélisation se retrouvent temporairement exclus de certaines conversations liées à la construction de la maquette numérique. Certains verbatim recueillis lors de différentes réunions de synthèse BIM sont à ce sujet ainsi assez révélateurs : « *Moi, je ne sais pas faire ce machin-là* » ; « *moi je ne sais pas* » ; « *C'est en Revit® ? Vous parlez de Revit® ? Alors moi je ne peux pas dire...* » ; « *Vous refaites une maquette ? Là, moi, ça me dépasse complètement* » ; « *Mais vous ne pouvez pas le faire ça avec votre machin ? Enfin avec le BIM quoi* » ; « *Il faut regarder ça sous Revit® donc moi je ne peux pas te dire* ».

On observe chez ces mêmes professionnels une déconcentration qui se matérialise par la consultation de leurs téléphones, leurs emails et certains en profitent même pour demander à prendre l'air ou aller aux toilettes. L'exclusion même temporaire de ces acteurs aux débats liés à la construction de l'objet numérique a pour conséquence d'augmenter leur discrédit et opère aussi une mise à distance de certaines prérogatives liées à la construction du bâtiment et donc du chantier. Enfin, si l'activité de modélisation n'est pas nécessairement une compétence commune à l'ensemble des acteurs impliqués dans la construction du projet, elle constitue cependant une compétence cruciale. Comme nous l'avons déjà signifié avec l'exemple de l'équipe synthèse mais aussi avec celui de Léonard, le référent synthèse de l'entreprise A qui s'est formé via un Master BIM, il existe une tension forte entre compétence de modélisation (ou maîtrise de logiciels BIM) principalement détenue par de jeunes professionnels et expérience pratique de la construction (chantier).

Enfin, concernant la modélisation d'une maquette numérique, Nicolas, architecte de la grande agence d'architecture nous rappelle que la capacité à construire une maquette numérique de qualité ne

se mesure pas à l'aspect géométrique du modèle mais aussi et surtout à la manière dont est structurée et organisée la donnée qui lui est rattachée. Il signale ainsi : « *la qualité d'une maquette n'est pas donnée par son aspect extérieur. Pour savoir si une maquette est bien réalisée, tu dois entrer dedans, regarder la structure du projet, vérifier comment sont construites les familles* ». Ses propos rejoignent ici ceux de Laurence lorsqu'elle évoquait la pratique des jurys du BIM World qui doivent entrer dans les maquettes pour en vérifier la qualité. Dès lors, l'organisation et la structuration de la donnée constitue une branche nouvelle dans le travail à réaliser avec la démarche BIM. Retenons principalement au sujet des réunions de synthèse que la capacité à utiliser un logiciel BIM devient une compétence indispensable pour participer activement à la construction de la maquette numérique et donc du projet dans son ensemble.

3.4.3 La couleur comme outil de repérage spatial dans la maquette synthèse

Pour en revenir au travail qui a lieu en réunion de synthèse technique, c'est un travail de coordination basé sur la maquette synthèse qui est une compilation des maquettes métiers. Les activités de modélisation ayant déjà eu lieu dans les phases de travail distribué, lors des réunions, il s'agit de vérifier les implantations et donc la concordance géométrique de chacune des entreprises. On se rend rapidement compte qu'il n'existe pas de conventions de représentation prédéfinies ou normées concernant l'assemblage de ces maquettes métiers et de nouveaux ajustements se font ressentir. Par comparaison aux traditionnelles pièces graphiques mobilisées (plan, coupe, croquis, détail, perspective) pouvant se satisfaire d'une représentation en noir et blanc car associée à une codification précise (épaisseur de trait, pointillés, cartouche, texte, nuage...), la représentation de la maquette synthèse ne peut pas se passer d'un certain polychromatisme pour pouvoir être aisément interprétée (figure 3.15 et figure 3.16). D'ailleurs pour Jérôme Guéneau (Gueneau, 2019, p. 8) le travail sur la maquette numérique entraîne « *la perte du plan [comme] support de représentation* ». Il s'agit alors de faire un « *travail sur un objet singulier sorti de toute échelle de référence flottant dans l'infini du support numérique* ».

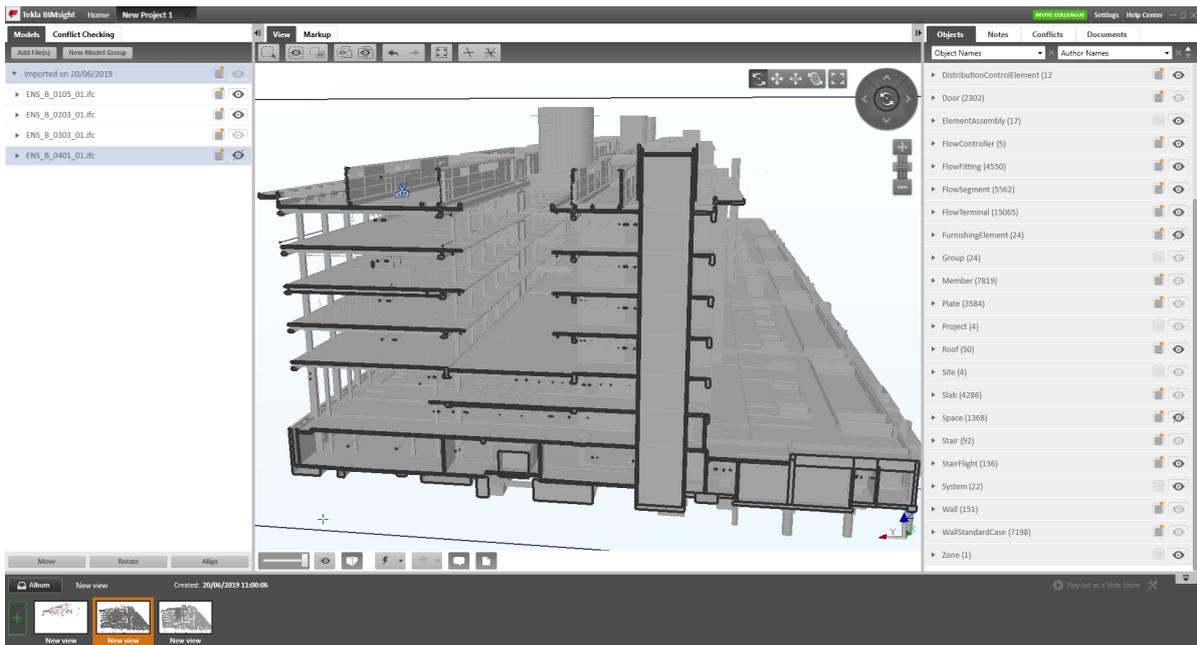


FIGURE 3.15 – Compilation d’une maquette synthèse avec quatre maquettes métiers réalisée sous Tekla®. Visualisations en pages de gris.

Source: Extrait d’une maquette numérique du *Grand Projet d’École*

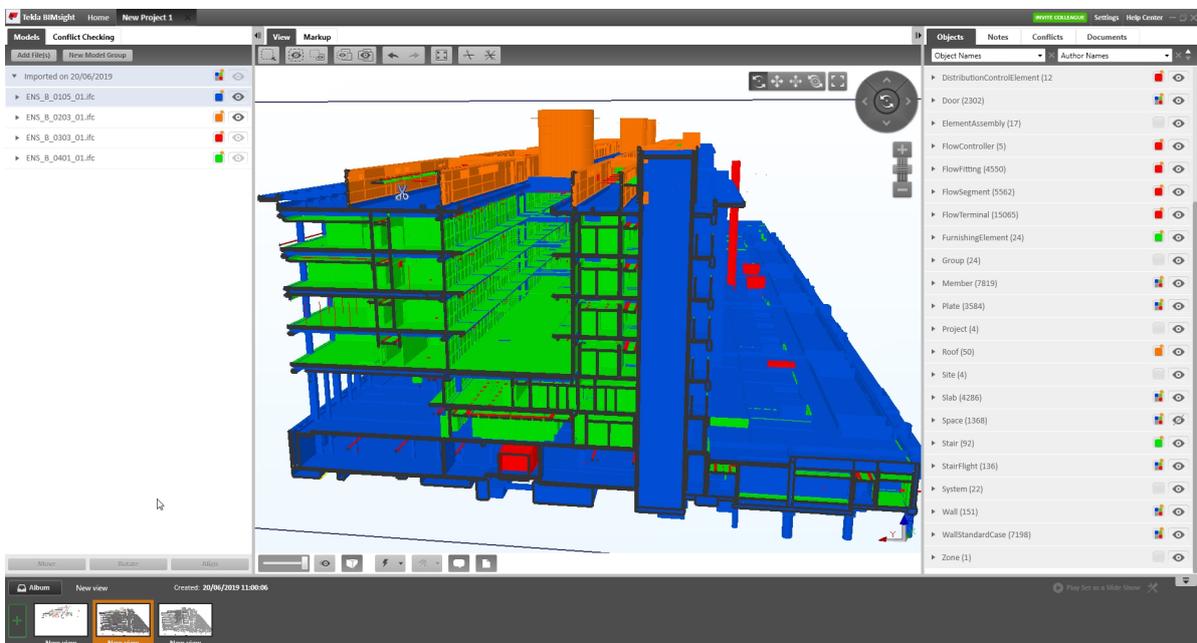


FIGURE 3.16 – Compilation d’une maquette synthèse avec quatre maquettes métiers réalisée sous Tekla®. Visualisations avec une couleur par corps de métier.

Source: Extrait d’une maquette numérique du *Grand Projet d’École*

Il faut préciser que ces extraits (figure 3.15 et figure 3.16) ne constituent qu'une des plages de vue « statique ». Les images extraites ne rendent ici pas compte de toute la complexité (visuelle, géométrique, cognitive) due au caractère dynamique qui est en jeu lorsque l'artefact est réellement manipulé, visualisé et interprété par les personnes en présence. Ainsi, en phase d'immersion collective, les plages de couleurs constituent des « prises » (Bessy & Chateauraynaud, 2014) qui structurent un référentiel de signalétique visuel commun. Ces prises facilitent la lecture et la navigation au sein de l'artefact en construisant des repères capables de dénouer les complexités inhérentes au point de vue sans cesse mouvant proposé par le pilote.

Lorsque les professionnels mettent en place une charte de couleurs pour dissocier les maquettes métiers et donc les organisations professionnelles qu'ils représentent, ils « *produisent du sens, de l'information et des conventions qu'ils inscrivent dans la matière* » (Vinck, 1999c). Les couleurs permettent à la maquette synthèse d'acquérir une nouvelle codification et leur utilisation fonctionne alors comme un « *équipement* » de la maquette. L'objet intermédiaire est ainsi « *équipé* » et peut être considéré comme un objet-frontière. En apposant à l'objet leurs propres représentations et conventions, les acteurs construisent un nouveau langage. Pour Daniel Forgues (Forgues *et al.*, 2009), la construction et « *l'achèvement d'un niveau syntaxique commun dans lequel un langage commun [...] établi et accepté par les communautés afin de partager les connaissances* » est significatif qu'une innovation est à l'œuvre. Dès lors, si l'analyse qui porte sur les couleurs des maquettes semble être un simple détail graphique, il supporte néanmoins des enjeux de différents ordres : désigner symboliquement des professions et des acteurs, traduire des responsabilités de travail mais aussi favoriser la communication et la coordination collective et donc la conception.

3.4.4 Les couleurs comme outil d'identification des professionnels du projet

L'utilisation de la couleur dans une maquette synthèse pose doublement question. En effet, le caractère polychromatique de cet artefact interroge d'une part la représentation qu'il véhicule à ses observateurs et aux effets que peuvent avoir l'utilisation de ces couleurs. D'autre part, on observe un réinvestissement socialement partagé des couleurs des maquettes métiers comme un moyen d'identifier les entreprises concernées par les problématiques de chantier évoquées. Si l'utilisation de la couleur est un moyen de faciliter la navigation et l'interprétation cognitive des espaces et objets modélisés, dans la pratique la sur-utilisation de couleurs peut aussi engendrer des malentendus.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°50, décembre 2017]

1. SYNTHÈSE - Ici, le plombier est en magenta. Je vois que [l'entreprise A] a fait le job de récupérer ses réseaux.

[Il montre avec le pointeur de la souris des éléments en bleu. Il clique et tourne autour du modèle 3D.]

Là par contre, on a un clash, il y a un réseau qui sort sous l'escalier.

ENTREPRISE C - Non, je pense que ce problème est réglé. Il y a une FTM^a qui est partie sur le sujet.

[En aparté, un acteur signale à un autre acteur : Tout ce qui est en rose c'est donc le plombier?]

SYNTHÈSE - Le cadre blanc ici, c'est quoi?

ARCHITECTE - Mmmmm... C'est la structure du laboratoire.

ENTREPRISE A - Et en violet c'est quoi déjà? L'[entreprise H]?

SYNTHÈSE - Non, tout ce qui est en magenta, c'est à toi [l'entreprise C]!

ENTREPRISE X - Et la cloison fuchsia, elle n'apparaît pas? C'est pourtant toi le fuchsia non?

[Réunion n°50 bis, décembre 2017]

1. SYNTHÈSE - Tout ce qui est en bleu c'est à toi là?

ENTREPRISE A - Oui, oui c'est moi en bleu.

[Réunion n°65, Mars 2018]

1. SYNTHÈSE - La maquette bleue, c'est l'ancienne. La verte, c'est la nouvelle.

ARCHITECTE - Non, la verte, c'est la mienne. C'est ma maquette la verte.

SYNTHÈSE - Non la tienne je ne l'ai pas changée de couleur... Attends, je la charge.

[Il ouvre son navigateur internet, va chercher sur la GED la maquette architecture, la télécharge puis actualise les liens de la maquette de synthèse.]

SYNTHÈSE - Voilà, maintenant en blanc tu as ta maquette!
C'est mieux?

a. Fiche Travaux Modificative

Pour le *Grand Projet d'École*, l'attribution chromatique des maquettes métiers n'ayant pas fait l'objet d'une charte un d'un consensus préalable, le choix d'association couleurs/maquette-métier revient à Éric, le pilote de la réunion. D'ailleurs, l'absence d'un référentiel colorimétrique clairement identifié se fait ressentir lorsque les acteurs rappellent par exemple : « *Le violet c'est quoi déjà ?* » ou « *Non, la verte c'est la mienne. C'est ma maquette la verte* ». Cette absence de référentiel de couleurs constitue un nouveau facteur de malentendu et d'incompréhension entre les acteurs. En cas de fort doute, il devient nécessaire d'effectuer des vérifications complémentaires (visualisation des propriétés de la maquette métier, téléchargement de la dernière maquette mise à jour, actualisation des liens) afin de s'assurer que les négociations s'appuient sur les « *bonnes* » maquettes et s'effectuent donc entre les « *bonnes* » entreprises.

Ces types de malentendus entraînent des difficultés d'interprétation de la maquette synthèse mais ils ne sont pas uniquement dûs aux propriétés colorimétriques mais aussi la navigation « dynamique » que nous approfondirons plus loin. Par ailleurs, il semble évident que d'autres facteurs tels que la taille du projet, le nombre d'entreprises impliquées, le nombre de maquettes et d'objets modélisés qui est de l'ordre du milliard pour le *Grand Projet d'École* ou la complexité géométrique et technique de certains détails, peuvent aussi favoriser les malentendus.

Si la présence d'une multiplicité de couleurs peut rendre la coordination plus difficile, elle offre aussi l'avantage de faciliter l'identification des corps de métiers impliqués dans une problématique de chantier donné. En effet, dans un contexte d'utilisation d'un outil de représentation dynamique et non standardisé (pas d'échelle de représentation, pas de référentiel de couleurs, utilisation de points de vue arbitrairement définis) les couleurs des maquettes métiers permettent aux observateurs de se situer virtuellement les uns par rapport aux autres : « *Tout ce qui est en rose c'est donc le plombier* » ; « *oui, oui c'est moi en bleu* » ; « *Non, tout ce qui est en magenta, c'est toi [...]* ».

Dans l'élaboration d'un projet industriel, Dominique Vinck (Vinck, 1999a) rappelle que ce qui importe avec la maquette alors c'est que « *chacun puisse se ressaisir de l'intervention des autres [...]*

[et] vérifie pour lui-même l'acceptabilité des solutions. La convergence du processus de conception entre plusieurs acteurs peut alors être assurée sans qu'à aucun moment tous les acteurs voient la chose de la même façon ». A travers ces nouvelles désignations et autodésignations du type sujet-couleur, il s'opère, grâce à la couleur, une appropriation de la maquette synthèse par les professionnels. Ces nouvelles associations construisent une « métaphorisation des professions » à l'image du « plombier-rose » ou de « l'architecte-vert ». Ce faisant, les acteurs identifient au travers de la maquette numérique un corps de métier et donc une entreprise responsable par la combinaison profession-couleur plutôt que de cibler un individu unique. La réappropriation profession/couleur explique aussi la nécessité de vérifier la correspondance des couleurs des maquettes en cours de réunion afin d'assurer que les négociations entre les entreprises concernées s'appuient sur les bons éléments modélisés.

3.4.5 S'approprier le projet en « volant » dans la maquette synthèse

Comme le rappelle Éric lors d'une réunion de synthèse, « la difficulté c'est que le point de vue n'est pas maîtrisé ». Et malgré l'aide de la polychromie, il n'est pas rare que le repérage au sein de la maquette synthèse demeure difficile : « On est où là ? » ; « Attends, je suis perdu là, je dézoome un peu » ; « [Éric] tu fais face à quoi là ? Je crois que tu es dans un mur là. Ou alors une armoire ».

Ce jour-là, je ne suis pas le seul observateur dans la réunion de synthèse technique. Françoise, la représentante de l'entreprise qui déploie la GED vient aussi assister à la réunion. L'objectif est qu'elle puisse mesurer l'utilisation pratique qui est faite des maquettes afin de comprendre et adapter le service de GED. De façon très pédagogique, Éric, accompagne une grande partie de la réunion de commentaires destinés à la nouvelle observatrice.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°50, décembre 2017]

1. SYNTHÈSE- On a fait le choix de montrer la maquette synthèse sous Revit[®] alors que Tekla[®] a un rendu visuel assez bon. On fait du BIM là, ce qui est bien c'est qu'on peut se balader dans la maquette numérique.

ARCHITECTE- C'est super! Maintenant, on est comme au cinéma!

SYNTHÈSE- Cela ne nous empêche pas d'avoir des plans extraits de cette maquette [...]. Là, le problème c'est que je tra-

vaille sous Tekla[®] et mon équipe, elle avance dans la mise à jour des maquettes [...]. Tu vois Françoise, moi je fais la synthèse, je note sur mon plan, je scanne puis je l'envoie aux concernés. Malheureusement Tekla[®] ne me permet pas de faire des annotations. Ce qui serait super c'est si je pouvais faire des annotations directement depuis Tekla[®] qui est mon interface. Puis envoyer directement par e-mail aux collaborateurs. Ça, ça se serait super!

Cet extrait montre que les pratiques de travail du responsable de synthèse sont en cours d'évolution. Attardons-nous dans un premier temps sur l'énoncé d'Éric : « *ce qui serait super c'est si je pouvais faire des annotations directement depuis Tekla[®]* ». Pourquoi ce besoin d'annotation numérique lui est-il si important ?

Premièrement remarquons que l'annotation de la maquette permet là encore, d'inscrire du sens dans l'objet. Il s'agit, tout comme la mise en place de couleurs, d'un travail d'équipement de l'artefact (Vinck, 1999c). Ensuite, considérons la chaîne d'action qu'il effectue avant, pendant et après la réunion de synthèse pour transmettre les annotations et les indications qu'elles représentent aux entreprises. Avant la réunion, il exporte depuis son logiciel BIM le plan de synthèse en pdf et l'imprime sous format papier. Il transporte le plan de synthèse et l'annote lors de la réunion. Après la réunion, il scanne, télécharge puis envoie par mail ou dépose sur la GED le plan synthèse annoté. L'ensemble des actions mises bout à bout constituent une chaîne du type : « *exporte* » ; « *imprime* » ; « *transporte* » ; « *annote* » ; « *scanne* » ; « *télécharge* » ; « *envoie* ». Ici toutes les tâches arrivant avant ou après l'action « *annote* » ne sont que des actions de support. Elles permettent en particulier que l'annotation en situation de conception collective puisse se faire et que les informations annotées soient rendues disponibles à tous. Aussi, lorsqu'Éric émet le souhait de pouvoir directement annoter la maquette synthèse sur son logiciel BIM, il souhaite en réalité réduire la précédente chaîne d'actions à : « *annote* » et « *diffuse* ». A travers cet exemple, on s'aperçoit que l'utilisation de la maquette synthèse offre alors la perspective de mutualiser ou d'automatiser des actions qui n'étaient rendues possibles que par l'utilisation de multiples dispositifs : ordinateur, imprimante, stylo, scanner, et qui se réduiraient avec l'implémentation d'une fonction annotation dans le logiciel BIM à l'utilisation d'un seul outil.

Dans un second temps, il convient de noter que « *se balader dans la maquette numérique* » devient une nouvelle activité collective de synthèse. Et, à la manière d'un guide, les « *balades* » proposées par le responsable de synthèse s'accompagnent généralement d'une analyse à haute voix de ce qu'il voit :

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°51, décembre 2017]

1. SYNTHÈSE- Ici, tu pourrais être un peu plus bas. Là, tu vois, « paff », tu te tapes la longrine avec ton tuyau. Pour éviter la longrine, il faut baisser ton réseau et toi [à l'entreprise A] il faut que tu approfondisses ton carneau.

[Il continue l'examen de la maquette en naviguant dedans. Change de point de vue. Zoom puis dézoome. Tourne autour des objets modélisés. Cache certaines maquettes...]

SYNTHÈSE- Ton numéro de maquette c'est quoi déjà?

ENTREPRISE C- Je ne l'ai pas en tête...

SYNTHÈSE- Ok, je vais regarder sur la GED.

[Il ouvre le navigateur internet, se logge sur la GED et consulte les dernières maquettes mises à jour sur la GED.]

SYNTHÈSE- C'est la 10023, je l'importe dans le modèle et je me cale sur la rase inférieure de ta modélisation.

[Il continue la navigation dans la maquette puis pointe avec la souris et déclare.]

SYNTHÈSE- On imagine que les réseaux ne sont plus là. Le chemin de câble du haut descend de 20. Celui du bas, là, il se colle à l'autre, celui-là. Il me semble qu'il y a largement la place. Bon et ensuite, c'est quoi le problème? La CVC ça vous convient?

Éric entraîne avec lui l'ensemble des acteurs de la réunion dans une navigation numérique. On assiste à un « *vol* » dans la maquette synthèse. Il est le pilote et la souris d'ordinateur son volant. Ce type de « *vol* » numérique n'est pas une nouveauté et les architectes y sont d'ailleurs largement habitués avec les logiciels de conception. Dominique Vinck se référait déjà à cette pratique à propos des activités de conception dans le monde industriel (Vinck, 1999a) et rappelait de manière critique que « *voler à travers la scène et/ou à travers l'objet [...] n'apprend rien à l'utilisateur sur l'objet et ses contraintes, contrairement au déplacement physique. Autrement dit, avec une maquette physique, se déplacer ne signifie pas seulement passer d'un point à l'autre mais accomplir et appréhender l'objet à partir du mouvement même et de l'effort de déplacement* ». Dès lors, le vol numérique constituerait

une perte dans le passage de l'examen d'une maquette physique à une maquette numérique. Mais le « *vol* » effectué par le responsable de synthèse n'est pas uniquement un « *vol* » de conception. Il ne s'agit pas de « *visiter* » un espace virtuel, pour en évaluer les proportions, la forme, les volumes ou encore de produire des rendus. Dans le contexte d'une réunion de synthèse, il s'agit d'identifier des problématiques d'interfaces entre les entreprises et de les résoudre. En réalité, le « *vol* » de synthèse n'est donc pas une balade. C'est un « *vol* » qui sert à diagnostiquer les problématiques et à préconiser des recommandations et des solutions. C'est un « *vol* » pragmatique voire chirurgical qui demande à être le plus efficace possible.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°51, décembre 2017]

1. SYNTHÈSE- C'est vrai qu'avec le BIM on voit tout [...]! Quand on regarde ça et qu'on met le nez dedans on comprend tout [...]!

SYNTHÈSE- Vous vous rappelez? On avait fait passer les réseaux par là.

[Éric montre les réseaux avec le curseur de sa souris.]

SYNTHÈSE- Maintenant ils sont dans cette pièce. On revient par-là, on entre ici, on passe par le plenum et on ressort par là.

[En même temps qu'il se déplace dans la maquette, Éric continue son diagnostic. Le « *vol* » opère, on voit l'espace du sous-sol sous le niveau 1 du bâtiment 1. On voit les réseaux, les dessous de plafond de l'architecte en jaune, les gaines d'aération en bleu, les tuyaux en rose, la structure en blanc. Il tourne autour. Rentre dans le plancher. Ressort, traverse les murs. Dézoome.]

SYNTHÈSE- Ici les croisements entre réseaux ont l'air de plutôt bien se passer.

[L'ensemble des acteurs de la réunion acquiescent]

Enfin, il faut noter que cette nouvelle activité de « *vol* » n'est pas un « *vol* » individuel mais un « *vol* » collectif. Et c'est au cours du déplacement virtuel proposé par le responsable de synthèse que le pilote mais aussi les voyageurs embarqués identifient, diagnostiquent, analysent et résolvent à la

volée les différentes problématiques techniques qu'ils visualisent au cours du « *vol* ».

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°51, décembre 2017]

1. ENTREPRISE X- Cette réservation est curieuse.

SYNTHÈSE- Attends, je vais ouvrir la maquette. [Il ouvre une nouvelle maquette à partir de la GED.]

ENTREPRISE X- Je pense que sur notre maquette 303 quelque chose n'est pas dessus. C'est pour ça qu'on ne voit pas les fourreaux.

ARCHITECTE- C'est quoi là ce carré qui chevauche?

[Éric effectue un clic droit sur le carré. Option. La liste des informations de l'objet apparaît. Il lit.]

SYNTHÈSE- C'est un surpresseur.

ENTREPRISE A- Ah oui, bien sûr il est à cheval sur deux pièces. Il faut le déplacer ou bien je ne peux pas couler mon mur sinon! Tu peux aller un peu plus sur la droite?

[Le pilote se déplace vers la droite dans la maquette.]

ENTREPRISE A- Non à gauche... un peu plus loin... Là, sur le local attenant, là où tu étais!

[Le pilote déplace encore le point de vue sur la maquette. Il utilise l'outil de découpe virtuelle. Il coupe le bâtiment et le déroule. Il zoome, dézoome, se redéplace.]

ENTREPRISE A- Voilà, là!

[L'acteur de l'entreprise A montre du doigt une zone sur la projection de la maquette synthèse.]

En façade, moi j'ai une zone pour la cuve à fioul. Mais il n'y a rien de modélisé à ce jour. Quel est le lot qui doit l'alimentation?

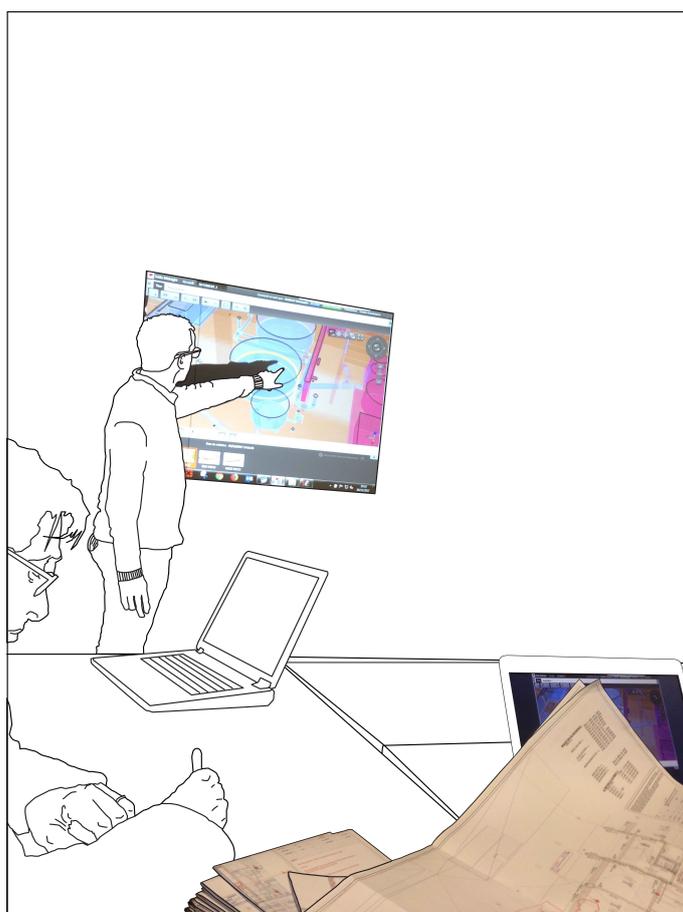


FIGURE 3.17 – Le porte-parole d’une entreprise commande le pilotage de la maquette synthèse et effectue un « *diagnostic spontané* » relatif à son corps de métier.

Source: Composition de l’auteur

Pour passer en revue les différentes problématiques, Éric préenregistre des plages de vues : des « *points de vue* » sur la maquette synthèse (figure 3.18) et se « *téléporte* » ainsi de sujets en sujets. L’ensemble de ces plages de vues constituent alors un guide ou « *un plan de route* ». Chaque plage de vue représente un point de vue sur la maquette et donc sur le projet. En cliquant sur une nouvelle plage de vue, le pilote « *rejoint* » automatiquement un nouveau problème qu’il faut résoudre. Ainsi, on passe instantanément de la résolution de l’évacuation d’eaux de pluie sur la partie toiture à la problématique d’une hauteur de plenum insuffisante dans les sous-sols. Le passage d’une plage de vue à l’autre a alors un effet structurant pour la réunion car il marque l’avancement de la réunion. Et lorsque toutes les plages de vues ont été passées en revue cela signifie (en théorie) que l’ensemble des sujets destinés à être discutés lors de la réunion ont été abordés et traités.

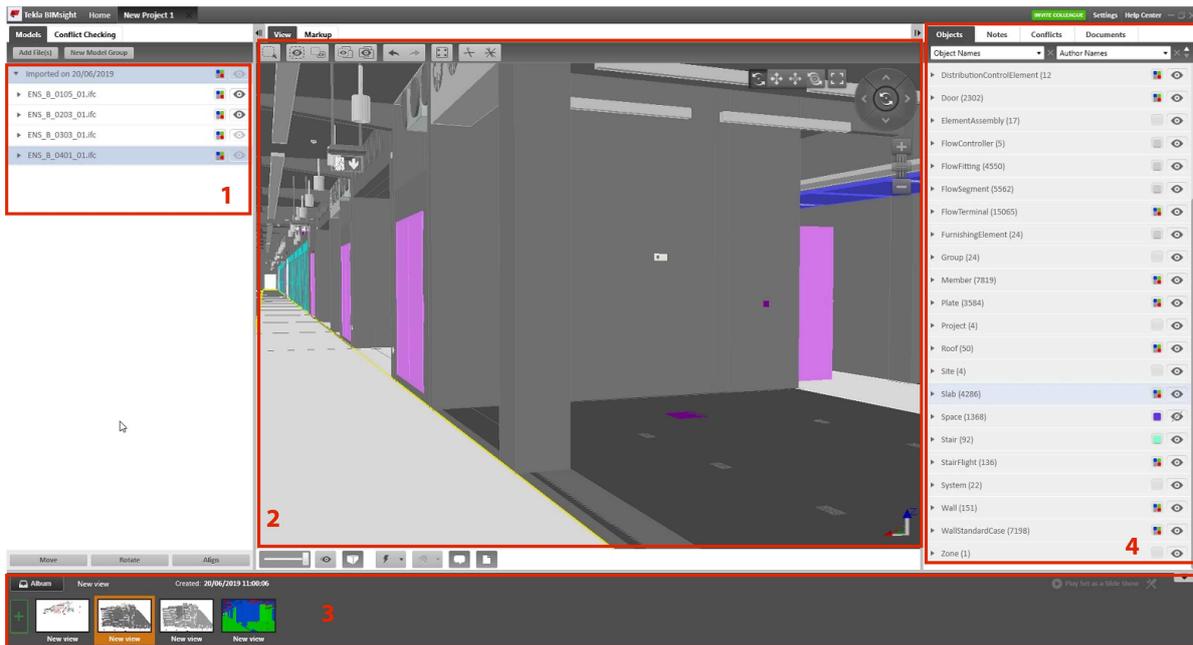


FIGURE 3.18 – 1) Liste des maquettes métiers chargées ; 2) Écran de navigation dans la maquette synthèse ; 3) Barre de raccourcis vers les pages de vues préenregistrées ; 4) Liste des objets présents

Source: Extrait d'une maquette numérique du *Grand Projet d'École*

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°67, décembre 2017]

1. ENTREPRISE A- Tu peux monter là?

[Il montre du doigt la projection. L'acteur se lève spontanément et se place près de la projection et désigne la zone où il souhaite intervenir.]

ENTREPRISE A- Et maintenant dézoomer un petit peu?

[Le pilote dézoome.]

ENTREPRISE A- Il y a une troisième attente ici.

[Le pilote tourne autour du local en suivant les départs et les arrivées des différent tuyaux.]

ENTREPRISE A- Attends, non, reviens de l'autre côté.

[Le pilote, navigue et tourne autour de la pièce. L'acteur de l'entreprise A poursuit alors son diagnostic.]

ENTREPRISE A- Oui, on voit bien qu'il y a trois attentes. Et donc trois siphons non raccordés. Il faudra que [l'entreprise C] fasse attention.

Au cours des réunions, on se rend compte que l'immersion dans la maquette synthèse est intrigante. On vole de sujet technique en sujet technique. Une vingtaine de problématiques sont ainsi abordées et en partie résolues. D'une certaine façon, la maquette synthèse est utilisée comme un moyen de transport qui aide à traverser la complexité architecturale et technique du projet pour en examiner précisément les problématiques d'interfaces entre les entreprises. Cependant, le « *vol* » et la navigation collective autorise aussi de nombreux détours. Soit parce qu'un acteur se « *perd* » dans la navigation : « *attends, tu peux dézoomer ? Là, je suis perdu. On est où là ? Quelle zone ?* ». Soit parce qu'un acteur se saisit « *à la volée* » d'un sujet qui lui est propre et sur lequel il souhaite partager son expertise.

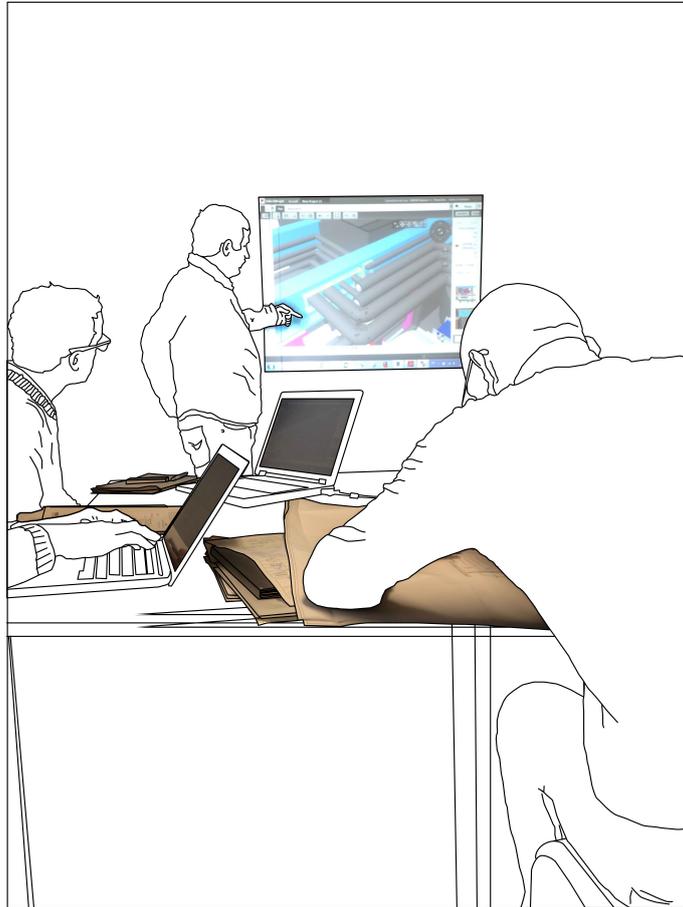


FIGURE 3.19 – Le porte-parole d'une entreprise apporte son expertise sur une problématique technique.

Source: Composition de l'auteur

Conclusion

Nous venons, par une plongée ethnographique au cœur du chantier du *Grand Projet d'École*, de décrire et analyser une partie des effets qu'impliquent la « fabrication » collective de la maquette numérique en situation de projet.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de restituer la complexité liées à la recherche d'indices et de traces inhérentes à la fabrication de maquettes numériques. En effet, à la différence d'un objet physique, vouloir étudier un objet numérique demande un appareillage ou un dispositif de visualisation qui n'est pas nécessairement donné d'emblée et qui s'incarnera dans notre cas d'étude par l'introduction du vidéoprojecteur aux réunions de synthèse.

Dès lors, pour analyser et comprendre comment se transforment les situations de conception collective lors des réunions de synthèse, nous nous sommes attaché à comprendre l'importance que prennent les objets dans ces espaces-temps dans la structuration des rapports de travail. On constate alors qu'avant le travail avec la maquette synthèse, les réunions étaient structurées autour du plan de synthèse et, après l'introduction de la maquette synthèse (et du vidéoprojecteur), les réunions adoptent un nouveau dispositif de coordination dont les propriétés et les normes reconditionnent le déroulement du projet.

Aussi, pour mieux comprendre comment les acteurs se saisissent de ce nouvel objet de projet, nous avons analysé la manière dont les acteurs s'appropriaient la maquette synthèse. En loccurence nous avons pu identifier un processus d'« équipement » de la maquette synthèse qui consiste à lui ajouter de nouvelles conventions telles que la définition de couleurs pour désigner des maquettes métiers et donc des responsabilités. En équipant ce nouvel objet de coordination, les acteurs confèrent collectivement du sens dans l'objet. Ce type de mécanisme leur permet non seulement de s'approprier cognitivement l'objet mais c'est aussi une manière de redessiner, à travers la maquette synthèse, les responsabilités de chacun des professionnels. De plus, nous observons aussi que la maquette, utilisée comme objet de représentation du projet, n'a plus rien à voir avec les traditionnels documents 2D. En effet, le caractère dynamique rendu possible par la visualisation 3D offre la possibilité de « *vol* » collectif dans l'artefact. Cette nouvelle activité, puisque dynamique s'oppose alors à la précision statique des plans, coupes, détails ou perspectives analysés en deux dimensions. D'ailleurs, cette rupture dans la production et l'utilisation d'éléments graphiques du projet pourrait, à terme, mettre en péril l'intérêt des plans, coupes, détails, questionnant par la même occasion l'expertise des architectes.

Enfin, nous nous sommes intéressé aux effets d'organisation pratique qu'engendraient l'introduction de nouveaux objets aux réunions de synthèse. L'utilisation du vidéoprojecteur et de la maquette synthèse ont effectivement pour conséquence de réorganiser spatialement l'espace-temps des réunions. Cette réorganisation autorise les différents acteurs à disputer de nouvelles places mais aussi l'autorité et le pilotage de ces réunions. De même, le caractère dynamique d'interprétation de la maquette synthèse entraîne une évolution du point de vue sur le projet. Or les points de vue qu'autorise l'utilisation de la maquette synthèse sur le projet ne sont ni normés ni collectivement prédéfinis. Dès lors, on observe qu'il devient possible de « court-circuiter » le déroulement des réunions en proposant un point de vue inédit sur le projet car issu d'une maquette métier encore non diffusée au collectif et donc n'étant pas compilée dans la maquette synthèse. Ce type d'évènement déplace alors la responsabilité dans la conduite des réunions et modifie les rapports de pouvoir entre les différents acteurs.

A travers l'observation pratique des réunions de synthèse, nous avons pu voir dans ce chapitre comment la fabrication de la maquette numérique affecte la coordination, l'organisation et redistribue les rapports de pouvoir entre les acteurs. Il s'agit maintenant de comprendre comment cela affecte les acteurs dans leurs activités et leurs expertises mais aussi comment, l'usage de la maquette numérique, une fois le bâtiment livré, modifie les perspectives du projet architectural.

Chapitre 4

Construire une maquette numérique entre évolution des pratiques, redéfinition du projet architectural et perspectives urbaines

Introduction

Le quatrième chapitre dépasse la quotidienneté de l'espace-temps des réunions de synthèse et la fabrication de la maquette numérique pour comprendre comment cette nouvelle production affecte les architectes dans leurs pratiques et les entreprises dans leur organisation. Dans ce chapitre, il s'agit aussi de tirer des enseignements théoriques, susceptibles de redéfinir les visées d'un projet architectural réalisé avec la démarche BIM.

Dans le *Grand Projet d'École* comme dans l'ensemble des projets BIM se pose la question d'identifier les nouvelles compétences dorénavant nécessaires aux acteurs. Comme le remarquait déjà Dominique Vinck dans le secteur industriel : « *l'introduction des maquettes numériques [opèrent] un changement majeur au niveau des acteurs concernés. Au lieu d'ouvriers, la réalisation des nouvelles maquettes passe dans les mains de spécialistes des nouveaux outils informatiques* » (Vinck, 1999a). Dans un premier temps, nous nous intéressons donc au cas des architectes en considérant les enseignements BIM actuels, puis nous mobiliserons les retours d'architectes de la *Grande Agence d'Architecture* pour comprendre les spécificités du mode projet BIM et comment celui-ci tend à modifier leurs expertises.

Dans un second temps, nous nous intéresserons aux entreprises de construction. A travers l'observation des pratiques de plusieurs d'entre elles impliquées dans le *Grand Projet d'École* nous questionnerons l'importance du nouveau mécanisme de sous-traitance et de ses effets sur le déroulement du chantier. Il s'agit aussi d'identifier la nouvelle difficulté d'allier coût et qualité dans la production de maquettes numériques et qui entraîne nécessairement le développement de nouvelles stratégies de négociations.

Dans un troisième temps, nous nous interrogerons sur la manière dont la maquette numérique, en tant qu'objet « vivant », est dorénavant en mesure de modifier les limites et la définition du projet. En particulier le dynamisme de cet objet nous permet de la reconsidérer de manière théorique, non plus comme un objet, mais comme un projet qui est réalisé conjointement au traditionnel projet architectural. Nous nous attacherons alors à évaluer les nouvelles temporalités mais aussi les difficultés imposées par la démarche BIM puisqu'elle demande, in fine, de réaliser conjointement deux projets.

Enfin, nous reviendrons sur la phase d'exploitation-maintenance et aux enjeux que soulève l'usage et de gestion de la maquette numérique une fois le bâtiment livré. En s'intéressant à ces nouveaux besoins d'un bâtiment tel que celui du *Grand Projet d'École*, nous montrerons alors que les objectifs

supportés par la démarche BIM, en s'appliquant à tout bâtiment et donc à la ville, tendent à faire évoluer notre interprétation des villes à l'ère du numérique. En effet, pour être pertinente la gestion des bâtiments doit aussi s'intégrer à la gestion de l'urbain et nous incite donc à considérer la CIM (City Information Modelling), comme une démarche à l'échelle de la ville et entretien très certainement des porosités avec la démarche BIM.

4.1 Les apprentissages pour les architectes

4.1.1 Les enseignements autour de la démarche BIM

Comme nous avons pu le voir à travers l'exemple du *Grand Projet d'École*, travailler sur un projet BIM requiert de nouvelles compétences ce qui entraîne une évolution du marché de l'enseignement et de la formation. Depuis 2014 on observe la création de multiples formations BIM : MOOC¹, formation à distance, Masters spécialisés. En Ile-de-France, des écoles d'ingénieurs tels que : l'École Nationale des Ponts et Chaussées, l'École Spéciale des Travaux Publics, les Arts et Métiers ParisTech ou le CESI, se sont ainsi positionnés sur ce marché en proposant des Master BIM.

Par ailleurs, remarquons que le Répertoire National des Certifications Professionnelles (RNCP) a mis en place de nouvelles certifications des aptitudes BIM. Le métier de dessinateur-projeteur DAO-MAO a ainsi été remplacé par celui de dessinateur-projeteur BIM². Ces changements marquent la reconnaissance de nouvelles compétences BIM et participent à la normalisation des nouvelles professions BIM. Au niveau international, l'édition 2018 du BIM handbook (Sacks *et al.*, 2018, p. 350) signale que la Corée du Sud délivre des certificats associés à des équivalents précis en années d'expériences (figure 4.1). Le pays distingue ainsi hiérarchiquement quatre types d'expertises BIM :

- modeleur BIM,

- technicien BIM,

- coordinateur BIM,

- BIM manager.

1. Massiv Open Online Courses

2. <http://www.rncp.cnpc.gouv.fr/grand-public/visualisationFiche?format=fr&fiche=31947>

Eligibility Criteria (either one of)	BIM Modeler	BIM Technician	BIM (CM) Coordinator	BIM Manager
Academic Degree	No requirement	Associate's degree	Bachelor's degree	Associate's degree and 8 years of practice, Or Bachelor's degree and 6 years of practice
BIM-Relevant Experience		3 years	5 years	10 years
Certificate		BIM modeler certificate	2 years after acquiring a BIM technician certificate	3 years after acquiring a BIM coordinator certificate

FIGURE 4.1 – Critère d'éligibilité pour les certificats BIM du buildingSMART Korea.

Source: (Sacks *et al.*, 2018, p. 350)

D'ailleurs, le chercheur Reza Hosseini considère qu'à l'exception des années d'expériences, il n'existe pas d'indicateur fiable qui puisse, par exemple, permettre de distinguer le niveau responsabilité entre un BIM manager et un BIM coordinateur (Hosseini *et al.*, 2018). Au sein du *Grand Projet d'École*, nous avons ainsi pu constater que Anna endosse ainsi, du jour au lendemain, le rôle de BIM coordinatrice à celui de BIM manager chantier. De plus, nous remarquerons qu'en France les distinctions entre les différents métiers et expertises BIM sont encore souvent contenues sous l'étiquette unique de BIM manager. Cependant, et à l'image des déclinaisons que nous avons rencontrées sur le *Grand Projet d'École*, on rencontre de plus en plus les dénominations de BIM référents, de BIM modeleurs ou encore de BIM coordinateurs sans pour autant que le travail qui leur est associé soit strictement défini.

En ce qui concerne les architectes et les étudiants en architecture, les ENSAs se sont emparées de la problématique de la formation BIM. En particulier, de 2014 à 2017, les écoles ont organisé les « *assises du BIM* » afin d'initier une réflexion collective à propos de l'appropriation de la démarche BIM par les enseignants et les étudiants. Ces rencontres ont permis d'ouvrir le débat sur l'enseignement dédié aux pratiques BIM et de préconiser des pistes de réflexion et d'enseignements. Cependant, lorsque nous avons assisté à la 4^{ème} édition de ces rencontres, nous avons pu constater qu'aucune prise de position sur plan théorique n'a été énoncée de la part des intervenants. Questionné sur le sujet, l'un des organisateurs nous a alors répondu que ce n'était pas l'objectif de ces rencontres. Or si apprendre à

modéliser sur un logiciel BIM, utiliser des bibliothèques d'objets, simuler des conditions « réelles » d'un projet BIM constituent un ensemble de pratiques que les étudiants doivent acquérir, nous pensons que ces enseignements ne peuvent pas être menés sans une approche théorique des enjeux que présupposent cette nouvelle manière de mener un projet architectural. De manière analogue, on constate que la diffusion d'initiatives portant sur les apprentissages pratiques ne sont pas rares (Boutros & Ireman, 2018; Halin & Gallas, 2016; Kubicki *et al.*, 2014), cependant les travaux et réflexions théoriques liés à l'enseignement de la démarche BIM et leurs potentiels effets sur la pratique du projet architectural restent quasiment absents. Or si l'on considère les changements observés au sein du *Grand Projet d'École*, ou encore l'évolution du marché de construction par le prisme d'exemples tels que l'entreprise Katterra ou la croissance des entreprises spécialisées dans la modélisation BIM, alors nous pensons que la démarche BIM entrainera nécessairement une évolution de la production du cadre bâti. Dès lors, l'apport de réflexions théoriques, réflexives et critiques sur les effets de l'industrialisation que la filière du bâtiment est en train de traverser nous apparaissent indispensables afin que les étudiants s'emparent en profondeur des enjeux BIM et ne considèrent pas la démarche BIM comme un simple « *changement de logiciel* » ! D'ailleurs, pour Sébastien, l'assistant Maîtrise d'Ouvrage du *Grand Projet d'École*, il est clair que le travail de l'architecte passe d'un mode de travail artisanal à un mode industriel. Le cas échéant, enseignants et étudiants doivent donc se pencher sur cette éventualité afin de sauvegarder ou faire évoluer les pratiques et les savoirs-faire de l'architecte.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Pour le cas des architectes, ils sont, à mon avis, plus formés en écoles d'architecture à modéliser du volume et de l'espace qu'à gérer un chantier et à effectuer une mission de maître d'œuvre. C'est là que l'intégration du numérique et la nécessité de passer par la définition d'un processus pour faire une maquette numérique transforme fondamentalement le métier de l'architecte d'un univers et d'un mode de travail artisanal à un univers défini par des processus industriels [...]. Pour les architectes qui ne comprend[ron]t pas la nécessité de structurer leurs actes de construire comme un ensemble de processus [...] ça sera beaucoup plus poussif.

4.1.2 Être architecte et informaticien

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

A l'embauche, on m'a posé deux questions : est-ce que tu parles anglais et est-ce que tu travailles sur Revit[®]. Je pense que si on répond non à ces deux questions, ils prennent le dossier et ils le mettent à la poubelle. Et ça c'est vraiment un pré-requis de base. Après, en réalité, j'ai travaillé sur Revit[®] mais c'était pas du tout mon outil de prédilection [...]. Le premier job qu'on confié [...] c'était la serrurerie extérieure et tout ce qui était clôtures. [...] Il y avait un plan de repérage et des éléments extérieurs [...] et sur tout ce qui était portes. Il y avait déjà des familles de portes : coupe-feu, type de serrure, type de badge etc. Même si ça n'était pas renseigné les catégories étaient déjà là. Il y avait donc des cases à remplir [...]. Quand j'ai repris ce travail, j'ai fait le dessin, le détail, la modélisation mais j'ai également renseigné les informations, la data et depuis c'est devenu automatique sur tout et n'importe quoi [...]. J'ai créé des sous familles sous Revit[®], j'ai commencé à créer des sous catégories dedans et c'est vraiment comme ça que j'ai commencé à travailler en BIM.

Pour comprendre comment, à l'image du recrutement de Nicolas, le nouveau travail des architectes peut être impacté par les projets BIM mais aussi par celui des BIM managers, il nous faut reconsidérer les travaux sur la profession d'architecte. Rappelons ainsi que la profession d'architecte est régie par l'Ordre national de architectes qui contrôle et structure le champ de compétences autour de pratiques règlementées et normées (Chesneau, 2018). D'ailleurs, l'analyse des métiers liés à l'élaboration du cadre bâti ou paysager et de la profession d'architecte est régulièrement débattue (Tapie, 2000; Champy, 2001; Chadoin, 2013) de même que l'évaluation des compétences et des expertises dont les architectes peuvent se revendiquer (Callon, 1996; Raynaud, 2001; Biau, 2018). Néanmoins, encore peu de travaux traitent des effets liés à la démarche BIM sur l'ensemble de ces professions.

Aussi, considérer l'influence que peut avoir la démarche BIM sur les architectes et leurs pratiques professionnelles nous incite donc à réactualiser les propos de Maurice Blanc (Blanc, 2010) qui rappelle que « *le milieu s'accorde à dire que la spécificité du métier d'architecte ne va plus de soi aujourd'hui* ». La légitimation de la figure de l'architecte perçue comme le chef d'orchestre est une nouvelle fois remise en question. Pour Guy Tapie, (Tapie, 2000, p. 302) cette problématique n'a pas attendu l'apparition des BIM managers pour émerger dans la mesure où « *l'architecte concepteur n'agit plus seul ou à la manière d'un chef d'orchestre. Il négocie ses positions avec d'autres spécialistes de tradition professionnelle et*

culturelle différente ». En particulier, l'architecte impliqué dans un projet BIM doit donc être en mesure de négocier une partie de ses positions avec les nouveaux spécialistes que sont les BIM managers.

Dans un premier temps, reconsidérons l'activité de coordination évoquée précédemment au sujet des réunions de synthèse comme un espace temps de conception collectif. En 2001, Florent Champy présageait déjà l'émergence de nouveaux « *projects managers* » (Champy, 2001). Il comparait alors ces nouveaux managers à des professionnels de la conduite de projet venant concurrencer les architectes. Il écrira à propos du rôle des architectes : « *si cette évolution se confirme, les architectes auront vu leurs relations avec leurs anciens subordonnés s'inverser en deux mouvements, par la mise sur le même plan de tous les acteurs de la maîtrise d'œuvre au profit du maître d'ouvrage, puis par le transfert de la fonction de coordination à un membre de la maîtrise d'œuvre autre que l'architecte* ». Ici, il est clair que Florent Champy ne fait pas référence au rôle des BIM managers car il en ignore certainement l'existence à l'époque. Cependant, si une partie de la coordination des acteurs d'un projet BIM est une activité progressivement reprise par les BIM managers, via la coordination de la maquette numérique, il convient de s'interroger sur ce qu'il restera aux architectes. Pour Alain Guiheux, interrogé par Jérôme Guéneau (Guéneau, 2019, p. 22), la réponse est claire : « *la figure [de l'architecte] va disparaître. Il faudra toujours des gens pour suivre les chantiers, il y aura de moins en moins de gens pour faire des plans d'exécution, de toute façon, les architectes n'en font plus depuis longtemps en France. Il restera ceux qui font de la synthèse du BIM* ».

Ce premier questionnement réactualise aussi la position d'Olivier Chadoin qui se demande « *comment réagit et s'adapte une profession dès lors que s'imposent à elle des types ou catégories de marchés qui ne sont pas en accord préconstitués avec ses bases historiques et culturelles* » (Chadoin, 2013). On peut effectivement considérer que la démarche BIM n'est pas en accord avec les bases historiques et culturelles des architectes puisque, comme nous l'avons déjà évoqué et le rappelle Christian Père (Père, 2014) : la démarche BIM relève d'un transfert technologique et d'un ensemble de pratiques et processus éprouvés au sein des industries de l'aérospatiale ou l'automobile.

Dans un second temps, notre enquête nous a permis de considérer des premiers éléments relatifs aux activités des architectes liées à l'utilisation des logiciels BIM. En effet, de nombreux architectes qui utilisent ces logiciels soulignent un manque de souplesse quant à la qualité de la représentation des documents extraits des maquettes numériques. Ce qui intéresse les architectes demeure la maîtrise du projet et on se rend compte que le projet BIM, notamment via l'utilisation de logiciels BIM mais aussi face à l'introduction de nouveaux acteurs, redistribue les cartes du travail des architectes. Les

frontières professionnelles sont en train d'évoluer et il devient difficile de savoir où s'arrête le travail de l'architecte et où commence celui de ses collaborateurs. Bien entendu, ceci entraîne un questionnement vis-à-vis de son champ de compétence et d'expertise.

Une déclaration de Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*, nous est apparue symboliser conjointement le constat d'une mutation des compétences et la nécessité de faire évoluer son propre métier pour faire face aux impératifs BIM et elle nous confiait ainsi :

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Ce logiciel, moi, je ne l'aime pas car il ne me laisse pas représenter à ma façon. Je deviens tricheuse. Je crois que j'essaie toujours de m'approprier le logiciel et avec Revit[®] pour se l'approprier, il faut tricher. C'est ça le problème et qui est dommage. Avec Autocad[®], j'étais capable de faire ma sauce. Les hachures on pouvait les mélanger ou les modifier [...]. Tu pouvais trouver ton expressivité à toi. Avec Revit[®] c'est très compliqué de le faire. Je ne dis pas que ce n'est pas possible car comme tout est paramétrable, tout est possible mais avant, je pouvais dessiner et représenter ce que je voulais, maintenant, je dois savoir manipuler des matrices pour pouvoir faire les hachures que je veux. Mais il faut que tu sois informaticien en plus d'architecte. Donc quand ça ne te plaît pas trop d'être informaticien, tu perds des capacités. Et pour revenir aux hachures, c'est pour moi quelque chose de fondamental pour donner une texture à ton dessin et une intention surtout. Car c'est l'intention qui compte dans tout cela. [Avec Revit[®]], et bien c'est des matrices. Le point A de départ, torsion de machin ou je ne sais quoi. C'est comme un tableau Excel[®] mais en pire! On a perdu un peu de sens pour moi. Quand on dessine il y a évidemment de la géométrie descriptive derrière qui a aussi son lot de complexité mais elle s'appuie sur le dessin. Là, on perd un peu de tout cela car [la règle de représentation] est dématérialisée dans une matrice qui n'apporte rien au dessin et rien à l'architecture! Si ça nous apportait quelque chose pourquoi pas le prendre mais pour moi on se met dans un monde qui ne nous apporte rien. Enfin qui ne m'apporte rien à moi en tout cas!

A travers le témoignage Maria, il apparaît que les architectes perdent un grand pouvoir : celui de savoir représenter. Et pour cause, le logiciel et ses paramètres définissent les règles de représentation. Elles deviennent normées et paramétrées et pour Maria, l'art ou la sensibilité n'entre pas dans ces nouvelles cases.

Dans cette déclaration, retenons la partie suivante : « *avant, je pouvais dessiner et représenter*

ce que je voulais, maintenant, je dois savoir manipuler des matrices pour pouvoir faire les hachures que je veux. Mais il faut que tu sois informaticien en plus d'architecte ». On peut distinguer deux propositions dans cet extrait : la première concerne la gestion graphique de hachures et la seconde signale la nécessité de devoir acquérir des compétences relatives au métier d'informaticien.

Lorsque cette architecte se plaint de la gestion des hachures, on peut convenir que c'est plus généralement le paramétrage des options de représentation qui est décrié. On peut également imputer au fonctionnement des logiciels BIM la difficulté à maîtriser l'épaisseur ou le type de traits utilisés, ou encore la difficulté à découper de lignes et donc à la création de motifs de représentation personnalisés. Mais plus généralement, c'est la compétence de représentation des architectes qui semble ici être mise à défaut. A ce sujet, Christian Girard (Girard, 2014) pense effectivement que « *la représentation [est] devenue une composante et un sous-produit parmi d'autres de la modélisation-simulation* ». Ce glissement, depuis la représentation vers la modélisation, est un point capital pour les architectes car ils ont historiquement construit leur savoir-faire sur des compétences de dessin et de représentation.

Extrait d'entretien (Maria, Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Parfois il arrive que je souhaite représenter une chose, et il [le BIM manager] te répond « Revit® il ne le fait pas et tu ne dois pas le représenter comme ça ». Et bien moi ce n'est pas comme ça que je pense. Pour moi si je veux représenter une chose, il faut que l'outil se plie à moi et ce n'est pas à moi de me plier à l'outil. Pour lui [le BIM manager] c'est un peu l'inverse [...]. Quand tu as envie de faire les choses à ta façon et non pas à la façon du logiciel [...] avec cette notion un peu plus artistique, un peu plus sensible ça devient compliqué.

Jean-Jacques Terrin (Terrin, 2014) estime quant à lui que « *beaucoup d'architectes considèrent que les moyens traditionnels dont ils disposent – croquis, perspectives, maquettes, photos, CAO/DAO, images de synthèse – sont suffisants pour concevoir et représenter leurs projets. Ils ne sont donc pas forcément tentés par l'adoption de nouveaux outils qui les amèneraient à partager avec d'autres ce savoir-faire qu'ils considèrent à juste titre comme unique* ». Notons que l'ensemble des moyens cités par l'auteur restent effectivement suffisant pour concevoir, représenter et construire un bâtiment. En revanche, ces moyens ne permettent tout simplement pas de construire (notamment à travers la nécessité de modéliser) la maquette numérique qui est devenue un impératif du projet BIM ! La réticence des architectes quant à l'adoption de nouveaux outils BIM et le partage de savoir-faire souligné par Jean-Jacques Terrin peut alors s'expliquer de deux manières. La première provient du fait que la maîtrise

de la modélisation « *orienté objet* » des logiciels BIM autorise la production de documents graphiques d'architecture de façon intuitive et automatique. En particulier, la cohérence spatiale entre un plan et une coupe, originellement garantie par l'expertise de représentation, est dorénavant automatiquement assurée par le logiciel BIM. D'ailleurs, Bruno Chaudet (Chaudet *et al.*, 2016) signale que les architectes qu'il interroge déplorent observer une nouvelle manière de concevoir notamment liée aux principes et contraintes des logiciels BIM : « *il faut penser, dessiner concevoir en termes d'objet et famille d'objets alors que auparavant nos outils étaient le trait, la ligne* ». Cette nouvelle manière de concevoir change alors cognitivement la manière d'aborder le projet architectural.

La seconde interprétation concerne la caractéristique distribuée de la maquette numérique et donc les outils nécessaires à son élaboration. En effet, construire une maquette numérique demande à ce que chaque acteur du projet renseigne les informations inhérentes à son propre champ d'expertise. Aussi, en partageant et redistribuant la fabrication d'un objet supportant l'expertise de multiples acteurs, c'est une partie du travail qui est, lui aussi, partagé et redistribué. Dans ce cas, vouloir préserver la maîtrise d'un logiciel métier propre à son activité constitue certainement une tentative de préserver son expertise mais aussi d'empêcher cette expertise d'être disputée par d'autres. D'un autre côté, grâce à ce type de mécanismes, il devient aussi possible pour l'architecte de disputer d'autres champs d'expertise.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Pour l'instant, c'est un peu comme si le dessin ne t'appartenait pas totalement. Et moi, c'est de ça dont je souffre. C'est que le dessin ne t'appartient pas à cent pour cent. Parce que tu as les parties des autres et même si tu les as appelés cinquante fois et bien ce n'est pas encore bon! Du coup, on est forcé de dessiner des choses à leur place, dans notre propre maquette. Et là c'est toujours pareil : certains électriciens, comme ils n'arrivaient pas à mettre leurs luminaires, j'ai dû mettre les luminaires moi dans ma maquette architecte. Et ensuite de dire aux électriciens : « écoutez, comme vous y arrivez pas je l'ai fait pour vous, vous prenez la gabarits et les mettez dans votre maquette ». [...] Non mais parce que avec le BIM, ils jouent à pas savoir aussi! C'est beaucoup plus confortable que quelqu'un te le dessine à ta place! Ils disent : « ah, c'est compliqué, on change parce que c'est qu'on a des problèmes et qu'on ne savait pas. Après il y a le bureau de contrôle qui [...] te disent de changer [...] ». Et du coup, on le [fait] à leur place [...]. C'est pour ça [...] que

si on pouvait se céder des éléments, comme c'est une machine de données, on pourrait mieux se coordonner.

Aujourd'hui, la tendance s'oriente vers l'utilisation d'écosystèmes BIM combinant l'ensemble des logiciels métiers de façon à garantir leur interopérabilité et donc faciliter la l'élaboration de la maquette numérique. Cette tendance, poussée par la nécessité de produire plus rapidement des maquettes numériques qualitatives permet aussi de rapprocher des expertises en les plaçant à quelques clics les unes des autres. On observe effectivement que dans les logiciels BIM, les outils spécifiques de modélisations inhérents à différents corps de métiers : architecture, structure, plomberie, se retrouvent sur la même interface et permettent donc à un architecte de se familiariser avec des problématiques techniques d'ingénieries ou de plomberie et vice-versa. Il est alors de moins en moins rare de voir des architectes se saisir des fonctionnalités de simulation des logiciels BIM pour estimer des coûts financiers, faire une analyse de cycle de vie, considérer l'apport d'ensoleillement mais aussi pour simuler des organisations spatiales notamment grâce au développement des nouvelles technologies de générative design (ou conception générative). Avec la démarche BIM, pour Christian Père, « *l'architecte, acteur central et initiateur du processus de cycle de vie de la maquette, se sent peu concerné, voire se sent contraint par la mise en place de règles trop strictes, bridant la créativité* » (Père, 2014). En revanche, de nombreux architectes activement engagés dans la démarche BIM voient au contraire dans développement du generativ design la perspective d'un nouveau type de « *créativité assistée par ordinateur* ». Rappelons que le generativ design est un processus de conception qui s'appuie sur des routines informatiques dont les algorithmes sont capables de générer des solutions en fonction de contraintes prédéterminées par l'utilisateur. Dans le domaine de l'architecture, il s'agit d'utiliser la puissance calculatoire et itérative des ordinateurs pour démultiplier des solutions spatiales en fonction d'un ou plusieurs paramètres d'entrées bien précis (figure 4.2). Ces pratiques de conception offrent ainsi de nouveaux horizons de conception dès lors que les routines peuvent être assimilées et intégrées à une intelligence artificielle.



FIGURE 4.2 – Exemple d’agencements spatiaux générés automatiquement grâce aux pratiques des generativ design.

Source: <https://blog.testfit.io/testfit-home>

La seconde partie du verbatim prononcé par Maria : « *il faut que tu sois informaticien en plus d’architecte* », questionne son identité professionnelle. La proposition qui est ici énoncée fait directement écho à aux deux rhétoriques professionnelles soulignées par Olivier Chadoin (Chadoin, 2013) :

- Une minorité « *plaide[nt] pour un retour à la conception traditionnelle de l’architecte libéral, combinant la figure de l’artiste et celle du chef d’orchestre. L’architecte est un « artiste » dans la mesure où, maîtrisant parfaitement sa technique, il est capable de transcender et de créer une œuvre d’art ; il est « chef d’orchestre » lorsque, passant de la conception à la réalisation, il coordonne les interventions des différents corps de métier.* »

Ce premier positionnement reste encore relativement partagé dans la communauté des architectes praticiens qui pense que « *l’originalité de la profession architecturale réside dans son statut, principale oriflamme brandie au mépris de contingences économiques dans le droit fil d’une vision de l’architecte artiste, maître d’œuvre et indépendant* » ((Tapie, 2000, p. 191) cité par (Gueneau, 2019, p. 16)).

La seconde position énoncée par Olivier Chadoin est :

- Les autres « *soutiennent que les architectes doivent chercher à élargir leur champ d’action et à se diversifier, devenant des spécialistes « hybrides » : architecte et urbaniste, architecte et paysagiste, architecte et programmeur, etc* »

Le discours de Maria s’apparenterait donc plutôt à ce second positionnement. En effet, la démarche BIM l’a visiblement obligée à reconsidérer son propre champ en réévaluant la nécessité d’ajouter un métier complémentaire à sa profession initiale. Cette seconde spécialisation ou hybridation, lui

permettrait non seulement de lever les verrous qu'elle observe au sujet de la représentation graphique : pouvoir construire les hachures qu'elle souhaite, mais l'autoriserait aussi à disputer d'autres positions au sein de projets BIM.

Ainsi, on peut d'une part penser que les architectes qui ne s'engagent pas dans l'appropriation des logiciels BIM, et plus particulièrement dans l'activité de modélisation, prennent le risque de voir certaines de leurs compétences initiales en informatique être dépassées par les nouveaux spécialistes BIM. Et l'on pense en particulier à l'exemple des entreprises spécialisées dans la modélisation de maquettes numériques. D'autre part, si les architectes ne veulent pas mettre en péril leur utilité sociale dans la fabrique de la ville, ils doivent aussi veiller à ce que cette activité de modélisation BIM ne constitue pas leur seul savoir-faire.

Nous venons de l'entr'apercevoir pour le cas de cette architecte, les compétences des acteurs de la construction sont en train d'évoluer avec l'introduction de la démarche BIM. Mais il semble aussi s'opérer un déplacement des frontières professionnelles notamment exacerbé par la possibilité qu'offrent les logiciel BIM à se saisir d'outils dédiés à de multiples champs professionnels. On remarque aussi que les nouvelles compétences BIM concernent principalement la fabrication de la maquette numérique et demeurent finalement relativement indépendantes des savoir-faire relatifs à la construction du bâtiment.

4.1.3 Comprendre et organiser des données numériques

A l'image de l'enquête que nous avons menée au sein du *Grand Projet d'École*, il existe a priori une vraie difficulté à mesurer les enjeux pratiques et théoriques que présupposent la réalisation d'un projet BIM. En effet, de nombreux professionnels de la construction pensent encore qu'avec la démarche BIM nous faisons uniquement face à un changement de logiciel de dessin. Or nous avons justement démontré que la démarche BIM, à travers l'élaboration d'une maquette numérique, est un acte beaucoup plus complexe et a des conséquences beaucoup plus profondes que le simple changement d'un logiciel. La démarche BIM modifie les processus du projet, ajoute de la contrainte et de nouvelles temporalités, augmente le nombre d'artefacts numériques à utiliser, introduit de nouveaux acteurs à l'image des BIM managers, demande de nouvelles manières de se coordonner ou encore de concevoir, entre autres. De plus, nous avons signalé que produire une maquette numérique n'a plus rien à voir avec la modélisation géométrique et volumétrique telle qu'elle était réalisée jusqu'à présent par les

architectes. En particulier, la modélisation BIM nécessite d'apprendre à organiser les données et à gérer les paramètres associés à la modélisation 3D des maquettes numériques.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Au début, tout l'aspect « données » qui n'est pas du dessin mais qui est vraiment de l'information pure, je ne l'avais pas vu. Parce que toute manière, ce n'est pas quelque chose de visible car tu vas les chercher dans des tableaux [...]. Le rôle de l'architecte ça reste de dessiner le projet [...]. C'est de dessiner le projet et ce qui compte à la fin c'est le dessin. Alors le dessin, c'est pas forcément « *le dessin* » avec perspectives et tout le reste, ça peut être un plan de repérage ou même un tableau de porte. Mais c'est graphique. Donc toute la donnée qu'on met dedans on ne peut pas la lire avec un intérêt graphique. Au début, on ne sait pas comment l'exploiter. A la base ces outils c'est des outils pour les exploiter mais ce n'est pas intuitif et tu ne sais pas forcément ce que tu veux en faire. Et comme tu ne sais pas ce quoi en faire, tu n'as pas forcément envie de mettre de la donnée pour de la donnée. Tu mets de la donnée quand tu sais comment elle pourra te servir derrière [...].

Le vrai plus, la vraie compétence BIM, c'est la capacité d'organiser de l'information, de gérer de l'information qui n'a pas forcément été créée par soi mais qui vient de l'extérieur pour réussir à en faire une synthèse, à exploiter les choses au mieux pour le projet. Et je n'ai pas dit modélisation, dessin parce que ça, normalement, il y a plein de gens qui savent faire même en dehors du BIM. Mais cette capacité à comprendre où est l'information et où est la donnée, quelle donnée est utile et comment l'exploiter [...]!

Les gens qui ont des compétences BIM ça se voit aussi dans leur façon de modéliser, [...] la structure de famille d'objets, comment sont faits les paramètres, comment ils interagissent entre eux. C'est vraiment toute l'algorithmique qui va derrière. Quand on ouvre une maquette et qu'on regarde à l'écran on ne peut pas faire la différence [entre la qualité de deux modélisations]. Mais quand on clique sur un objet et qu'on regarde comment il est construit, alors on comprend tout de suite : là c'est immédiat [...]! Alors le moyen le plus simple de reconnaître la compétence BIM de quelqu'un c'est qu'il me donne une famille d'objets qu'il a modélisée et là je comprends tout de suite là où se situe son niveau.

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du Grand Projet d'École) —

Un vitrage a des paramètres qui lui sont associés [...] : des facteurs de jour, des prix [et] si tu sais lire cette information, tu en tires tout ce que tu pouvais faire à la main au départ. Parce qu'on a tendance à l'oublier, on parle 3D mais on parle surtout de données et d'informations à sortir.

Comme le rappelle Nicolas, l'expertise de l'architecte repose sur la production de documents graphiques. Or avec la démarche BIM, la modélisation et la structuration des données dans les maquettes numériques devient fondamentale mais ne concerne pas nécessairement l'aspect graphique ce qui a pour effet de déplacer la responsabilité de l'architecte mais aussi son domaine d'expertise. On comprend aussi à travers le discours de Nicolas à quel point ces informations deviennent indispensables pour la conception, la réalisation mais aussi et surtout pour l'exploitation-maintenance. Cette spécificité dans la construction des maquettes numériques entraîne une évolution des pratiques pour les architectes qui doivent dorénavant, en plus d'organiser de l'espace, organiser de la donnée informatique : « *la vraie compétence BIM, c'est la capacité d'organiser de l'informatique, de gérer de l'information [...] cette capacité à comprendre où est l'information et où est la donnée, quelle donnée est utile et comment l'exploiter* ». On comprend donc qu'une grande partie du travail à réaliser se situe dans la compréhension, l'implémentation et la structuration de ces données associées à la géométrie modélisée. Une partie de la compétence BIM se retrouve dans la « *façon de modéliser, la structure de famille d'objets, comment sont faits les paramètres, comment ils interagissent entre eux. C'est vraiment toute l'algorithmique qui va derrière* ». On constate aussi que la description des compétences BIM faite par Nicolas rejoint les propos de Maria lorsqu'elle dit qu'avec la démarche BIM « *il faut que tu sois informaticien en plus d'architecte* ». Dès lors, tout porte à croire que pour dominer pleinement leur métier, les architectes devront maîtriser « *toute l'algorithmique qui va derrière* » la maquette numérique et donc derrière le projet BIM. D'ailleurs, si l'on a jusqu'ici fait confiance au sens et à l'expérience des architectes pour justifier leurs choix dans l'organisation de l'espace, on peut aisément imaginer que l'algorithmique et la simulation numérique pourront venir étayer mais aussi contredire leurs propositions. Pour les domaines de l'économie et de la finance, on observe déjà une montée en puissance de la confiance apportée aux algorithmes plutôt qu'aux experts et donc à une disparition progressive des métiers qui entrent en rivalité avec l'expertise d'une machine. Nous assistons alors à un phénomène où les « *tiers de confiance* » tels que les banquiers ou les économistes mais aussi les médecins et maintenant les architectes, notamment avec l'émergence des pratiques de générative design, sont mis en concurrence

avec les diagnostics d'ordinateurs. Et si la dilution progressive de l'activité architecturale prévue par Christian Girard (Girard, 2014) n'est pas encore arrivée, la reconfiguration future de l'architecte devra s'accorder avec l'évolution des outils numériques et la manière dont l'architecte s'en saisira.

La rigueur informatique imposée par la démarche BIM et l'élaboration des maquettes numériques n'est pas sans conséquences sur la pratique et la conception du projet architectural. Maria nous expose ainsi son point de vue sur le sujet :

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Dans Revit[®], tu peux toujours dessiner ce que tu veux mais si l'objet n'est pas associé à la bonne information, ça ne sert à rien. Il ne faut pas seulement réfléchir en terme de volumétrie mais aussi à toutes les propriétés et comment ça va ensuite rentrer dans un tableau. Du coup quand on a dû comptabiliser des choses et retrouver de l'information c'était parfait, [...] tous nos tableaux étaient cohérents et là, c'était beaucoup simple [...]. C'est vrai qu'à ce moment-là, on a pu comprendre famille par famille si c'était des portes coupes-feu, acoustiques, vérifier les dimensions [...], tout ça en un seul clic [...] et tu perds pas ton temps [...]. A ce moment-là, la rigueur de Pascal [le BIM manager], qui nous embêtait autant, elle s'est avérée très pertinente. Et c'est une rigueur qu'il faut apprendre car ton modèle est caduque très tôt. Ce qui fait que le projet numérique prend vite, c'est la rigueur. Une rigueur continue. C'est d'ailleurs pour ça qu'il peut vivre sinon tu passes de mauvais moments à renommer tout. Surtout si tu ne le fais pas depuis le début [...]. Mais être trop rigoureux sous Revit[®] dès le départ peut enlever énormément de liberté. Si dans un concours tu es déjà en train de penser à comment il faut nommer tel objet ou comment structurer telle donnée, tu passes plus de temps à penser à l'intelligence de la maquette et tu perds l'intelligence du projet architectural [...].

On voit bien dans les propos de Maria que l'implémentation des données possède une réelle plus-value lorsqu'il s'agit de produire des éléments de l'ordre des tableaux de portes et que l'automatisation liée à la gestion de ces informations est un gain de temps considérable. Cependant, Maria signale aussi que « *l'intelligence du projet architectural* » pâtit du temps consacré à informer la maquette numérique et non plus au projet architectural. Lors d'un échange avec Maria, celle-ci nous confia aussi que Pascal, le BIM manager de la *Grande Agence d'Architecture*, n'avait eu de cesse de lui répéter « *Ça ne se*

numérote pas comme ça, il faut que tu numérotés ton élément de cette manière et pas autrement ! Il y a une façon, une règle et des normes pour remplir les tableaux et les catégories du logiciel ». Les normes et règles afin de répondre aux exigences qualitatives de la production de maquettes numériques s'imposent alors comme des contraintes supplémentaires pour les architectes mais aussi pour l'ensemble des acteurs de la construction. Maria nous confiera aussi avoir peur pour sa profession et en particulier face aux entreprises et la machine de codification qu'elles représentent : « nous on souffre aussi [...] et ce qui fait peur c'est peut être que l'architecte disparaisse [...]. L'architecte il est que dans le design, les entreprises, elles sont dans le code de la construction. Et à la fin, le poids dans l'architecture il va être zéro » !

De plus, on constate qu'au delà de ces nouvelles compétences techniques, la démarche BIM demande aussi aux architectes d'acquérir la capacité à coordonner l'implémentation de ces données des maquettes numériques avec les autres professionnels. Et là encore notre enquête au sein du *Grand Projet d'École* a déjà pu montrer les multiples difficultés et les limites de ce nouveau travail. Enfin, si les architectes sont largement impactés dans leurs pratiques et dans la redéfinition de leurs frontières professionnelles c'est aussi car la démarche BIM structure et impose une nouvelle forme de conception collective qui s'appuie sur la fabrication de la maquette numérique.

4.1.4 Les contraintes de la conception collective

Les réunions de synthèse du *Grand Projet d'École* nous ont permis d'illustrer que la conception du projet architectural ne s'effectue ni uniquement pendant la phase de conception ni exclusivement par les architectes. On considère effectivement que le projet et sa conception se poursuivent lors du chantier et s'effectuent grâce à l'ensemble des professionnels qui y participent. De plus, dans le cas de projets BIM, l'activité de conception et de fabrication des maquettes numériques ne concerne pas uniquement les architectes mais la totalité des professionnels de la construction. A cela s'ajoute la nouvelle activité de coordination de cette conception collective qui s'incarne par exemple dans le travail de l'équipe de synthèse que nous avons déjà décrit.

Concernant les premières phases de conception du *Grand Projet d'École*, Maria nous explique comment s'est effectué le travail de conception. Elle nous partage alors les difficultés liées à la spécificité du logiciel BIM et du travail à mener avec la maquette numérique que ce soit entre les architectes ou entre les architectes et les ingénieurs.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Dans un concours, tu cherches plutôt un concept, tu cherches une ligne de design, de programme, comment mettre en forme ce bâtiment. Et comme Revit[®] c'est en 3D, tu ne peux pas partager tout cela. Avant, tu pouvais demander à un collègue : « *est-ce que tu peux regarder en coupe comment on met le programme* » [...] ? L'un regardait la coupe et l'autre le plan. Mais ça ne voulait pas dire qu'il fallait que ça matche dès le début. C'est simplement une idée, c'est une intention. Mais maintenant avec Revit[®], ça tu ne peux plus le faire et c'est très frustrant [...]

Au départ, c'était très compliqué. On faisait parfois des extraits pour faire des choses à la main, on travaillait avec Revit[®] mais beaucoup à la main. Comme il n'y avait qu'un seul élément que tout le monde peut « *malléer* » à sa guise [...] c'est un peu fou [...]. Toi tu es en train de faire quelque chose. Mais si tu n'as pas régénéré ton modèle et les autres sont en train de faire un autre morceau, à la fin au moment de mettre à jour tu ne sais pas qui gagne. Comment introduire autant de monde dans une phase de création ? C'est compliqué [...]. Avant quand tu faisais un dessin, tu rentrais chez toi et tu savais que ton dessin était terminé. Avec Revit[®] tu penses avoir terminé un dessin mais le lendemain tu réouvres ton fichier et : « *Whhaaaat? Qu'est-ce qui s'est passé? Pourquoi la gaine a bougé* » ? Il faut être vraiment préparé psychologiquement surtout si t'es psychorigide comme moi [...]. Parfois tu te retrouves à demander cinq fois à une personne de modifier sa gaine et la personne n'a pas le temps et toi tu ne peux pas déplacer cet élément à la place de la personne. On parle de seulement cinq ou dix centimètres. Mais pour terminer ton dessin, tu te retrouves à devoir appeler la personne pour lui demander de déplacer une gaine de cinq centimètres la droite. Donc c'est un dessin très participatif mais qui ne te laisse pas aborder la question graphique. Il faudrait tellement plus de temps pour pouvoir incorporer cette dimension graphique [...]

Lorsqu'une information ne t'appartient pas, tu peux la voir mais tu ne peux pas la toucher. C'est ça qui est embêtant [...]. De mon point de vue tu devrais pouvoir faire une demande [à un autre acteur] : « *Tu me prêtes [ta maquette] deux journées? Je te la calepine et je te la redonne et tu regardes si tout va bien* ». Et lui, qu'il puisse valider ensuite. Du coup, tu fais « *clic* » : tout se fige et c'est re-à eux de travailler dessus [...]. Je crois que ça devrait être très important de pouvoir faire ce ping-pong. Parce que les ping-pongs pour l'instant se font tous par téléphone ! Tu imagines ? Nous, on a passé un temps de fou au téléphone avec les ingénieurs : « *est-ce que tu peux bouger de deux centimètres ton luminaire parce que c'est presque axé, mais pas tout à fait* ».

Mais des heures et pour deux centimètres!

Premièrement, on constate que Maria déplore que ce « *dessin participatif [...] ne [lui] laisse pas aborder la question graphique* ». On s'aperçoit alors que la conception collective menée entre les acteurs du projet dépossède progressivement l'architecte de l'un de ses domaines d'expertise : la représentation graphique. De plus, on se rend compte à travers son discours qu'avec l'introduction des maquettes numériques, la conception est partagée entre les différents corps de métiers et demande des ajustements liés à la diffusion, le prêt, l'échange et le partage des informations que ces maquettes contiennent. Dès lors, déplacer une gaine de quelques centimètre sur le modèle 3D devient une action complexe car elle nécessite un accès à la maquette métier et l'ouverture de droits spécifiques et demande à ce que les acteurs concernés mettent en place de nouvelles pratiques de coordination. D'ailleurs, on s'aperçoit bien à travers le récit de Maria que cette coordination devient rapidement très chronophage. Enfin, il faut aussi remarquer que la problématique de partage d'information ou de travail participatif est d'autant plus difficile à mettre en place lors du chantier car tous les acteurs impliqués dans le chantier n'ont pas tous intérêt à mettre à jour leurs maquettes métiers ou à partager les informations qu'elles contiennent. Comme nous avons pu l'observer sur le *Grand Projet d'École*, les règles du jeu de ce nouveau travail en maquettes numériques ne sont pas faciles à définir et à mettre en place et la coordination de l'ensemble des échanges entraîne de nombreuses négociations supplémentaires.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°23, Mai 2018]

1. SYNTHÈSE - Attendez, il faut aussi jouer le jeu en BIM. Ce n'est pas juste une question de maquette.

ENTREPRISE X - Oui mais il faut un arbitre!

SYNTHÈSE - Oui mais il faut que tout le monde joue le jeu[...]. Il y a un manque de communication total et je ne suis pas là pour faire la police! Je suis là pour vérifier que votre maquette est bien en place.

[Réunion n°24, Mai 2018]

1. ENTREPRISE A - Je l'ai dit et je le répète on part sur la maquette du 25 avril et on essaie d'intégrer autant que faire se peut les réservations du 3 mai.

SYNTHÈSE - Vous êtes en train de me dire que vous êtes revenus en arrière? Il ne faudrait pas qu'on fasse un pas en

avant et trois en arrière.

ENTREPRISE A - Attends, on ne fait pas machine arrière!

SYNTHÈSE - Je ne comprends pas, comment vous faites, comment vous pouvez travailler avec des réservations qui n'ont pas de cotations [...]. On devrait normalement diffuser une nouvelle maquette.

ENTREPRISE A - Non, on ne fait pas de nouvelle diffusion [...]! Non, non, non! On ne veut pas avoir de nouveaux plans. Ce qu'on peut faire c'est faire un zoom sur la zone concernée. Moi, je ne peux pas demander à [mon sous-traitant] de refaire une analyse, c'est trop tard [...]. Maintenant comment on travaille? C'est simple, on étudie les poutres, puis les dalles, puis les voiles.

ENTREPRISE C - D'accord mais si on fait un zoom quand vous allez passer aux voiles rien ne vous dit que vous n'allez pas avoir d'autre problèmes après.

ENTREPRISE A - C'est vrai...

SYNTHÈSE - On va vraiment finir par se perdre là [...]!

ENTREPRISE A - Nous on ne peut juste pas repartir sur des plans postérieurs au 3 mai [...].

SYNTHÈSE - Il y a peut-être d'autres solutions que les échanges, que la maquette et du BIM. Il faut trouver une autre solution [...]. Ou alors on signe les plans de [l'entreprise A] et on fait les réservations sur la base de ces plans.

[Réunion n°31, Juin 2018]

1. ENTREPRISE C - Comment ça se passe pour le planning anticipé?

SYNTHÈSE - Je suis allé voir pourquoi le pilote n'est pas là. Je suis comme vous, je suis demandeur! Je dépends un peu de vous tous. Certains plannings ont été acceptés d'autres non.

A travers ces différents extraits de réunion de synthèse on mesure que les règles du jeu de la démarche BIM ne sont pas claires pour tout le monde. Il arrive alors fréquemment que les entreprises demandent à ce qu'il y ait un « arbitre » pour arbitrer les négociations et acter les décisions. Cependant,

et même si Éric est le responsable de synthèse, il signale qu'il n'a pas le pouvoir de prendre ce type de décisions qui ont nécessairement des conséquences en terme de coût (pénalités ou facturation supplémentaires) que devra alors assumer la maîtrise d'ouvrage.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Le problème c'est qu'il n'y a pas un moment « *t* » où tout le monde a la même chose. Certaines entreprises s'en plaignent parfois mais elles ont complètement raison car on ne peut pas travailler avec une matière qui bouge, [...] ça te dérange que le lendemain ton fond de plan a changé. Le travail que tu réalises la veille ne sert à rien le lendemain [...]. Il faut un arbitrage de cette maquette en conception et un arbitrage en chantier. Il faut quelqu'un qui puisse siffler et dire : « *Arrête cette maquette : elle n'est plus à jour* », ou : « *tu ne peux plus déposer une maquette après une heure fixe* ». Mais qui doit tenir ce rôle et ce sifflet-là? Je ne sais pas bien car c'est tellement nouveau [...]! Idéalement peut-être que ce serait à l'OPC^a du chantier de jouer ce rôle, parce que c'est elle qui gère le calendrier et c'est le calendrier qui détermine quand commencent et débutent les différentes phases [...]. Il faudrait qu'il y ait un rôle spécifique dans les chantier BIM. Comme un OPC du BIM qui dirait : « *écoutez, si vous ne rendez pas toutes ces données dans la maquette numérique, c'est vous qui paierez tous les aléas qu'on aura dans le ping-pong* » [...]. Mais ça peut être aussi une usine à gaz à force de tout contrôler [...] et il faut limiter un peu toutes les données. On ne peut pas non plus tout rentrer sinon, on deviendrait fous! Mais au moins pouvoir dire : « *Ok, on va mettre de la donnée jusque là* » [elle mime un niveau avec sa main] [...]. C'est [comme la pré-synthèse] et là, il faudrait dire avec toutes les données présentes, on peut déjà figer certaines choses pour pouvoir avancer avec le petit frère de vérité^b. Et après, on recommence à re-fixer des choses. On fait de l'injection d'information qui va pouvoir devenir en réalité plus facilement. On va pouvoir modeler la réalité beaucoup plus facilement, parce qu'aujourd'hui, l'impression que l'on a, c'est qu'on mène deux chantiers différents!

a. Organisation Pilotage Coordination

b. Maria utilise ici la métaphore du petit frère de vérité pour désigner la maquette numérique

Le discours de Maria met en exergue que la production et la diffusion des maquettes métiers demande une rigueur et un contrôle des temporalités de diffusion qui a, semble-t-il, fait défaut lors du chantier *Grand Projet d'École*. Elle estime alors qu'un nouveau « *rôle spécifique dans les chantiers BIM* » devrait être mis en place pour gérer le travail et les échanges des maquettes métiers. On

remarquera que les activités décrites par Maria pour ce nouveau rôle dans un chantier BIM s'apparente à celui du « *chef d'orchestre* » car chargé de déterminer qui doit délivrer quelle information et à quel moment et de coordonner l'ensemble des maquettes métiers. Remarquons alors que Maria fait alors état d'une spécificité du *Grand Projet d'École* où elle observe un dédoublement du chantier. Les acteurs doivent vraisemblablement mener en même temps « *deux chantiers différents* » et nous reviendrons plus loin sur cette propriété importante des projets BIM.

Enfin, pour comprendre pourquoi le travail avec les maquettes numériques n'est pas si aisé à mettre en place il faut aussi s'intéresser aux entreprises de construction en considérant le niveau de compétences BIM dont elles disposent mais aussi les stratégies qu'elles mettent en place pour conserver leurs marges.

4.2 Les entreprises de construction face à la production de maquettes numériques

Comme nous l'avons déjà signalé précédemment, les entreprises de construction impliquées dans le *Grand Projet d'École* sont tenues de produire leurs propres maquettes métiers via le logiciel Revit®. Or, si l'activité de modélisation géométrique 3D fait généralement partie des compétences des architectes et leur permet de s'appropriier plus facilement ce type de logiciel, en revanche c'est une compétence souvent absente chez les constructeurs qui travaillent principalement en 2D. Léonard, le référent synthèse de l'entreprise A, nous rappelle ainsi que selon les corps de métiers, les entreprises ne travaillent que très peu avec l'informatique et cela a pour conséquence de creuser un écart déjà considérable entre les acteurs capables de produire des maquettes numériques et ceux qui n'en sont pas capables.

Extrait d'entretien (Léonard, Référent Synthèse de l'entreprise A) —

Le plaquiste et le carreleur enfin toutes les entreprises sont à la ramasse. A mon avis, aucune entreprise n'est capable, en tout cas, dans la région parisienne [...] d'organiser du BIM et de modéliser parce qu'ils sous-traitent [...]. Trouver des gens qui font du BIM en corps d'état ça existe pas [...] parce qu'une grosse entreprise comme la nôtre pour tout ce qui est plaquiste, peinture, carrelage et tout le reste c'est pas nous : c'est sous-traité [...]! Je caricature un peu, mais aujourd'hui [...] sur un chantier de logements, le plaquiste il prend le plan d'architecte et puis il va repasser au fluo les cloisons par type et puis, il va te scanner le plan te dire : « *voilà mon plan d'exécution* »!

Grosso modo, c'est un peu comme ça que ça fonctionne pour quatre-vingt-dix pour cent des plaquistes. Après le plan avec le fluo, il a une page qui te dit : « *le jaune : c'est tel type de cloison, voir page douze de mon carnet de types de cloisons et le bleu c'est machin bidule* » [...]. Le mieux que j'ai vu, [...] c'est un des plus gros plaquistes en France, et lui il fait la même chose sauf qu'au lieu de faire du fluo, il le fait dans Autocad® [...]. Mais aujourd'hui des plaquistes qui travaillent sur logiciel on n'en a pas beaucoup [...]. Après ce qui est bien dans la cloison c'est que tu peux générer toute la logistique et tout ça avec le BIM, c'est vraiment une plus-value. Aujourd'hui [poser des cloisons] c'est tellement des prestations low-cost qu'ils ne veulent même pas dépenser quelques centimes à faire du BIM.

Grâce à l'exemple donné par Léonard, on se rend compte que toutes les entreprises ne peuvent pas être mise sur un même pied d'égalité face à la démarche BIM. Et pour comprendre comment celles-ci s'emparent du nouveau travail de production BIM, il reste déterminant de s'intéresser à la spécificité du corps de métier et des savoir-faire qu'ils mettent en œuvre. En effet, le temps investi pour modéliser une maquette métier et la plus-value que la maquette métier n'est pas du tout la même que l'on soit plombier, maçon, électricien, peintre ou poseur de cloisons. De plus, concernant le *Grand Projet d'École*, Emeric nous rappelle que l'investissement dans ce nouveau travail de modélisation BIM demande d'importantes ressources humaines et financières que seules peuvent se permettre les plus grandes entreprises.

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

C'est intéressant avec les petites entreprises parce que ce qui est possible avec les grosses entreprises avec le BIM ne l'est pas forcément avec les petites [...]. Une entreprise comme le cuisiniste [...], ils sont six et ils n'ont jamais fait de BIM de leur vie et on leur demande de sortir des maquettes. Ils n'ont jamais vu de maquettes et ils ont toujours bossé sur Autocad® ou un autre logiciel, mais en tous cas, ils n'ont jamais fait de BIM. Alors c'est compliqué car on leur demande un BIM Manager et ils ne peuvent pas se le permettre. Ils nous ont présenté un type qui était très bien mais qui a été formé à partir de rien. Après, ça s'est plutôt bien passé mais ça a pris du temps, il y a eu beaucoup d'inertie. Mais c'est surtout pas les mêmes moyens que [l'entreprise C]. Chez [elle], tout est intégré. Enfin c'est les deux extrêmes! Avec [l'entreprise C], c'est avec eux que ça s'est le mieux passé en terme de BIM [...]. Mais parce qu'ils avaient la ressource, ils avaient l'habitude. Ils ont vraiment un départe-

ment BIM ultra poussé et quand on voit les maquettes qu'ils nous sortent aujourd'hui, surtout en CVC plomberie [...], tu sens que c'est pas la première fois qu'ils faisaient du BIM [...]. Il y a les très bons comme [l'entreprise C] ou [l'entreprise A] qui avaient leur BIM manager en interne [...] et puis il y a le reste.

Extrait d'entretien (Léonard, Référent Synthèse de l'entreprise A) —

Les lots plomberie CVC [...] ils ont trouvé un intérêt au BIM et à la 3D. Les lots CVC [...] ça leur permet de calculer leurs quantités de gaines, de coudes, des machins tout ça. Pour eux tout ça, c'est un coût important. Ils peuvent faire le calcul de déperdition et faire plein de choses avec la maquette 3D qui se faisait pas bien avant en 2D. A contrario, les électriciens, pour eux, faire de la maquette en BIM, en exécution c'est plus compliqué. D'abord, il y a moins d'intérêt parce qu'en CVC [...] si tu as oublié que tu avais une poutre et que tu as ton tuyau qui passe dedans et que tu n'as pas demandé de réservations : là tu es vraiment [ennuyé] sur le chantier. Mais pour l'électricien qui pose ses chemins de câbles [...], il peut s'arranger partout et la valeur ajoutée en 3D, c'est de dessiner tous les interrupteurs mais ça n'impacte pas vraiment les autres entreprises. Pour l'instant la plus value du BIM chez eux est moins importante que chez la CVC. Mais ça va arriver [...] car tu es obligé de certifier un nombre de lux par pièce [...] et qu'il y a des logiciels qui permettent de vérifier que t'as bien ton nombre de lux, il s'y retrouveront certainement.

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet, entreprise D) —

On a eu une entreprise pour les gradins. Ils ont pris un marché à cent mille balles. Ils savaient que c'était du BIM mais ils ne s'attendaient pas à autant de demandes! Donc lui, il a un marché de cent mille balles et on lui demande un truc en BIM [...] mais il y passe toute sa marge! Il a sorti des beaux plans, attention! Ils étaient en 2D car quand tu lui redemandes en 3D il ne s'y retrouve pas. Bon, on a fini par s'arranger avec lui mais c'est vrai que c'est pas évident [...]. Lui demander ça, c'était ridicule [...]! Pour ceux qui travaillent avec l'industrie, par exemple les cloisons vitrées, eux ils en profitaient bien du BIM car tout sort de la maquette mais pour le gars et son gradin c'est pas la même chose!

Les différents exemples donnés par les architectes et les responsables d'entreprises nous permettent de mesurer d'un part que la taille et les ressources internes des entreprises ne leur permettent pas d'avoir la même implication et réactivité dans la démarche BIM. Et d'autre part, de comprendre que

la plus-value potentielle que peut apporter la production de maquettes numériques n'est pas du tout la même pour toutes les spécialités. Si elles ne veulent pas perdre de l'argent et leurs marges, les entreprises doivent alors mesurer précisément les coûts et la plus value que peuvent lui apporter la production de leur maquette métier. Et si grâce à l'exemple donné par Léonard on comprend mieux où se situe la plus value pour une grosse entreprise de CVC, on constate en revanche que pour l'artisan évoqué par Yasmina ayant un petit marché, produire une maquette métier met en péril son activité car « *il y a passe toute sa marge* ».

Enfin, rappelons que le domaine d'expertise des entreprises de construction se trouve historiquement dans la fabrication et la mise en œuvre des différents éléments d'un bâtiment. Dès lors, la demande de production de maquettes métier déplace, là aussi, leurs frontières professionnelles car cela les oblige acquérir de nouvelles compétences liées à la modélisation de maquettes numériques. Rappelons que cette modélisation intègre la modélisation géométrique des ouvrages mais aussi l'ensemble des données et paramètres associés à cette géométrie. Et comme le décrivent les architectes de la *Grande Agence d'Architecture* : informer, paramétrer et gérer ces données de manière structurée, augmente significativement le temps de travail associé à l'activité de modélisation. Ainsi, pour répondre aux exigences de production de maquettes métiers, les entreprises de construction adoptent principalement deux stratégies :

- former leur personnel sur ces outils pour produire en interne leur maquette métier ou
- sous-traiter la modélisation à une entreprise spécialisée.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Le premier truc très négatif c'est qu'il y avait déjà un écart de compétences au début du chantier entre les entreprises, sur les compréhension des enjeux et même plus que sur les compétences. Au début [du chantier] on a souffert au début d'un différentiel d'inertie entre les entreprises. Par exemple toute la technique était vraiment très à l'aise sur ce sujet [la production de maquette] et ils étaient à fond. D'autres entreprises qui avaient plus de mal ont mis beaucoup de temps mais on n'a pas le temps d'attendre les autres [...]. En études, au niveau de la synthèse, tu as un planning et il faut le suivre. Et si tu n'as pas renseigné ce que tu devais renseigner, si tu n'as pas joué le jeu à ce moment là, c'est trop tard! Tu ne peux pas revenir en arrière et refaire. C'est loupé pour la synthèse. Donc, là, on a souffert de ce décalage de compétences au niveau du temps. Après [...] il y a eu effectivement un écart de compétences [...] c'est-à-

dire qu'il y a des gens qui ont pris [la gestion et la production des maquettes] en interne [...]. Et le fait de le faire en interne [...] faisait qu'ils avaient un suivi, un suivi d'études qui était plus proche de notre façon de travailler [...]. C'est à dire que c'est tout le temps avec la même équipe qu'on travaille. Il y a d'autres entreprises qui ont beaucoup plus sous-traité soit parce qu'elles n'avaient pas énormément de choses à étudier ou qui n'avaient pas beaucoup d'études, et là, la conséquence c'est que ça fait un fonctionnement par vagues. Parce que le sous-traitant, il travaille, il fait une mission et il rend un dossier à un moment « x ». Mais il ne travaille pas forcément en continu, parce qu'il est sur d'autres choses. Pareil, les gens qui ont pas forcément beaucoup d'études, ils passent pas beaucoup de temps parce qu'ils passent aussi du temps sur d'autres projets. Donc ça fait des vagues, qui ne sont pas compatibles avec l'étude en continu qui est faite en synthèse, semaine par semaine [...]. Il y a une énorme inertie sur le chantier, les entreprises mettent beaucoup de temps à sortir leurs documents [...]. C'est à dire qu'à un moment, ils vont avoir quelqu'un de disponible qui va leur faire la production [des maquettes] [...] mais cette personne ne sera peut-être plus disponible pendant un mois. Il n'y aura plus de fonds alloués donc pendant un moment il ne va rien se passer. Et ce fonctionnement par vague des entreprises est assez différent de notre fonctionnement à nous [architectes]. Nous on est en continu on travaille au goutte à goutte des modifications et des publications de chacun. Donc il y a des sortes de goulots d'étranglement qui se créent au niveau de l'information [liés à] la structure du marché et à la structure de l'entreprise. On se retrouve avec des décalages : l'un qui est à jour sur sa maquette, l'autre qui n'est pas à jour sur la sienne [...].

Concernant les compétences de modélisation des entreprises, l'architecte Maria, est plus catégorique puisqu'elle déclarera : « *les entreprises savent construire mais ne savent pas construire du BIM* ». Or, dans un projet BIM, les acteurs doivent disposer à la fois d'une expertise de chantier propre à la construction du bâtiment mais aussi d'une compétence de modélisation propre à la réalisation de la maquette numérique. Et cette compétence informatique est sensiblement la même que l'on soit architecte, ingénieur, plombier ou façadier. Bien entendu, la qualité et la précision du modèle ainsi que les informations implémentées ne peuvent être réalisées que grâce à une réelle expertise pratique. Mais remarquons que les compétences de base de modélisation de la maquette numérique peuvent être aisément transposables d'un corps de métier à un autre. Et ceci a donc tendance à mettre sur « *un même pied d'égalité* » l'ensemble des acteurs de la construction vis-à-vis de la construction de la maquette numérique. Dès lors, leurs frontières professionnelles apparaissent beaucoup plus poreuses

car l'expertise nécessaire pour modéliser une maquette CVC n'est pas très éloignée de celle pour modéliser une maquette architecte ou une maquette structure. Et avec l'aide des outils BIM, cette nouvelle porosité entre les professionnels de la construction pourrait permettre aux uns et aux autres d'étendre leur domaine d'activité.

Enfin, sur le *Grand Projet d'École*, les entreprises qui disposaient de personnel déjà formé ou qui ont pu former leur personnel en interne avant le début du chantier sont rares. C'est principalement les très grosses entreprises ou celles qui avaient pu percevoir très tôt un intérêt stratégique et économique à produire des maquettes numériques qui ont pu répondre rapidement aux exigences BIM. Il faut aussi souligner que de petites entreprises, à l'image du cuisiniste que cite Emeric, ont parfaitement réussi à s'adapter et à produire leurs propres maquettes métiers. Cependant, les petites, les moyennes ou les grosses entreprises, la majorité d'entre elles ont eu recours à la sous-traitance que ce soit pour la réalisation de certaines spécialités ou pour la production de maquettes métiers. Comme le souligne Nicolas, cette sous-traitance dans la production des maquettes métier a pour conséquence d'entraîner des mises à jour par « *vagues* » et freinant considérablement le processus BIM et donc la progression du chantier. Ainsi, on observe que dans un projet BIM tel que le *Grand Projet d'École* les difficultés de coordination liées à la sous-traitance sont démultipliées parce qu'il y a un dédoublement des activités sous-traitées : la mise en œuvre et la réalisation de différentes prestations sur le chantier d'une part et la production des maquettes métiers d'autre part.

4.2.1 Les effets de la sous-traitance BIM

Dans le secteur du bâtiment, les mécanismes de sous-traitance sont courants. D'ailleurs, Nicolas Jounin nous rappelle dans ses travaux (Jounin, 2009) que le recours à la sous-traitance et notamment à l'intérim constitue aussi un moyen d'accroître les marges de l'entreprise mais aussi d'externaliser les risques en faisant porter le poids de l'exécution aux sous-traitants. L'exemple du *Grand Projet d'École* montre que la démarche BIM ajoute un nouveau type de sous-traitance ciblée sur la production des maquettes métiers. Et si la sous-traitance peut avoir des avantages économiques ou faire porter les risques sur une autre entreprise, elle comporte aussi des contraintes telles que la gestion de l'information et des ressources humaines externes, une augmentation de l'inertie de production, la non-maîtrise des délais, une baisse de réactivité, entre autres. De plus, l'ajout de nouveaux intermédiaires dans la production des maquettes métiers accroît les problématiques de coordination dont nous avons précédemment explicité à plusieurs reprises l'importance pour le bon déroulement de la conception et de la

réalisation du projet.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Globalement, il y a beaucoup, beaucoup d'entreprises qui n'ont pas joué le jeu [...]! C'est-à-dire qu'elles ont renseigné très peu de choses sur les maquettes parce qu'elles avaient des LODs^a très faibles. Elles ont donc fait [...] la maquette BIM pour nous faire plaisir avec un LOD très basique. Mais elles ont détaillé ce qu'elles avaient besoin de détailler [...] sur des méthodes anciennes : Autocad. Tout leur dossier exécution est très poussé [avec] des dessins extrêmement poussés mais en ancienne version. C'est à dire que c'était pas rattaché à la maquette, c'était des détails 2D et qui étaient bien plus détaillés que ce qu'ils auraient pu modéliser...

a. Level Of Detail

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°19, Avril 2018]

1. ENTREPRISE D - On essaye déjà de satisfaire la production mais le fabricant ne sait pas modéliser en 3D donc on passe par un sous-traitant.

[Réunion n°20, Avril 2018]

1. ENTREPRISE X [en aparté] - Ce qu'on se dit c'est que je compile la 2D avec le pdf pour en faire une 3D et je la balance pour faire plaisir aux architectes.

[Réunion n°25, mai 2018]

1. SYNTHÈSE - Je ne comprends pas. Vous refaites une maquette?

ENTREPRISE A - Je ne sais pas trop bien comment l'expliquer mais en gros on fait en 2D et automatiquement on a une construction 3D.

[Silence d'incompréhension : personne ne semble être convaincu.]

2. SYNTHÈSE - Mon travail c'est de recouper les maquettes.

SOUS-TRAITANT ENTREPRISE D - Je ne comprends pas, non.

[Il est demandé au sous-traitant de l'entreprise D de modéliser la partie correspondante à ses prestations. Il répond

alors d'un air amusé.]

SOUS-TRAITANT ENTREPRISE D -- Je ne vais pas dessiner un rectangle avec un trou sur ma maquette?

[Réunion n°50, décembre 2018]

1. OPC - Vous avez fait une maquette de ce poteau?

ENTREPRISE A - Non pas encore, c'est à notre contractant de le faire.

[L'OPC^a insiste du regard]

ENTREPRISE A - Oui, mais ils ont d'autres choses à faire et ils ont une inertie.

OPC - Non mais nous aussi on a d'autres projets, modéliser un poteau ça prend cinq minutes!

a. Organisation Pilotage Coordination

Extrait d'entretien (Léonard, Référent Synthèse de l'entreprise A) —

On nous demandait de modifier des sens de poutraisons. [Le BE Structure], lui, il me donnait un accord sur la modification. Mais entre le moment où il me donne l'accord et le moment où il le fait réellement, il peut se passer deux, trois, quatre semaines. Ce qui n'allait pas [aux autres entreprises] [...]. En fait, il y a un gros problème de fonctionnement car le BIM demande beaucoup de ressources. Ça demande plus de ressources qu'avant car dans la méthode classique, un bureau d'étude il suit le planning de production [...]. Le problème c'est qu'on a tous des besoins différents [...]. Quand tu raisones en CVC, tu as tous tes locaux techniques au dernier étage, donc tu as plus un raisonnement du haut vers le bas. Or le gros œuvre va du bas vers le haut. Donc quand on fait de la synthèse, il y a toujours cette problématique qu'on veut pas tous les mêmes chose au même moment [...]. Le problème c'est que d'une semaine à l'autre [l'entreprise C] fait ses demandes de réservations pour tout un étage. Sauf que moi, mon bureau d'étude structure il me dit : « *moi, je vais prendre quinze jours pour tout analyser. Parce que à l'ancienne ça se fait comme ça* ». Sauf que contractuellement, on n'a pas quinze jours, on a que trois jours pour analyser [...]. Donc pour faire avancer les choses j'ai dû prendre la main sur l'analyse de réservation, prendre des décisions plus ou moins à leur place [...].

Grâce à nos observations en réunion de synthèse, nous avons pu constater que les retards de mise à jour ou de production des maquettes métiers sont courantes. On notera aussi qu'avec la démultipli-

cation des acteurs impliqués, la conception collective se complexifie grandement. Et s'il fallait deux heures à Maria pour faire déplacer une gaine de quelque centimètres, on s'aperçoit rapidement que modéliser un poteau qui doit « *prend[re] cinq minutes* », peut demander plusieurs jours voire semaines ! Dès lors, on remarque que certains acteurs comme Léonard sortent de leurs responsabilités et prennent en charge des tâches qui ne leur sont, a priori, pas destinées. Et lorsqu'il « *prend[] des décisions plus ou moins à l[a] place* » d'une autre entreprise, Léonard étend son champ d'action ainsi que les frontières de sa profession.

Ensuite on constate que les entreprises de construction n'étant pas organisées de la même manière, n'ayant pas les mêmes spécialités et n'intervenant pas même moment dans la chronologie du chantier, n'adoptent pas les mêmes stratégies vis-à-vis de la démarche BIM. Ainsi, au delà des rapports de domination qui existent déjà naturellement entre les entreprises de construction, le mode projet BIM instaure de nouveaux rapports de pouvoir entre les entreprises capables de produire rapidement et efficacement des maquettes métiers et celles qui n'en sont pas capables. D'ailleurs, nous avons précédemment montré comment certaines entreprises parvenaient justement à court-circuiter les réunions de synthèse technique grâce à leur maîtrise de la production de maquettes numériques. La production et la diffusion de ses propres maquettes métiers devient alors un nouveau levier mais aussi le moyen de faire pression sur les entreprises concurrentes.

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet entreprise D) —

Nous on avait onze spécialités et neuf co-traitants. Les sous-traitants, je ne les compte même pas parce que chaque co-traitant à le droit à un sous-traitant [...]. [La modélisation] je ne t'en parle même pas ! Il y a certains qui ont sous-traité, et ça, je ne voulais même pas le savoir, je m'en foutais ! L'essentiel c'était que la maquette soit là ! Tout le monde savait quand on a eu l'offre que c'était un challenge [...]. On savait qu'on n'avait pas les moyens et on avait prévu de sous-traiter [...] mais en même temps c'est aussi un challenge pour former nos gars [...].

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Avec [l'entreprise A], on a l'impression qu'ils n'ont pas vraiment mis les moyens nécessaires car ça prenait beaucoup de temps. Les maquettes étaient mal mises à jour. Alors que normalement ils avaient tous les moyens en interne pour gérer ça mais on avait quand même beaucoup d'inertie [...]. Je pense qu'ils n'ont peut-être pas voulu mettre les moyens. Peut-être qu'ils trouvaient

qu'ils ne gagnaient pas assez d'argent sur ce projet [...], donc [ils faisaient] juste le minimum pour produire leurs maquettes [...] même si ça s'est arrangé avec le temps [...]. Et puis ils ont beaucoup de sous-traitants [...] et là, c'était encore de l'inertie [...] alors c'est pas la même inertie que quand le BIM manager est externalisé mais ça fait quand même de l'inertie. Le sous-traitant du sous-traitant du sous-traitant [...]. Il y a aussi les moyennes entreprises qui n'ont pas de BIM manager en interne et qui font appel à des bureaux d'études BIM. Et là, c'est tout de suite un peu plus compliqué quand tu as un interlocuteur en plus [...]. Après cette inertie là existe toujours quand on sous-traite et nous on l'a bien constaté au début du projet et les trois premiers mois de synthèse [...] il n'y a quasiment rien qui avançait [...]. Il faut le temps que tout monde commence à comprendre les processus, la publication des maquettes avec les mises à jour. Mais petit à petit ça a roulé [...].

Par ailleurs, les entreprises chargées de construire le bâtiment ont des temporalités d'actions qui ne sont pas les mêmes entre elles mais aussi avec la maîtrise d'œuvre. De plus, comme les intérêts et les marges financières dégagées par les entreprises ne se situent pas toutes aux mêmes endroits (Comet, 2007), alors la construction collective des maquettes numériques ajoute de la contrainte dans l'établissement de leurs stratégies. Mais cette nouvelle production de maquettes permet aussi à certaines entreprises de libérer de nouvelles marges de manœuvre et de négociations. Ceci permet d'expliquer pourquoi les réunions de synthèse sont devenues des espaces-temps de négociation et d'ajustement doubles car ils portaient à la fois sur le chantier mais aussi sur l'élaboration de la maquettes métier.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°19, Avril 2018]

1. SYNTHÈSE - Je vous rappelle que le protocole est le suivant : on récupère les maquettes des différents corps d'état. On regarde si les réservations sont en accord les unes avec les autres. On diffuse sur la GED. Et on avance tous ensemble. Parfois les réservations c'est juste des petits bugs informatiques.

ENTREPRISE A - Là on a 1596 réservations!

SYNTHÈSE - Oui et comment on se met à jour nous si votre maquette structure n'est pas mise à jour? Je vous rappelle qu'après les réservations c'est de la responsabilité des entreprises!

[Réunion n°21, Mai 2018]

1. SYNTHÈSE - Je vous rappelle que vous n'avez pas joué le jeu sur la maquette.

ENTREPRISE A - J'ai envoyé des mails, toutes les semaines, on ne m'a jamais répondu [...]!

SYNTHÈSE - Attendez, les plans 2D on n'en parle plus. On vous demande d'extraire des plans depuis les maquettes.

ENTREPRISE A - On a eu un problème de calage en z. On l'a résolu mais aujourd'hui c'est un problème en x et en y.

[Réunion n°25, Mai 2017]

1. ENTREPRISE A - On ne peut pas reprendre la maquette globale? Mon référentiel à moi c'est la maquette [de l'entreprise C].

ARCHITECTE - Quoi? Vous partez sur la maquette [de l'entreprise C]?

SYNTHÈSE - C'est le problème de ne pas travailler sur des maquettes qui ne sont pas mises à jour.

ENTREPRISE D - Mais si vous partez sur la maquette de [l'entreprise C], qui va modéliser? Je me tourne vers [l'entreprise C]?

[Silence]

ENTREPRISE D - Il faut que je voie avec [mon sous-traitant qui modélise]. Je peux voir avec lui mais j'ai bien peur qu'il m'envoie balader.

ARCHITECTE - Il faudrait qu'une personne s'y mette pour cinq à six heures pour tout modifier.

ENTREPRISE D - Oui il y en a pour des kilomètres de modélisation!

ARCHITECTE - Oui, nous on le fait bien.

Les extraits récoltés au cœur du *Grand Projet d'École* montrent que la difficulté liée à la production des maquettes métiers s'amplifie lorsque les entreprises font appel à de nombreux sous-traitants. On

constate alors que les différentes entreprises usent de différents stratagèmes pour justifier leurs retards (bugs informatiques, problèmes de géolocalisation ou de mise à jour, problème de communication avec le sous-traitant, entre autres). Bien souvent ces stratagèmes ne passent pas inaperçus et il a été très fréquent que le responsable de synthèse se plaigne que les entreprises « *ne jouent pas le jeu du BIM* » voire que d'autres entreprises mettent en avant des inégalités de traitement. Cependant et en l'absence d'une personne capable et ayant le pouvoir d'arbitrer les différents litiges c'est généralement hors réunions, et par d'autres voies (administratives, juridiques) que se sont résolues les problématiques évoquées et restées sans réponse.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°28, Juin 2018]

1. ENTREPRISE A - Mais on ne va pas faire ce qu'il y a marqué sur les réservations et puis c'est tout! Et on ne va pas passer quinze minutes sur ça.

SYNTHÈSE - Je dis ça pour faire avancer les choses.

ENTREPRISE A - Non, mais on fait ce qu'il y a au marché. S'ils [l'entreprise C] n'ont pas mis à jour leurs réservations c'est plus notre problème.

2. SYNTHÈSE - [L'entreprise A], vous me faites rigoler. Vous êtes les premiers à faire des RAR^a sur des questions de processus et vous ne respectez pas le process!

3. SYNTHÈSE - Faut-il prendre la maquette [synthèse] compilée ou la maquette de chaque lot [...]? Il ne faut pas confondre, il y a le chantier et le process général de diffusion. En tout cas, ce n'est pas la procédure d'intégrer les maquettes et les plans ensuite!

ENTREPRISE A - Mais les maquettes ne sont pas contractuelles!

SYNTHÈSE - Si tu me mets la pression, tu me diffuses une maquette sinon je ne prends pas!

4. OPC - La philosophie est qu'il y a un gros œuvre qui pose et qu'il faut l'alimenter. Vous êtes ok avec ça ?

ENTREPRISE C - Mais regarde ils ont ce qu'ils veulent! Nous on n'a pas de confort, la synthèse n'a pas de confort! Et eux

ils ont tout!

a. Lettre Recommandée avec Accusé de Réception

4.2.2 La production de maquettes numériques : entre coût et qualité

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet entreprise D) —

Nous on a facturé la mission BIM. Et elle était hyper détaillée [...]. Non, mais la mission BIM, ça coûte une blinde! C'est un vrai fardeau financier vu qu'il n'est pas adapté au planning chantier! Je me demande parfois même quel est l'intérêt pour la maîtrise d'ouvrage.

Rappelons que pour Jacques, le maître d'ouvrage du *Grand Projet d'École* la démarche BIM a un réel coût supplémentaire. Cependant, et de son point de vue, « *il vaut mieux mettre maintenant l'argent sur l'opération et payer moins en exploitation maintenance après, que l'inverse* ». L'expression de ce sur-coût passe alors par la facturation de « *prestations BIM* » que constitue le travail de production des maquettes métier. Mais là encore, les stratégies des entreprises diffèrent car certaines, à l'image de l'entreprise C, qui disposent visiblement de ressources humaines et de compétences BIM en interne font le choix d'« *intégrer* » le coût de la modélisation directement à leurs études. Les autres, comme l'explique Nicolas, ont réservé une ligne spécifique liées au travail BIM qu'elles ont donc chiffré.

Extrait d'entretien (Nicolas, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Les entreprises [...] elles ont chiffré un montant d'études qui est souvent un pourcentage des travaux et elles ont chiffré une partie BIM pour la modélisation. Après certaines entreprises disent : « *pour nous, ça vaut zéro. Ce travail est intégré dans les études* ». Mais pour d'autres, et par exemple celles qui sous-traitent ce travail, c'était vraiment une ligne clairement identifiée de leur budget en plus de leurs études classiques. Elles ont apprécié cette séparation et ont chiffré clairement les deux [...]. Alors, je ne connais pas les montants, ni la répartition mais si c'était mettons 4% d'études avec 2% pour les maquettes et la modélisation et 2% pour les travaux [...] alors dès qu'on fait une modification, on chiffre [...] et on rajoute des frais d'études qui s'appliquent aux deux lignes. Du coup, l'entreprise se fait payer pour remodeliser au même titre qu'elles sont payées pour refaire leurs études et les modifications [...]. J'ai une anecdote là-dessus : en début de chantier [...] nous on modifie régulièrement des choses pour « *x* » raisons [...] et très fré-

quement. Donc l'entreprise voyait des choses qui bougeaient chez nous parce qu'on était en train de dessiner des choses [...]. Ils voyaient par exemple une cloison qui avait bougé chez nous [notre maquette architecte] et ils disaient : « *elle a bougé cette cloison! Mais moi, je ne dois pas la bouger chez moi car je n'ai pas reçu l'information pour la déplacer [...] et je la bougerai que quand j'aurai un devis et que tu m'auras payé pour faire ce truc là* ». Du coup, nous, on se retrouvait à donner des visas sur des choses qui, pour nous, devaient bouger et que l'entreprise n'avait pas pris en compte. Tout ça parce que le truc était perdu dans le circuit administratif. Soit l'information n'avait pas été encore communiquée, soit ils n'étaient pas d'accord sur le prix et ça mettait du temps à se contractualiser. Du coup, il y avait une différence de temps entre la modélisation et la prise en compte par l'entreprise et ça créait de vrais problèmes.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Dans nos CCTP et DPGF^a, il y a une ligne qui s'intitule : « *étude Revit® ou étude BIM* ». C'était, à mon sens, une grosse erreur et surtout un énorme piège car les entreprises facturent à chaque fois qu'on effectue un changement et profitent de cette ligne pour dire qu'elles ont dû faire une étude BIM et qu'elles ont besoin de faire une sur-facturation. Ensuite c'est la même chose que dans un chantier, une entreprise si tu lui demandes de réaliser un détail technique compliqué, elle te fait payer plus cher. Et dans Revit® je ne vois pas pourquoi ce ne serait pas la même chose. A un moment donné, si tu as un modèle Revit® très compliqué, tu t'exposes à ce que les facturations des entreprises soient plus élevées et si tu as un modèle très simple alors elles ne vont pas le facturer. Je pense qu'il va y avoir une facturation par rapport au challenge que représente l'architecture proposée.

a. Décomposition des Prix Globaux et Forfaitaires

Comme le signalent les architectes de la *Grande Agence d'Architecture*, pour les entreprises qui ont chiffré la production BIM, il était alors devenu stratégique de refacturer la production ou la mise à jour des maquettes métiers lorsque le projet architectural était modifié. Avec ces nouvelles facturations, Nicolas explique qu'il s'est alors développé de nouvelles temporalités : validation du VISA BIM, mise en place de nouveaux contrats, édition d'une FTM³, émission d'une nouvelle facture, ce qui a pour conséquence de perdre une partie des informations et du travail dans le « *circuit administratif* » et donc de retarder le chantier.

3. Fiche Travaux Modificative

Par ailleurs, notons aussi le point de vue exposé par Maria sur la complexité des modèles Revit® à produire qui interroge nécessairement sur la conséquence que peut avoir la démarche BIM en terme de standardisation des productions architecturales. D'ailleurs plusieurs architectes de la *Grande Agence d'Architecture* nous ont signalé le manque de souplesse des logiciels quant à la gestion des géométries complexes ou des formes courbes. Et si l'on ajoute à cela l'augmentation du prix de ces modélisations mais aussi de la mise en œuvre, il est clair qu'une production architecturale standardisée apparaîtrait d'autant plus économique pour un maître d'ouvrage.

4.2.3 Jouer le « jeu du BIM » : stratégies et négociations

Dans tout chantier de construction les différents acteurs s'attachent à défendre leurs propres intérêts ou ceux des organisations qu'ils représentent. Les architectes défendent la qualité architecturale du projet, l'OPC s'assure que les échéances soient respectées, les entreprises doivent produire en respectant les coûts et les délais et l'équipe de synthèse veille à la coordination du travail de l'ensemble des entreprises. Au cours de notre enquête au sein du *Grand Projet d'École* la maquette numérique est devenue le support quotidien d'échanges, de malentendus, de mises au point et de négociations. Prenons ainsi l'exemple d'un architecte qui souhaite faire comprendre à une entreprise chargée de la CVC, où il souhaite voir passer d'importantes gaines d'aération visibles depuis un espace central. Il modélisera à travers sa maquette architecture l'encombrement et la position exacte où il souhaite les voir apparaître. Sur la base de cet échange et de la visualisation de sa maquette métier, une négociation débute mettant en jeu le sous-dimensionnement des gaines modélisées en fonction du débit requis, la nécessité de changer de produit engendrant un coût supplémentaire, l'impossibilité de notifier de nouvelles réservations au gros œuvre, ou encore la mise en place d'une FTM⁴.

Ces interactions conduisent donc des professions aux frontières différenciées par des intérêts économiques, des responsabilités contractuelles ou des champs de compétences, à se coordonner autour de la maquette synthèse. La fabrication de ces objets est donc le produit d'interactions entre les différents corps professionnels : l'architecte contrôle sur la maquette de l'électricien que les chemins de câble restent dans le gabarit du plenum ; l'ingénieur structure base ses calculs sur le modèle géométrique qui vont servir à l'entreprise de gros œuvre ; l'équipe de synthèse analyse les maquettes métiers des différentes entreprises et émet des alertes sur les clashes ou les problèmes d'interfaces qu'elle constate ; les livrables sont extraits des différentes maquettes métiers et sont vérifiés par la maîtrise d'œuvre pour délivrer ses VISA ; le BIM manager assiste les professionnels qui rencontrent des difficultés techniques

4. Fiche Travaux Modificative

avec leurs propres maquettes métiers et s'assure que la charte BIM soit respectée.

Toutes ces nouvelles interactions ont, a priori, tendance à horizontaliser les rapports professionnels et entraîne une recomposition de l'autorité de l'architecte. Cependant on observe que les prises de pouvoir sur l'élaboration de la maquette numérique de va pas de soi. En effet, nous avons justement montré précédemment que des entreprises sont en capacité de court-circuiter les réunions de synthèse et d'imposer leurs « *points de vue* » à partir du moment où elles maîtrisent la production de maquettes numériques. De même, nous avons pu voir que le BIM manager mais aussi les BIM référents ont des rôles prépondérants dans les projets BIM. Au cours de notre enquête au sein du *Grand Projet d'École*, essayer d'identifier les stratégies des différentes organisations nous a permis de comprendre les nouveaux enjeux auxquels devront faire face les architectes impliqués dans la démarche BIM.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

La stratégie [de l'entreprise D] c'est de nous noyer dans des FTM^a pour que l'on ne regarde pas ailleurs. Chaque entreprise a son propre jeu. C'est comme un jeu de poker et chacun a sa propre façon de jouer. Toi, tu joues aussi avec tes cartes et chacun joue en même temps. Comment gérer cette partie sans perdre? C'est ça le but [...]! [L'entreprise C], elle, c'est un très bon élève [...] ils ont beaucoup d'intervenants et ils te noient parce que toi tu n'arrives pas à assimiler toi seule tout le travail qu'ils t'envoient. [L'entrepris D], c'est avec les FTM, [l'entreprise A], elle est à la ramasse totale mais elle t'envoie par contre des lettres en recommandé pour que tu sois noyé dans la paperasse. Bref, chacun choisit sa façon de défendre ses intérêts.

a. Fiche Travaux Modificative

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du *Grand Projet d'École*) —

Je travaillais encore la semaine dernière sur les passerelles, on a fait une réunion il y a deux semaines où on a demandé un certain nombre de reprises, j'ai un lot qui a joué le jeu donc le façadier, mais le gros œuvre n'a pas repris sa charpente métallique et ses dalles, ben du coup, les plans qui ressortent sont pas à jour « *Ah non ! la semaine prochaine vous nous mettez à jour les plans pour que ce qui sorte et ce que vous allez construire, on ait bien pris en compte les remarques* », et ça c'est un vrai point où il faut taper un petit peu heu... sur les doigts.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°31, Juin 2018]

1. ENTREPRISE C - On a un problème sur le plan car les réservations n'apparaissent pas.

OPC - Là, ça ne marche pas.

SYNTHÈSE - Je ne comprends pas, je fais exprès de vous envoyer des pdf 2 jours avant pour m'assurer que tout va bien.

ENTREPRISE C - On ne l'a pas vu.

SYNTHÈSE - Moi je fais apparaître ce que vous me donnez sur la maquette.

ENTREPRISE C - Oui, mais on ne l'a pas regardée la semaine dernière.

SYNTHÈSE - Attendez, on était sur des problèmes de structure et là vous nous posez des problèmes de réservation, ça ne va pas [...]! On ne peut pas bloquer six zones du chantier pour deux poutres [...]. Vous jouez un jeu qui n'est pas franc. Soit vous me dites que vous ne pouvez pas rendre votre maquette pour le 21 et au moins c'est clair [...]! C'est compliqué de vous faire avancer tous ensemble. C'est peut-être mon job mais si vous ne m'aidez pas, c'est compliqué!

ENTREPRISE C - Je n'ai pas l'impression qu'on joue un jeu, on pose une question et on ne comprend pas trop.

Bien entendu, si les négociations font partie du chantier et du projet, avec la démarche BIM et la production de maquettes numériques, on constate que de nouvelles règles du jeu émergent. Et dans ce nouveau « *jeu de poker* » les cartes sont redistribuées et il reste donc à savoir, pour l'architecte, lesquelles lui permettront de maintenir et garantir son emprise et son champ d'action sur le projet architectural. L'architecte Maria nous explique alors comment, grâce à la capacité immersive de la maquette numérique et son travail quotidien dans le modèle géométrique elle parvient à avoir « *le bâtiment dans la rétine* ». Son expérience démontre que sa connaissance extrêmement poussée de la maquette numérique est une vraie plus-value car cela lui permet d'avoir une connaissance précise du chantier et des contraintes à venir. Dès lors, lors des visites de chantier, elle se retrouve en position de force face aux entreprises qui connaissent vraisemblablement moins bien le projet qu'elle ce qui leur

laisse moins de marge de manoeuvre pour négocier.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Ce bébé numérique, on ne peut pas le donner à l'entreprise sinon ils feront n'importe quoi, ça qu'on soit d'accord! Une chose, c'est de coordonner et une autre chose, c'est qui dessine ça? Parce qu'en fait où est le problème? Moi, à force de dessiner des plans de synthèse, j'arrive sur le chantier et c'est super hein! Les gars sur le chantier ils sont comme ça ! [elle écarquille les yeux] Parce que je dis : « *la gaine, elle va pas là, elle va là. Ici, t'as un luminaire, tu te rappelles pas? Ici, t'es trop bas par rapport à la façade* ». Parce que grâce au BIM, moi j'ai le bâtiment dans la rétine! Mais dans la rétine! Et je n'ai pas besoin des lunettes [de Réalité Virtuelle]. Parce que j'ai déjà tout intégré dans ma tête tellement je m'occupe de cette maquette! C'est fou, parce que si t'es inquiet pour un aspect du projet, après ça dépend de la curiosité de chacun et de s'ils peuvent dormir la nuit ou pas, mais moi j'ai pensé : « *Ahhh ce passage de câble là! Ahhh* »! Et tu ouvres le BIM, tu mets toutes les maquettes et même celles qui ne sont pas là. Et là tu te dis : « *je pense qu'il va y avoir un pépin* » [...]. Alors tu écris à tout le monde car toi, comme tu vois tout! Car c'est toi [l'architecte] qui vois tout! Le plombier, lui, il s'en fout de l'électricien et même si c'est le même lot! Il ne devrait pas, mais bon en réalité, il s'en fout. Et le plaquiste comme il n'a rien à voir avec le reste et bien, c'est toi qui as cette mission de gérer la globalité. Et c'est grâce à ça qu'aujourd'hui sur la visite de chantier j'ai pu dire : « *ça, c'est pas fait. Ah, et ça non plus! Attention là, on va te demander un renfort* ». Et le gars me répond : « *mais comment tu sais ça? Et bien parce que je passe ma vie avec le petit frère^a qui me guide malgré tout* » [...]. Le bâtiment je l'ai dans la rétine, je connais tout très bien par cœur [...]. Et je sais que la maquette à ce moment là elle va évoluer parce que j'ai vu avec un tel [...]. Je sais comment cette maquette a changé parce que je la suis de très près. Mais les entreprises, elles, non [...]. Après, je pense que j'ai tout ça dans la tête parce que je me méfie! Je sais que je suis très méfiante. Je connais tout parce que je ne sais pas si les entreprises, le plan qu'elles sortent c'est vraiment du BIM [extrait de la maquette] ou bien si ce n'est pas du BIM.

a. Ici, Maria métaphorise la maquette numérique et considère qu'elle est le petit frère du bâtiment physique

4.3 La maquette numérique : un objet « vivant » qui redéfinit les limites du projet architectural

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°31, Juin 2018]

1. SYNTHÈSE - Autant sur Autocad® on pouvait se transmettre les informations au cas par cas mais là c'est important que la maquette vive et soit mise à jour! Il faut qu'il y ait une fréquence de mise à jour qui suive les autres lots. C'est vraiment important que la maquette vive et qu'elle soit constamment corrigée.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Aujourd'hui, sur le chantier on retrouve des incohérences entre la maquette architecturale et la maquette structure. Laquelle fait foi? C'est là, toute la discussion dans les réunions de chantier car ça complexifie les choses. Comme c'est des maquettes qui vivent, c'est un véritable problème.

Comme le faisait initialement remarquer Maria pour la phase de conception, mettre systématiquement à jour une maquette numérique entraîne une nouvelle difficulté : celle de travailler avec un objet mouvant voire « vivant ». Cette vision de la maquette numérique comme un « *objet vivant* » est largement partagée par les acteurs du *Grand Projet d'École*. Aussi, lors de l'un de nos entretiens Maria est longuement revenue sur cette spécificité de la maquette numérique pour nous en expliciter les effets pratiques. Cette propriété d'« *objet vivant* », malléable ou encore dynamique apparaît ainsi modifier considérablement la nature et le déroulement du projet architectural. Nous avons alors cherché à comprendre en quoi ce nouvel « *objet vivant* » modifiait le projet architectural?

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

La maquette numérique BIM c'est un bâtiment hypothétique ou imaginaire, hypothétique, parce qu'à un moment A, le bâtiment est encore hypothétique et à un moment B le bâtiment devient réel. Le bâtiment réel prend progressivement de la force et parfois le bâtiment imaginaire veut quelque chose mais l'autre [le bâtiment réel] ne veut pas forcément le suivre. Du coup, il a un ping-pong entre les deux bâtiments [...]. Dans un projet BIM [...] de toute façon, ce ping-pong va avoir lieu, on ne veut juste pas qu'il se fasse dans la douleur [...].

Bien sûr il va avoir des aléas sur le chantier qui va faire que tu ne peux pas avoir dans ta maquette BIM ce que tu auras en réalité sur ton chantier. Et croire que tout va marcher c'est une erreur! Ça, on ne va jamais l'avoir [...]! Pour contrôler les aléas, la synthèse peut arriver à mieux fixer les ping-pong entre le bâtiment irréel et le bâtiment réel. [La synthèse] peut faire que si on a une bonne coordination entre les entreprises et les architectes par le cahier des charges, il y a moins de douleur [...]. Parce que nous [les architectes] on choisit des produits au départ mais après ils changent, les dimensions des gaines changent aussi, tout change! Mais comme on a les vraies données dans les plans, avant même qu'on ait construit quoi que ce soit, donc ça, tu les coordonnes avec ta maquette et tu dis : « *ok, là, c'est bon : je suis bon avec mon bâtiment imaginaire, là c'est bon* ». Et ensuite, tu passes à la réalité. Bon, c'est des phases qui pourront se chevaucher quand même parce que sinon, la construction prendrait autant de temps que celle des pyramides [...]. Mais il faudra donner plus d'importance à ce bâtiment là [l'imaginaire] parce que maintenant on en souffre. Les entreprises, pour beaucoup, la charte BIM elles ne l'ont même pas lue donc pour leur faire sortir le bâtiment imaginaire, c'est dur!

Dans l'entretien mené avec Maria, elle s'attarde longuement sur la dichotomie qu'elle observe entre la maquette numérique et le chantier physique. Elle utilise alors différentes expressions pour désigner la maquette numérique : « *bâtiment hypothétique, bâtiment imaginaire, bâtiment irréel* ». On constate aussi que la maquette numérique, ou le bâtiment irréel est constamment mis en tension face au bâtiment physique que Maria désigne comme « *le physique, le bâtiment réel* ». Plus loin nous verrons même que Maria construira une filiation fraternelle entre ces deux objets puisqu'elles considère que ces deux objets sont des frères. L'un est virtuel : la maquette numérique et l'autre est réel : le bâtiment physique.

Par ailleurs, et comme le signale Maria, le fait que la maquette numérique soit un objet dynamique n'est pas sans poser de problème aux entreprises. Ces derniers doivent alors surveiller les mises à jour des maquettes métiers et à travers les propos de la cheffe de projet de l'entreprise D, on comprend pourquoi il peut devenir stratégique de ne pas mettre à jour ses propres maquettes métiers. A contrario, on comprend aussi que si une autre entreprise met systématiquement à jour sa propre maquette métier, il devient difficile pour les autres entreprises d'être assuré de travailler avec la « *bonne* » version de maquette.

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet entreprise D) —

La maquette est vivante donc nous on s'est fait avoir. Nous on jouait le jeu : « *Monsieur, vous m'avez fait un visa mais vous avez changé la maquette et en plus vous ne nous avez pas informés donc allez vous faire [voir]* » [...]. Je demandais au BIM manager de me refouiller les maquettes pour voir s'il n'y avait pas de nouveautés. Le problème c'est que le jeu des sept erreurs on ne voulait pas le faire. Donc il faut demander aux architectes [...] de nous dire ce qu'ils ont changé [...]. Et ça il y a des architectes qui le faisaient et d'autres pas. Donc c'était usant.

La propriété de vivacité de la maquette numérique est non seulement une réalité de pratique pour les acteurs qui produisent et utilisent les maquettes numériques mais c'est aussi une nécessité pour la maîtrise d'ouvrage. En effet, dans son analyse, Sébastien, l'assistant maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École*, le caractère vivant de la maquette numérique est loin d'être anecdotique et tient de la valorisation du bâtiment. Son discours s'appuie aussi sur le principe que « *l'information pour être valorisée [...] a besoin d'être partagée et elle est donc mobile, dynamique* ».

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Il faut que la maîtrise d'œuvre comprenne qu'aujourd'hui ce qu'on nous demande ce n'est pas de construire un bâtiment immobile ou immobilier mais de construire quelque chose de plus en plus vivant même si c'est grâce à une essence numérique. Il me semble qu'avec le numérique, les comparaisons avec le monde du vivant deviennent de plus en plus évidentes [...].
Je pense que les termes de statique et de dynamique sont des termes très importants. On évoluait dans une considération statique du bâtiment et j'ai précédemment utilisé le terme d'immobilier. Or on va précisément dans le mobilier et le dynamique. Nous vivons dorénavant dans une société où on ne construit plus des objets immobiliers mais plutôt des nœuds de transfert, de création et de valorisation de l'information [...]. Or, l'information pour être valorisée, elle a besoin d'être partagée et elle est donc mobile, dynamique [...]. La problématique est : doit-on définir l'objet immobilier pour favoriser le transfert d'informations ou bien adapter le transfert d'informations à l'objet immobilier?

Sébastien va encore plus loin dans son analyse et les effets de la production de maquettes numériques associées à des bâtiments physiques. Il assimile ainsi les bâtiments associés à une maquette numérique à de nouveaux objets mobiles. D'ailleurs, la comparaison qu'il propose entre les bâtiments et les objets mobiles ou immobiliers fait écho aux propos de Dominique Raynaud qui considère les objets industriels

comme des « *meubles* » et les édifices architecturaux comme des « *immeubles* » permettant alors de justifier le caractère sériel ou unique de l'objet considéré. Il considère alors que la conception d'un objet technique (rattachée à la conception industrielle) et la conception d'un bâtiment (rattachée à la conception architecturale) diffèrent. Dominique Raynaud distingue alors deux catégories d'objets par leur type de production : « *les objets industriels sont produits en série et les bâtiments sont des exemplaires uniques* ». Il concède cependant qu'il existe aussi des objets qui « *ont un statut plus ambigu, comme le métro Aramis de Marta [...]. Toutefois, c'est ici le niveau d'usage [...] qui fixe leur unicité [...] mais se prêteraient sans difficulté à une production en série* » (Raynaud, 2001).

La démarche BIM et la production de la maquette numérique nous incite à repenser l'objet architectural comme un objet technique. Là encore, et contrairement à ce que pense Dominique Raynaud, notre enquête au sein du *Grand Projet d'École* démontre qu'il devient tout à fait possible de transposer les modèles d'organisation du modèle de l'industrie à celui de l'architecture comme l'avait déjà suggéré Michel Callon (Callon, 1996). Ainsi, puisque les maquettes numériques sont des objets industriels et puisque la construction des bâtiments des projets BIM s'appuient exclusivement sur ces objets, nous devrions pouvoir considérer que les bâtiments sont en passe de devenir, eux aussi, et au même titre que les avions ou les automobiles, des objets industriels. Là encore, l'exemple de l'entreprise Kattera mais aussi l'évolution des technologies de type F2F⁵ que l'on peut observer à travers les productions des certaines start-up⁶ spécialisées dans l'industrialisation des pratiques de construction montre qu'un bâtiment architectural s'apparente de plus en plus à un objet industrialisable. Notons aussi que ces nouveaux procédés de fabrication autorisent aussi « *la production en série de pièces uniques* » (Carpo, 2001) ce qui renverse l'idée préconçue que la robotisation ou l'automatisation des procédés est nécessairement synonyme de standardisation.

En résumé, le caractère « *vivant* » ou évolutif de la maquette s'apparente à la vivacité du projet de bâtiment physique. Les deux objets : maquette numérique et bâtiment physique, contractent alors une interdépendance très forte puisque la maquette numérique devient le « *jumeau numérique* » du bâtiment. Dès lors, en incarnant le bâtiment physique, il s'agit pour la maquette, de lui conférer un avatar ou un spectre numérique capable de renseigner l'ensemble des caractéristiques géométriques et techniques mais aussi, et nous le verrons plus loin, de dialoguer avec les usagers et les techniciens qui

5. File to Factory

6. On pourra par exemple s'intéresser à l'entreprise Xtree qui propose des constructions par impression de béton via des imprimantes 3D à l'échelle un.

maintiennent le bâtiment.

4.3.1 Passer d'un objet technique à un projet numérique

Nous venons de voir que, contrairement à ce que l'on pourrait penser, la maquette numérique est un objet comparable au bâtiment physique. Il convient ici signaler que la maquette numérique prend une toute autre dimension dans le projet architectural. En effet, la maquette numérique n'est plus un objet comparable avec un objet de conception telle que la maquette physique mais elle se compare dorénavant directement avec le produit du projet : le bâtiment physique !

A la différence d'un projet non-BIM qui donne naissance à un seul objet : un bâtiment physique, un projet BIM, lui, fabrique deux objets :

- une maquette numérique et
- un bâtiment physique.

Bien entendu, ces deux objets ne sont aucunement comparables : ni dans leurs natures, ni dans la manière dont ils ont été construits, ni dans leurs usages. Cependant leur conception et leur fabrication est à la charge des mêmes acteurs : architectes, ingénieurs, constructeurs. Et si la temporalité de fabrication de ces deux objets et les acteurs impliqués est, a priori, la même, remarquons que les destinataires ou les utilisateurs mais aussi les finalités de ces objets demeurent fondamentalement différents car on n'habite pas dans une maquette numérique. Et puisque la maquette numérique s'élabore dans la même période de projet et par le même ensemble d'acteurs que pour le bâtiment physique, se pose alors la question de savoir si ce nouvel objet ne serait pas en mesure de redéfinir les contours du projet architectural lui-même ?

Dans son enquête portant sur le métro automatique Aramis, Bruno Latour rappelle qu'« *au début il n'y a pas de différence entre les projets et les objets. Les deux circulent de bureau en bureau sous forme de papier, de plans, de notes de service, de discours, parfois de maquette ou de synopsis [...]. A la fin, ce sont les gens, au sortir de leur bureau, qui circulent dans l'objet* » (Latour, 1992). Dans le cas de la maquette numérique, et contrairement aux bâtiments physiques, il reste impossible de circuler physiquement dans une maquette numérique, ce qui rend moins évident le repérage temporel du passage du projet à l'objet que Bruno Latour signale par « *à la fin* » et qui pourrait justement correspondre à l'étape de « *stabilisation* » de l'objet que nous avons déjà évoqué précédemment. Notons qu'on pourrait penser que pour les architectes, la « *stabilisation* » de l'objet bâtiment physique,

et donc de la « *fin* » du projet pourrait se situer lors de la livraison du bâtiment puisque c'est à cet instant que ses responsabilités et son engagement envers le maître d'ouvrage commencent contractuellement à décliner. Par ailleurs, Bruno Latour et Albana Yaneva nous rappellent, paradoxalement, que « *nous savons tous (et particulièrement les architectes, bien entendu) qu'un bâtiment n'est pas un objet statique, mais plutôt un projet en mouvement, et même une fois bâti, il continue d'être transformé par ses usagers, d'être modifié par ce qui arrive à l'intérieur comme à l'extérieur, et qu'il disparaîtra ou sera rénové, voire altéré et transformé jusqu'à en être méconnaissable* » (Latour & Yaneva, 2008, p. 81). La considération de Bruno Latour pour le bâtiment comme étant un objet dynamique, mouvant et instable et donc « *vivant* », va précisément dans le sens et la considération que les acteurs du *Grand Projet d'École* ont de la maquette numérique.

Ces considérations pour les objets et les projets appliquées au cas pratique du *Grand Projet d'École* nous incitent à modifier l'interprétation que l'on pourrait faire du projet architectural afin de suggérer que la démarche BIM implique la réalisation d'un nouveau type de projet.

Premièrement, rappelons qu'au sein de la communauté d'architectes et de chercheurs, la définition du projet architectural continue d'être largement débattue. Et nous nous cantonnerons à considérer celle de Philippe Boudon qui le désigne comme « *la préfiguration de la réalité architecturale (ou) plus globalement [...] le travail d'élaboration qui précède la réalisation d'un édifice* » (Boudon, 1992, p. 54).

Dans le cas d'un projet BIM, nous avons donc affaire à deux objets collectivement construits au cours d'une même temporalité et par les mêmes acteurs. Concernant le projet qui sous-tend l'élaboration de ces deux objets, deux hypothèses peuvent alors être formulées. La première est de considérer que la réalisation de ces deux objets s'appuient sur un unique projet commun. La seconde consiste à supposer l'existence d'un projet propre à la fabrication de chaque objet. Et puisqu'il existe déjà un projet relatif à la construction du bâtiment physique, cette deuxième hypothèse revient donc à formuler qu'il y a un projet spécifique à la réalisation de la maquette numérique.

Concernant la première hypothèse, penser que les deux objets s'appuient sur un seul projet peut sembler viable en théorie. Cependant, cette hypothèse résiste difficilement à l'idée pratique d'une activité de projet unique. En effet, la construction d'un bâtiment ne fait pas appel aux mêmes compétences, à la même organisation, ne convoque pas la même métrologie et n'est pas soumise aux mêmes contraintes que la construction d'une maquette numérique. Par exemple, modéliser numériquement un plancher dans une maquette numérique ou implémenter de l'information dans cette dernière semble

difficilement comparable à l'action qui consiste à couler une dalle de béton ou à poser du carrelage. En effet, ces activités semblent, a priori difficilement imputables à un même « *travail d'élaboration* » et donc à un même projet et vice-versa !

La seconde hypothèse indique que la production d'une maquette numérique « *vient superposer un nouveau projet au projet* » (Cristia *et al.*, 2018). Dès lors, en considérant cette deuxième éventualité, un projet où intervient la démarche BIM, tel que celui du *Grand Projet d'École*, devient un « *projet double* ». Et il devient alors nécessaire de dissocier ces deux projets car comme le rappelle Bruno Latour « *si l'espace euclidien est bien celui dans lequel on dessine les bâtiments sur du papier, il n'est pas l'environnement dans lequel ils sont construits – et encore moins le monde dans lequel ils sont habités [...] [et] chacun sait que le dessin (ou la photographie) d'un bâtiment en tant qu'objet ne dit que très peu de choses sur son "vol" en tant que projet* » (Latour & Yaneva, 2008, p. 82). Et nous pourrions d'ailleurs actualiser ces propos en suggérant que l'espace euclidien numérique ainsi qu'une maquette numérique en tant qu'objet ne disent effectivement que très peu de choses du « *vol* » réel d'un bâtiment physique en tant que projet.

C'est donc pour ces raisons que nous pouvons considérer que la démarche BIM introduit un double projet car visant à construire deux objets (Figure 4.3). Le premier est matériel, on peut le pénétrer physiquement, le toucher ou encore l'éprouver. Le second est immatériel et sa consistance numérique est encore difficile à appréhender.

Le « *projet double* » mobilise alors les mêmes professionnels ou organisations (architecte, ingénieur, entreprises, maîtrise d'ouvrage) mais donne lieu à deux objets bien distincts. D'ailleurs rappelons que Vincent Gouezou (Gouezou, 2018) emprunte à Gaston Bachelard le triptyque : objet-projet-sujet pour considérer l'activité de conception qui répond à trois types de questionnement : quoi ? comment ? et qui ? Dès lors, cela met précisément en tension la maquette numérique et le bâtiment physique comme objets de production d'un nouveau « *projet double* » réalisé par les professionnels de la construction.

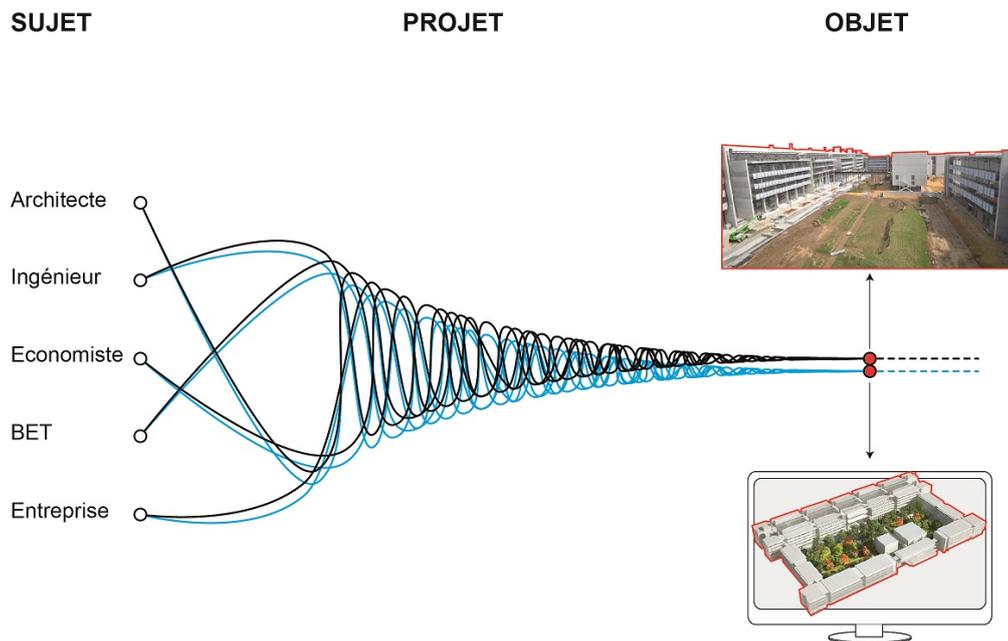


FIGURE 4.3 – Schématisation du dédoublement du projet architectural.

Source: Production de l'auteur

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Il y a deux projets qui ne sont pas les mêmes. Il y en a un en construction et l'autre est en construction numérique mais le problème c'est que tu ne contrôles véritablement aucun des deux. Tu n'en contrôles aucun!

4.3.2 Le projet BIM : un « projet double » à la temporalité raccourcie

Nous nous sommes attaché à montrer que les projets BIM, au delà de mettre en tension la fabrication du bâtiment physique et de la maquette numérique, entraînent une nouvelle considération théorique du projet architectural et suggère l'élaboration nouvelle d'un « projet double ». Cependant, la difficulté propre à cette nouvelle conception du projet architectural est que les objets produits ne sont pas élaborés de façon séparée mais au contraire, ils sont construits au cours de la même période temporelle. D'une certaine façon, ces deux objets « s'imbriquent » l'un dans l'autre car ils sont interdépendants car la réalisation de l'un dépend de la réalisation de l'autre. Dès lors, et puisque les acteurs de ces projets sont les mêmes, cela explique que nous pouvons parler d'un « projet double » et non pas de deux projets distincts.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Si tu casses une vitre, elle n'est pas cassée dans ton truc numérique. Il faut mettre à jour [...]. En fait, c'est comme si le numérique, c'était le cerveau et l'autre, c'est le corps [...]. Mais il faut qu'ils se parlent entre eux deux, mais les deux ils sont un. Pour moi, dans cette phase [d'exploitation-maintenance], les deux sont un [...].

Au tout début, en phase concours, [...], il y a juste un frère parce que le truc est en train de se monter [...]. Les ingénieurs travaillent de leur côté et toi tu travailles du tien. Après, c'est l'architecte qui contrôle le truc, donc pour l'instant il n'y a qu'un machin [ou maquette] [...]. Et après, il y a une phase où tu passes de un à dix mille, parce que tout le monde injecte des choses et du coup, ça devient deux choses. Il y a une métamorphose un peu bizarre [...] où les cellules se dupliquent à fond [...] c'est au niveau du DCE [...]. Après le chantier commence, la synthèse [...] et là c'est deux. Deux bâtiments [...] mais couplés! Et après [...]? C'est l'un est l'imaginaire de l'autre. Mais c'est comme dans le film *Strangers Things*^a : tu en vois un et l'autre, il est à côté dans un monde parallèle mais c'est le même monde, tout en n'étant pas le même, quoi!

a. Série télévisée basée un scénario où il existe deux mondes parallèles qui coexistent et où il est possible de passer de l'un à l'autre.

Pour Maria, il y a une vraie ambiguïté entre la maquette numérique et le bâtiment physique car « *les deux sont un* ». Il y a deux objets qui « *représentent* » la même chose. Notons que son interprétation des objets et du projet architectural va aussi dans le sens d'une forme de « *projet double* », dont les frontières sont encore floues, semble bien être à l'œuvre. De plus, Maria observe qu'il y a une alternance et une ambivalence entre les deux objets. Ils « *parlent* » l'un après l'autre. Parfois l'un prend le pouvoir sur l'autre. Cette alternance de pouvoir est aussi ce que l'on observe en réunion. Parfois les contraintes liées au coulage du béton prennent le pas sur la mise à jour des maquettes métiers. Mais c'est parfois l'inverse qui est observé et les problématiques liées à la diffusion des dernières maquettes métiers deviennent plus importantes que le déplacement des gaines et de leurs réservations.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°26, Juin 2018]

1. SYNTHÈSE - Il faut absolument qu'on essaye de travailler même avant la diffusion des maquettes car on voit bien que le chantier nous rattrape [...]!

ENTREPRISE A - Attends tu annonces le planning de rendu des prochaines maquettes mais c'est trop loin! Ce n'est pas cohérent avec le planning chantier!

SYNTHÈSE - Attendez, il n'y a pas deux plannings! Il y a qu'un seul planning et je suis conforme.

ENTREPRISE A - En tout cas, j'ai fait une annonce la dernière fois [...]. On ne va pas pouvoir. Moi je m'arc-boute sur le planning marché. Au-delà de la réalité des choses et de l'aspect contractuel c'est compliqué. On est sur des charpentes métalliques, on ne peut pas les retarder indéfiniment [...]! Vous [l'entreprise C], ce n'est pas du tout un reproche mais pour qu'on soit ok : vous pouvez mettre à jour votre maquette quand? Cette fin de semaine c'est bon pour vous?

ENTREPRISE C - On va essayer.

ENTREPRISE A - Donc on est ok pour mise à jour en fin de semaine.

Avant d'essayer de mesurer l'impact que peut avoir l'élaboration de la maquette numérique sur ce « *projet double* », il faut rappeler que, jusqu'à présent, la maquette numérique n'avait jamais été un pré-requis à la conception, à la réalisation ou à l'exploitation-maintenance d'un bâtiment. Or de nombreux spécialistes BIM, ou acteurs du *Grand Projet d'École* que nous avons rencontrés, considèrent que l'élaboration d'une maquette numérique permet de « *préparer le projet avant le projet* ». D'une certaine façon, en construisant une maquette numérique, il s'agirait de préparer virtuellement l'ensemble des phases de projet du bâtiment physique. Ce faisant, on peut considérer que la fabrication de la maquette numérique aurait alors « *un temps d'avance* » sur celle du bâtiment physique. De plus, comme le laisse présumer Christian Girard (Girard, 2014), les projets BIM mais aussi le développement fulgurant des processus F2F⁷ pourraient engendrer une condensation progressive des premières phases du projet et en particulier des phases de conception et de fabrication. Patrizia Laudati suggère d'ailleurs que les Technologies de l'Information et de la Communication ont tendance à modifier la linéarité séquentielle du projet pour le transformer en processus circulaire et synchronique (Laudati, 2017). Bilal Succar rappelle, lui aussi, que la nature même des modèles générés par les projets BIM et la demande précoce de données détaillées, encouragent justement l'accélération des phases du cycle de vie du projet (Succar, 2005). Dès lors, on observera progressivement un raccourcissement des tra-

7. File to Factory

ditionnelles phases de conception et de fabrication du projet architectural. Bilal Succar propose alors une schématisation très évocatrice des effets de la démarche BIM sur le déroulement du projet (figure 4.4).

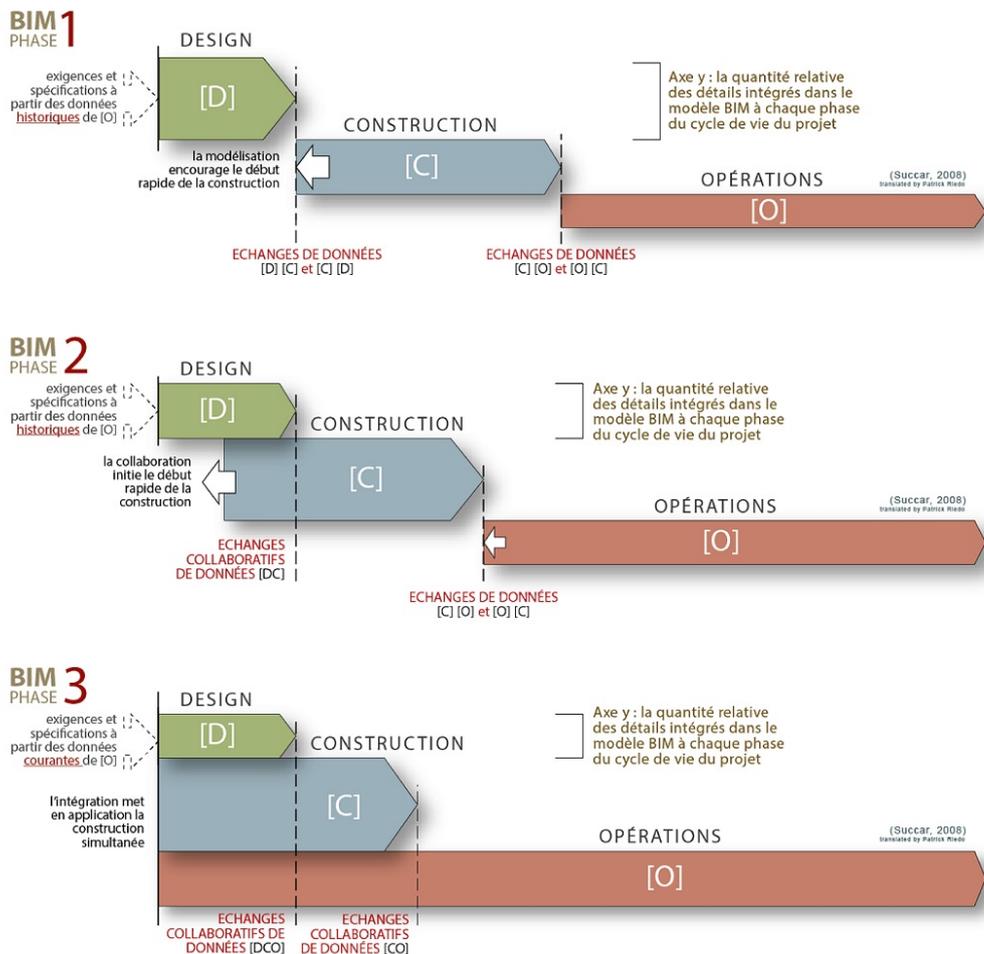


FIGURE 4.4 – Schématisation des effets de la démarche BIM : la temporalité du projet.

Source: (Succar, 2005)

La proposition du chercheur reprend une conception séquentielle du projet découpé en trois phases : conception, construction et exploitation-maintenance.

Dans un premier temps : BIM Phase 1, l'auteur considère que la modélisation (et donc l'élaboration de la maquette numérique) permet d'anticiper la phase de construction. Ceci aurait donc pour conséquence de préparer la phase chantier au point de pouvoir débiter les travaux le plus tôt.

Dans un second temps : BIM Phase 2, cette anticipation permettrait de débiter le chantier avant

même que la conception soit totalement finalisée. Ainsi les phases de conception et de construction se superposeraient et il en serait progressivement de même entre la phase chantier et la phase d'exploitation-maintenance.

Puis dans un troisième temps : BIM Phase 3, le procédé se généralise et toutes les phases débutent en même temps. Dans ce stade le plus avancé de la démarche BIM, le processus de projet n'est donc plus séquentiel mais totalement simultané. Les échanges sont synchronisés entre la conception, la construction et l'exploitation-maintenance.

Notons que dans les prévisions de Bilal Succar, on observe effectivement aussi un raccourcissement temporel du projet, dédié à la phase conception. La perspective d'un raccourcissement de la phase de conception est aussi envisagée par plusieurs chercheurs. Dominique Vinck (Vinck, 1999b) estime qu'avec les maquettes numériques, il « *est facile de générer des variantes sans repasser par l'atelier* ». De même, Jean-Baptiste Marie (Marie, 2019) remarque, lui aussi, que la démarche BIM a pour effet de condenser les phases du projet.

Ainsi, bien qu'utilisé comme objet encore mouvant et instable, l'élaboration de la maquette numérique semble déjà avoir pour effet de raccourcir et faire se superposer les phases séquentielles du projet. Et nous voyons alors que l'argument qui consiste à dire que « *l'architecte bénéficie d'une avance sur les autres concepteurs dans la connaissance du projet* » (Raynaud, 2001) est en passe de voler en éclat puisque la démarche BIM tend précisément à superposer les phases de conception, chantier et exploitation-maintenance. Ceci laisse donc entrevoir une diminution progressive du temps et de l'attention à la conception architecturale et donc à une part importante du travail de l'architecte.

Enfin, notons qu'il existe aussi un certain paradoxe à vouloir produire deux objets, et donc quantitativement plus de choses, tout en réduisant le temps dédié à leur conception et leur production. D'ailleurs, beaucoup d'entreprises du *Grand Projet d'École*, à l'image du discours de Yasmina, se sont plaints que le planning chantier n'était pas adapté aux contraintes temporelles que nécessite la réalisation de maquettes numériques.

Extrait d'entretien (Yasmina, cheffe de projet entreprise D) —

Le planning chantier est déjà très chaud et on rajoute de la maquette 3D. Et la maquette 3D il faut du temps, c'est-à-dire qu'il faut une maquette de conception, puis il nous faut le temps de faire nos études avant de venir sur le chantier [...]. On a cumulé toutes ces erreurs : on n'a pas pris le temps de faire les études, les entreprises étaient nouvelles et en plus, la grue est déjà là!

Donc on a fait toutes ces erreurs pour faire d'autres conneries sur le chantier [...].

Concernant les effets de cette superposition de phases, on observe au sein du *Grand Projet d'École* que certaines contraintes liées à l'exploitation-maintenance ajoutent déjà de la contrainte dès les premières phases de conception. Ces contraintes apparaissent pour certains architectes, prématurées lors des premières esquisses du projet.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Par exemple la maîtrise d'ouvrage va te demander si tu veux des clés aux portes ou des badges parce que les clés, ça peut coûter cher. Et ça, franchement, dans un concours, tu t'en fous totalement [...]!

Pourtant ne pourrait-on pas s'attendre à ce que la démarche BIM impose de nouveaux programmes non plus spatiaux mais techniques, organisationnels ou numériques pouvant aller jusqu'à définir le type de clés ou badges que souhaite utiliser le client ? Ce nouveau type de contraintes aurait alors pour effet de complexifier la pratique du projet des architectes telles qu'elle est réalisée aujourd'hui. D'ailleurs, remarquons que si le travail de l'architecte se focalise historiquement sur les phases de conception et de construction, la phase d'exploitation-maintenance reste principalement investie par le maître d'ouvrage et les exploitants. Rappelons que pour l'architecte Pierre, les directives et les besoins de la maîtrise d'ouvrage du *Grand Projet d'École* avaient atteint un niveau d'exigence tel qu'il leur a fallu faire appel à un bureau d'étude spécialisé en exploitation-maintenance. Tout porte alors à croire que les architectes devront investir de manière beaucoup plus profonde leur niveau de connaissance et d'expertise concernant les pré-requis de exploitation-maintenance assistée par ordinateur.

4.3.3 La concurrence entre les objets produits par le « *projet double* »

Extrait d'entretien (Léonard, Référent Synthèse de l'entreprise A) —

Avec le BIM [...] on rentre beaucoup plus dans les détails que auparavant. Avant, en 2D on faisait des trucs et on découvrait les problèmes sur le chantier et puis on résolvait un peu à la [l'ar-rache] [...] et ils étaient pardonnés parce qu'on ne pouvait pas faire vraiment autrement. Avec le BIM, comme on dessine vraiment en 3D, l'erreur ne pardonne pas [...]. D'ailleurs avec le BIM, on dit que l'erreur elle coûte dix fois plus chère sur le chantier. Et je pense que c'est vrai.

Nous l'avons vu, la construction de la maquette numérique nous permet de considérer le projet comme un « *projet double* » dont la temporalité et les séquences sont vouées à évoluer considérablement. En particulier, on observe qu'entre les deux chantiers de ces deux objets s'opèrent des ajustements perpétuels liés : aux temporalités propres à l'élaboration de chacun de ces objets et aux tolérances auxquelles ils sont respectivement soumis.

Concernant les temporalités d'élaboration de ces deux objets, il faut signaler que construire des maquettes numériques ajoute des temporalités qui leur sont propres. Nous avons effectivement vu qu'un projet BIM demande des temporalités supplémentaires. Par exemple : le téléchargement d'une maquette d'exécution demande plusieurs dizaines de minutes, la mise à jour du plug-in ou du logiciel BIM nécessite une coordination précise et peut provoquer des bugs informatiques, le viewer BIM ne permet pas l'intégration de commentaires ce qui nécessite une ressaisie ultérieure. On remarque alors qu'aux habituels retards du bâtiment physique : retard de livraison, intempérie sur chantier, négociation, changement de produit, s'ajoutent les retards propres à la maquette numérique : erreur de téléchargement, délais dans la production de maquettes d'exécution par le sous-traitant, version logiciel obsolète et non compatible.

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du Grand Projet d'École) —

De toutes manières, tu peux pas attendre, je peux pas te dire j'attends tous les lundis de mettre à jour parce que sinon j'ai trop de maquettes qui s'accumulent et j'y arrive pas à faire mes mises à jour ! Bon et puis les maquettes qui m'intéressent un peu moins que les autres par exemple les maquettes de réseau, a priori, j'en ai un peu moins besoin mais j'essaye, dès qu'elles arrivent, de les incrémenter comme ça je suis sûre que je suis toujours à jour. Mais c'est une vraie veille! Je dirai quotidienne... Mais oui, c'est pratiquement ça!

Lors des réunions de synthèse du *Grand Projet d'École*, on a ainsi pu repérer que les activités relatives à l'élaboration de chacun de ces objets ne sont pas du même ordre. Concernant le bâtiment : il s'agit plutôt d'anticiper et solutionner les problématiques architecturales et techniques pouvant survenir sur le chantier tout en assurant la cohérence spatiale de l'édifice. En revanche, concernant la maquette numérique, les actions consistent à détecter et corriger les erreurs de modélisation présentes dans les maquettes numériques de façon à assurer la cohérence des données et garantir la qualité de la future maquette DOE. D'ailleurs, et concernant la qualité des données, rappelons que le statut comme

les rôles des maquettes numériques ne sont pas donnés d'emblée. Il revient aux acteurs de déterminer la nature de la confiance qu'ils peuvent leur accorder. La légitimité des maquettes numériques n'est ainsi assurée que par la qualité des données qu'elles contiennent et la confiance que leur portent les acteurs qui la mobilisent. Le discours des différents acteurs du *Grand Projet d'École* démontre souvent qu'il y a une réelle méfiance vis-à-vis des informations que rendent disponibles les professionnels à travers leurs maquettes métiers soit parce qu'ils manquent de compétences soit parce qu'il omettent volontairement d'informer certaines parties de leurs maquettes métiers.

L'important écart que nous avons pu observer au sein du *Grand Projet d'École* concerne la tolérance à laquelle est soumis chacun des objets du « *projet double* ». En effet, essayer de mettre en place une correspondance exacte entre un bâtiment et une maquette numérique se révèle finalement être plus problématique qu'il n'y paraît.

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du *Grand Projet d'École*) —

L'idée est justement à terme qu'on arrive pratiquement à avoir une maquette qui soit presque copie conforme de ce qui a été conçu, ça c'est le but ultime. C'est de faire des assemblages, c'est faire de l'industrie, je dirais, le bâtiment est en train de se transformer en industrie. C'est là où on va. On prend, on récupère des processus qui existent depuis longtemps, hein! L'idée c'est de faire du zéro défaut. [...] On n'est pas encore à ce niveau là [car] [...] il y a toujours des petits deltas, mais à terme, c'est ça [...]! On le sait bien, ça ne peut pas être parfait mais le but c'est ça, c'est arriver à quelque chose qui soit le plus cohérent où on ait le moins de surprises possibles. On a essayé de prendre en compte le maximum de tolérance et ça [...] c'est un vrai souci! On fait du BIM mais on ne prévoit aucune tolérance dans le BIM. Là, il y a un vrai gros enjeu!

Plusieurs professionnels du *Grand Projet d'École* nous ont alors rapporté leurs expériences relatives aux défauts que représente le différentiel de tolérance entre la matérialité d'un chantier et l'apparente perfection d'une maquette numérique.

Extrait d'entretien (Amélie, Responsable synthèse architecturale au sein du Grand Projet d'École) —

Par exemple : tu vas travailler un détail d'un seuil et tu vas avoir une tôlerie [...] qui va arriver pile poil sur ton élément béton. Donc sur ton détail, en modélisation, c'est parfait, ça marche très bien. C'est un détail mais il est parfait! Mais quand tu commences à regarder, tu fouilles un peu dans les contraintes du gros œuvre et que tu regardes ses tolérances, tu regardes qu'il peut être plus un en dessous ou plus un en dessus. Donc tu commences à réadapter ton détail en fonction de ces hypothèses là donc tu fais évoluer ton modèle. Il y a un certain nombre de détails qui évoluent et tu te rends compte que ton détail ne marche plus [...]

C'est pas parce que quelque chose fonctionne dans la maquette que ça fonctionne forcément sur le chantier. Et ça, c'est vraiment un point où nous, la synthèse, on essaye de mettre en garde [...]. Parfois on s'est dit on va tester sur place. C'est OK dans la maquette et ça fonctionne [...] et il faut quand même qu'on voie comment on va le mettre en œuvre. Parce qu'on n'est pas à l'abri qu'un compagnon fasse finalement quelque chose d'un peu différent ou qu'il ait aussi une idée différente [...]. Il y a quand même cet aspect-là, chantier, « vraiment pur » qu'il ne faut pas négliger et ça c'est vrai que dans la maquette BIM aujourd'hui, on n'est pas encore à l'utilisation telle qu'on la voudrait.

Notons ici qu'Amélie soulève en filigrane un élément important et qui concerne le savoir-faire des compagnons et artisans. En effet, la responsable de synthèse explique bien que ce qui est faisable dans la maquette numérique ne l'est pas forcément sur le chantier. Cependant, et puisque la modélisation des maquettes métiers arrivent nécessairement en amont du chantier, on peut se questionner sur la place qu'il restera aux innovations qui s'opèrent in situ, directement sur le chantier. Or les chantiers de construction sont des espace-temps où se réalisent aussi des innovations et où de nouvelles solutions constructives sont découvertes. Bien entendu, et comme l'ont rappelé plusieurs professionnels du *Grand Projet d'École*, puisque la démarche BIM impose la réalisation du chantier par l'intermédiaire de la maquette numérique, elle favorise alors une construction industrialisée et standardisée à défaut d'une construction plus artisanale.

Extrait d'entretien (Emeric, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

L'exemple de base [...] c'est le macro-lot qui a plusieurs spécialités : façade, verrière, bardage, serrurerie extérieure, clôture. Ils bossent tous avec le même bureau d'étude BIM [...] qui leur

fait la modélisation [...]. Mais du coup les problématiques sur les maquettes et celles sur chantier sont relativement séparées [...].

On demande [à l'entreprise] de dessiner un détail de tôlerie où ça va contre un poteau. Lui il dit : « *Non mais attendez, je ne comprends pas, j'ai vingt centimètres entre ma façade et mon poteau* ». Nous on lui dit : « *Non, non mais allez voir sur site! Ils n'ont pas du tout fait ça! Donc aujourd'hui t'as plus vingt mais cinq centimètres, donc ça marche!* ». Et il dit : « *Mais la maquette n'est pas arrivée* ». La maquette [de l'autre entreprise] n'est pas arrivée, donc il n'est pas content parce qu'il doit redessiner les éléments du gros œuvre lui-même dans sa maquette pour être sûr d'avoir un élément à jour! Et ça c'est pas vraiment optimal.

Face à ces différentiels entre les deux objets, il s'opère une forme de « *compétition* » qui détermine tour à tour quel objet du « *projet double* » est le plus important ou fiable. Maria nous expose alors son expérience au sein du *Grand Projet d'École* et l'épreuve de réalité que constitue le moment où on coule le béton et où la matière fait que le projet de bâtiment devient réalité.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la *Grande Agence d'Architecture*) —

Le physique à la fin, c'est celui qui règne! C'est déjà le cas en chantier et ce le sera toujours. Car c'est lui qui pilote. Et l'autre, le numérique, il va changer, se métamorphoser comme il peut pour suivre le cours du chantier et du bâtiment [...]. Il faut regarder quand les choses commencent et se terminent. Un moment intéressant c'est le moment où le béton va être terminé, les réseaux aussi et le second œuvre arrive. Là, on va se rendre compte que la gaine placée ici est très encombrante et il va falloir régler des problèmes qui sont dictés par la réalité du chantier. Car pour le moment c'est la maquette qui modifie l'existant mais à un moment donné c'est l'existant qui va modifier la maquette numérique. Pour le moment c'est le virtuel qui dicte le bâtiment réel mais il va y avoir un moment où c'est le réel qui va prendre le pas sur le virtuel [...]. C'est comme un couple avec d'abord l'un prend la parole puis c'est l'autre.

Extraits de réunion de synthèse

[Réunion n°19, Avril 2018]

1. ENTREPRISE A - Le 15 mai il faut lancer les cahiers d'armatures, sinon on est planté!

OPC - Aujourd'hui la synthèse sous-sol n'est pas terminée. On a quinze jours de retard. La production est en train de nous rattraper et eux ils sont prêts! Là si on n'est pas capables d'avancer ça va mal aller. Clairement la production va partir ensuite vous êtes responsables de vos réservations [...]! Mais on n'arrête pas la production. On vient de planter quatre grues! Elles doivent envoyer du béton! On n'arrête pas la production! Donc il faut que vous diffusiez vos maquettes!

[Réunion n°20, Avril 2018]

1. ENTREPRISE A - Il faut lancer les cahiers d'armatures maintenant sinon on est mort!

OPC - Ok, vous lancez! Et si les entreprises ont des réservations elles en assureront les conséquences.

ENTREPRISE C - Mais attendez, on n'a pas de plans! On n'a même pas visé les plans! Je ne comprends pas comment on peut lancer la production sans avoir visé les plans?

OPC - Oui mais on n'arrête pas le chantier!

ENTREPRISE C - Sinon on arrête le chantier.

OPC - Non on n'arrête pas le chantier!

[Réunion n°23, Mai 2018]

1. ENTREPRISE A - On fait quoi? On reprend la version 11 de la maquette? On peut partir pour le béton armé?

ENTREPRISE C - Attendez, on prend la version 11 ou la version 12? Parce que ça, c'est pas à nous de le dire!

SYNTHÈSE - Attendez, on parle de ce qui est faisable là! On n'est pas en train de regarder le versioning!

ENTREPRISE A - Bon alors on part sur des poutres en béton armé si ça va à tout le monde, comme ça, ça coupe court à toute tergiversations et on avance!

2. SYNTHÈSE - C'est une analyse de synthèse! De synthèse donc pas de faisabilité! Si c'est un problème d'infaisabilité, il faut que vous le voyiez entre vous.

[Réunion n°24, Mai 2018]

1. ENTREPRISE A - Là, il faut qu'on se fixe sur les poutres, j'ai envie de dire avant cet après-midi!

ENTREPRISE C - Mais là vous nous prenez en otage!

ENTREPRISE A - Non, non, je ne prends personne en otage! Là on ne peut juste plus réintégrer une maquette complète!

ENTREPRISE C - Il faut donc qu'on le formalise.

ENTREPRISE A - Je suis désolé, on ne peut pas faire autrement que sur un coin de table[...].

RESPONSABLE OPC^a - Attendez, pour faire ce plan de coffrage vous êtes partis sur des choses qui n'ont pas été signées?

ENTREPRISE A - [Ne répond pas]

ENTREPRISE C - Il faut aboutir le travail sur la maquette?

RESPONSABLE OPC - Oui, il le faut!

ENTREPRISE C - Le problème c'est que vous [entreprise A] avez fait votre plan de coffrage sur la mauvaise maquette.

ENTREPRISE A - Mauvaise pour vous, bonne pour nous!

ENTREPRISE C - Mais là on était dans un processus où on intègre de l'intelligence. Où on était capable de cocher des cases, d'afficher des réservations supprimées ou modifiées. Et là vous partez sur une ancienne maquette qui n'a plus cette intelligence [...]. Bon on fait quoi maintenant? Qui arbitre? Qui pointe? La direction du projet peut-elle prendre une décision?

[Silence, personne ne semble vouloir ou pouvoir prendre de décisions]

ENTREPRISE C - Le plan que vous nous montrez, il est issu de la maquette réservation que vous nous avez transmis hier?

ENTREPRISE A - Non...

ENTREPRISE C - Bon est-ce qu'on pourrait avoir une version numérique de ce plan sous Autocad[®] ou Revit[®]?

ENTREPRISE A - ... [ne répond pas]

ENTREPRISE C - Est-ce que vous avez une maquette de ces plans de coffrage?

[Silence]

SYNTHÈSE - Est-ce que vous avez la maquette de ces plans de coffrage?

ENTREPRISE C - Le problème c'est justement qu'on n'a pas de maquette sur les plans de coffrage!

a. Organisation Pilotage Coordination

A travers les discours des différents acteurs et les observations de terrain, on constate une forme de tension, une mise en concurrence des deux objets du « *projet double* » qui se traduit par une opposition entre des problématiques inhérentes à la construction du bâtiment physique et le nouveau processus mis en place pour élaborer la maquette numérique. A plusieurs reprises les interventions du directeur de synthèse marquent cette dichotomie entre les projets : « *le problème ce n'est pas le fond, c'est la forme* » ; « *C'est une analyse de synthèse [...] et pas de faisabilité. Si c'est un problème d'infaisabilité, il faut que vous voyiez entre vous* » ; « *Attendez, on parle de ce qui est faisable, on n'est pas en train de regarder le versioning* ». Les oppositions fond-forme, ou faisabilité-versioning renvoient alors implicitement au chantier du bâtiment physique d'une part et à l'élaboration de la maquette numérique d'autre part.

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

Par exemple on a eu une réunion on a dévoyé deux gaines et pour ça il va falloir élargir un peu le placo. Dans ce cas, [l'entreprise] qui est responsable du placo n'arrive pas à le faire en BIM mais par contre ça ne lui pose pas de problème dans la réalité. Alors il y a un clash [dans la maquette]. Mais dans la réalité il n'y a pas de clash car tu sais que ça a déjà été résolu. Du coup comme chacun fait vivre la maquette comme il peut, si tout le monde n'est pas à jour le résultat final c'est un Frankenstein.

Enfin, nous avons aussi remarqué que parmi les acteurs produisant les maquettes numériques aucun ne semblait se soucier véritablement de leur devenir après la livraison de l'ouvrage et de la maquette DOE. Pour la grande majorité des acteurs, et au delà du formalisme contractuel, l'intérêt

demeure d'aider à la réalisation du chantier et pour les entreprises les plus alertes d'arriver à dégager de nouvelles marges financières. On constate alors que les atouts théoriques de la maquette numérique liés à l'exploitation-maintenance ne sont presque jamais cités par les acteurs interrogés. D'ailleurs, la plupart ont une réelle méconnaissance de ce qu'il adviendra de leurs maquettes métier une fois le bâtiment livré. Pourtant, la maîtrise d'ouvrage, a dès le début de la démarche BIM démontré son intérêt pour la récupération et l'exploitation des maquettes et plus précisément des données qu'elles renferment. Et même si notre enquête s'est arrêtée avant la livraison du *Grand Projet d'École*, il nous est apparu important d'essayer de comprendre et analyser ces attentes.

4.4 De l'exploitation-maintenance à la smartcity

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Dans un projet, une fois que tu as fait : la programmation, la conception et les travaux, la concrétisation ultime se trouve plus dans l'exploitation et la maintenance où tu récupères le DOE numérique. Le véritable intérêt, qui n'est peut-être pas unique, c'est d'obtenir, de gérer et surtout de valoriser la data du bâtiment. Cela permet de faire du business intelligence qui est de la valorisation de data du bâtiment en y intégrant l'ensemble des datas des systèmes qui structurent une entité.

Si, comme le rappelle Pierre, l'ancien *Partner-Associé* de la *Grande Agence d'Architecture*, il demeure rare que les architectes aient une connaissance approfondie des contraintes liées à l'exploitation-maintenance du bâtiment c'est en grande partie car leur domaine d'expertise concerne principalement la conception et la construction. La gestion des édifices sont effectivement des tâches qu'ils laissent volontiers aux exploitants. Cependant, force est de constater que la démarche BIM, et l'interprétation de la construction en coût global notamment rendue possible grâce l'exploitation des données de la maquette numérique constitue un nouveau levier pour comprendre comment pourraient se construire les bâtiments et la ville de demain. En effet, dans la pratique, une partie des données implémentées dans les maquettes numériques sont destinées à fonctionner et communiquer avec une batterie de capteurs et de sondes capables d'alimenter les logiciels de GTB⁸ et de GMAO⁹.

8. Gestion Technique du Bâtiment

9. Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur

Extrait d'entretien (Maria, architecte au sein de la Grande Agence d'Architecture) —

L'objectif c'est de faire une maquette numérique pour la maintenance donc il faut que le bâtiment construit soit exactement celui réalisé en maquette. Parce que s'il faut changer des ampoules cette maquette va te dire que trois ampoules sont cassées dans un secteur et qu'il va falloir les changer [...]. [Dans] les façades on a mis des sondes pour détecter l'humidité [...] parce qu'il fallait que ce soit relié avec la GTB. Il faut que le clapet [en façade] [...] il est toujours fermé et quand il y a de gens, un congrès ou autre chose, il faut qu'on puisse dire à la GTB : « *il y a un congrès : mets toi en position congrès. Donc toutes les portes sont ouvertes et il ne faut pas de badges ou au contraire il en faut* ». Et ça, c'est des données qu'on donne à notre ingénieur électricien comme ça il peut configurer la chose. Et pour les portes, la maîtrise d'ouvrage pourra savoir qui rentre par où et avec quel badge [...]. Quand il y a du soleil il y a des stores qui descendent, parce qu'il y a une sonde reliée à une GTB et la GTB dit : « *écoute la sonde de là-bas, elle me dit qu'il fait chaud alors il faut descendre le truc* ». Ça, ça existe et fonctionne déjà pour les façades [...]. L'arrosage du jardin, il est aussi relié à la GTB [...] il a un logiciel spécifique à lui. Et après, ce logiciel envoie des informations à la GTB pour définir avec quelle fréquence arroser le jardin.

Extrait d'entretien (Paul, Chargé de transition numérique bâtimentaire) —

Tu as un outil métier [...] qui est par exemple la GTB^a. Il y a la GTB et des automates et derrière il y a des équipements [...]. Donc ces automates, ils pilotent les équipements, en autonomie. Et si tu veux afficher des données [des équipements] [...], tu dois les faire transiter par le réseau informatique [...]. Or l'automate il va être probablement géré par le prestataire du métier. C'est à dire que si c'est un automate CVC, ce sera le prestataire CVC. Qu'est-ce qui se passe quand il y a un problème de communication? Qui fait quoi? Où sont les responsabilités [...]? Tu ne laisses pas ta maquette à un mec qui te fait croire la veille à l'interopérabilité entre le BIM et la GEM^b [...]!

^a. Gestion Technique du Bâtiment

^b. Gestion Exploitation Maintenance

Ce nouvel outillage du bâtiment, destiné à communiquer avec la maquette exploitation-maintenance construit alors un nouvel « usage » des bâtiments. Dans les exemples que donne Maria sur le *Grand Projet d'École* on constate alors que certains usages ou fonctionnalités du bâtiment deviennent « automatiques » : les clapets se ferment automatiquement, les portes laissent ou non entrer le visiteur,

l'arrosage se met en marche lorsqu'il fait trop chaud... De plus, comme le signale Paul, le chargé de transition numérique bâtementaire du *Grand Projet d'École*, avec l'introduction de multiples automates et nouveaux équipements, il se pose alors la question de savoir qui assure la maintenance de ces nouveaux équipements ? Jusqu'où la maîtrise d'ouvrage accepte-t-elle de rendre disponible les informations que contiennent ses équipements ou ses capteurs ? Aussi, si ces nouveaux dispositifs techniques peuvent apporter un nouveau type de confort ou d'usage, ils apportent aussi de nouvelles formes de contraintes et mais surtout, comme le rappelle Sébastien, détenir les informations et le matériel ne demeure pas pour autant le synonyme d'une bonne exploitation-maintenance.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Il y a pas mal de personnes qui expliquent qu'il est possible d'avoir une grande quantité d'informations et que la bonne connaissance de son patrimoine immobilier implique que l'on va pouvoir le maintenir de manière pérenne. Tout ceci est complètement faux car ce n'est parce que l'on dispose de l'information que l'on a l'argent et la volonté de maintenir le bâtiment. Il faut garder à l'esprit que le numérique permet d'avoir accès à de l'information qui peut être nécessaire à la maintenance mais il ne fait pas la maintenance!

D'après ce que nous avons pu observer auprès du *Grand Projet d'École*, une des grandes difficultés concernant l'exploitation-maintenance d'un bâtiment doté d'une maquette exploitation-maintenance réside dans le manque d'entreprises spécialisées dans la gestion de ces données. En effet, puisque les données modélisées et implémentées par les entreprises de construction sont encore relativement « nouvelles » et peu codifiées ou normalisées, le marché de l'exploitation-maintenance adossé aux maquettes numériques apparaît encore jeune.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Ce que je vois c'est qu'en terme d'exploitation-maintenance, il y a très très peu, voire aucun, gestionnaire d'exploitation-maintenance qui sache véritablement bien utiliser les données numériques. Aujourd'hui c'est le far ouest. C'est le grand ouest plutôt.

Paul, le chargé de transition numérique bâtementaire du *Grand Projet d'École*, constate aussi qu'il existe un vrai manque de compétence BIM pour les ingénieurs d'exploitation maintenance. Dès lors, les problématiques qui concernaient les entreprises de construction se déplacent à la maîtrise d'ouvrage. En effet, la maîtrise d'ouvrage se retrouve à devoir exploiter et maintenir deux objets : une maquette

numérique et un bâtiment et doivent donc engager du personnel qualifié. Tout comme l'exemple de Léonard, le responsable synthèse de l'entreprise A, la maîtrise d'ouvrage se retrouve face au choix de recruter un professionnel ayant des compétences BIM mais peu d'expérience en exploitation-maintenance ou bien de faire monter en compétence BIM du personnel qualifié en exploitation-maintenance.

Extrait d'entretien (Paul, Chargé de transition numérique bâtimentaire) —

Là, pour moi, il y a un nouveau métier qui arrive. Avant, on avait des ingénieurs d'exploitation, qui s'occupaient de la partie exploitation-maintenance et GMAO [...]. Et puis on a des BIM manager ou des techniciens BIM, qui modifient tout ça. Maintenant, si [BIM et GMAO] sont liés, il faut qu'on ait une vision globale, c'est à dire une couche supérieure qui pilote l'ensemble. Mais qui pilote? Parce que, aujourd'hui, personne ne sait faire en automatique, on supprime un élément dans la maquette mais ce n'est pas automatique sur la GMAO et vice-versa [...]. Pour piloter ça j'imagine un ingénieur d'exploitation et une casquette BIM [...]. A mon avis, il faut embaucher un ingénieur d'exploitation maintenance qu'on fait monter en compétence BIM [...] parce qu'on trouvera pas sur le marché du travail, ça n'existe pas! [...] Et son travail ce sera de faire vivre la maquette, faire vivre la donnée [...] de la maquette et des objets qui sont dedans [...]. Il gère l'intégrité de la maquette [...]. Et surtout il fait respecter la charte aux BIM managers et aux entreprises qui vont faire les futurs travaux [...]. Si on n'arrive pas à garantir l'intégrité des données [...] si on ne fait pas ce travail [...] en deux ans, c'est mort [...]. Les données ne seront plus justes et tous les utilisateurs vont contourner la chose, créer de nouveaux fichiers à côté.

Enfin, si la construction de maquette exploitation-maintenance peut permettre d'aider techniquement la maintenance et l'exploitation du bâtiment, on constate que les usages des données informatiques ne s'arrêtent pas là. En effet, dans le cas du *Grand Projet d'École*, les données contenues dans la maquette exploitation-maintenance doivent aussi permettre de mettre en place une série de nouveaux usages numériques du bâtiment.

Extrait d'entretien (Paul, Chargé de transition numérique bâtimentaire) —

Il y a un chercheur étranger. Il arrive à Orly, il prend le RER. Il n'a pas réservé sa salle, [...] il arrive sur le site [...] via son application mobile. [Grâce à] une géolocalisation à cinq mètres il [est] guidé pour aller à sa salle de réunion [...]. Mais je veux que si un ascenseur est en panne [...], je veux que le bidule aille chercher l'information dans le pilotage du bâti-

ment[...] et que l'application me recalcule l'itinéraire. L'idée c'est de mettre un genre de Weeze [...]. Je pensais aussi [...] au lieu de remettre un guide papier [...] on remet une tablette wifi qui reste dans le bâtiment [...] comme ça on règle la problématique des gens qui n'ont pas de smartphone [...]. Ils ont leur guide et tout va être appuyé sur le numérique [...]. Et là, tu fais de l'innovation! Plus de papier, zéro papier, là, t'es HQE! Par contre tu prélèves un peu de métaux pour construire ta tablette mais bon. [rires]

Le chargé de transition bâtementaire, projette ainsi que des « *smart applications* » puissent puiser dans la base de données de la maquette numérique afin de proposer de nouveaux services d'appropriation et de gestion d'itinéraire au sein du bâtiment. Après nous être entretenu avec d'autres membres du personnel administratif de la Grande École, d'autres initiatives ont été évoquées telles que la réservation de salle, de vidéo projecteur ou de matériel via une application. Ces informations devront être recoupées et gérées avec la gestion des badges de porte mais aussi avec le service des ressources humaines. Avec la production de ces maquettes numériques, il s'opère alors une forme de mutualisation des différentes bases de données. Cette mutualisation s'opère entre la base de donnée BIM (la maquette numérique) qui est une base de données que l'on pourrait qualifier de spatiale avec tout autre type de base de données déjà pré-existante : la base de données du service financier, la base de données du service informatique, celle du service de restauration ou encore celle de la bibliothèque... Bien entendu, ces bases de données ont aussi vocation à s'échanger et à être mutualisées en dehors du bâtiment et avec la ville.

Extrait d'entretien (Sébastien, Assistant Maîtrise d'Ouvrage) —

Métaphoriquement on se rapproche de l'idée d'une cellule. Considérer la ville comme un organe fait sens parce qu'une ville gère des flux (embouteillages), elle fait face à de la contamination ou des virus (pollution) et que l'on est capable grâce aux datas d'avoir accès à ces informations et que l'on peut agir en conséquence [...].

Le schéma qu'on développe sur [le *Grand Projet d'École*] et d'autres bâtiment alentours, c'est la mise en place d'un cœur de réseau. C'est à dire que les datas on les stocke dans un espace et les différents logiciels viennent ensuite puiser les informations qu'elles souhaitent. Le cœur de réseau est donc connecté à tous les services mais on le connecte aussi à la ville! C'est précisément grâce à cela que l'on peut valoriser les datas [...]. [Le *Grand Projet d'École*] va être une brique interopérable avec une codification de sa data pour la CIM ou la smartcity [...].

A partir du moment où on est capable d'échanger des données très facilement, un objectif peut être de mettre en place des commandes groupées et de systématiser ces actions afin de rapidement capitaliser des gains financiers [...]. Il y a une grande difficulté à développer une politique globale de smartcity ici comme ailleurs. Il y a bien entendu une problématique sous-jacente qui est la gouvernance des datas. Personne n'est vraiment d'accord sur ce point car gouverner des datas présuppose de savoir : de quelles datas parle-t-on ? Qui les récolte et les gère ? Quels sont les droits et les usages qui en sont faits ? Qui paye quoi ? Qu'en est-il de la privacité ? Par ailleurs, imposer une codification de l'information et définir les informations qui doivent être disponibles ou pas ça reste possible à l'échelle d'une ou deux entités bâtimentaires [...] mais cela reste encore difficile à grande échelle.

A ce niveau là de changement d'échelle, il devient certainement plus pertinent de parler de CIM que de BIM. Mais toutes les observations et analyse réalisées sur la démarche BIM pourraient s'appliquer à la démarche CIM qui n'est, in fine, qu'une extension de la démarche BIM. D'ailleurs, et lorsqu'il s'agit d'envisager la ville ou une nouvelle forme de smartcity, Sébastien utilise, lui aussi, les mêmes métaphores que Maria en considérant que le numérique impulse une nouvelle forme de « *vitalité* » aux objets, que ceux-ci soient des bâtiments ou des villes.

Conclusion

Ce quatrième et dernier chapitre a été l'occasion de pousser notre compréhension des effets pratiques du BIM dans quatre directions : la pratique des architectes, les nouveaux mécanismes mis en place par les entreprises, la redéfinition théorique du projet architectural et enfin l'importance de l'exploitation-maintenance dans les enjeux BIM déterminant une redéfinition possible de la smartcity.

Concernant les architectes, l'élaboration de la maquette numérique engendre une série d'évolutions de leurs pratiques qui s'incarnent à travers deux nouvelles compétences : la compétence de modélisation et la compétence de gestion et d'organisation du processus BIM (organisation, gestion et management des informations numériques). A travers la spécificité des logiciels BIM mais aussi de la logique automatique de la démarche BIM, les compétences des architectes s'articulent de plus en plus vers la maîtrise de compétences informatiques aux dépens de compétences liées à la représentation. Ainsi avec la démarche BIM, les compétences des architectes ont tendance à se déplacer depuis la maîtrise et la gestion de l'espace vers la maîtrise et la gestion de données numériques.

Par ailleurs, la compétence de modélisation et de gestion numérique ne touche pas uniquement les architectes mais concerne l'ensemble des corps de métiers impliqués dans la mise en œuvre du bâtiment. Bien entendu, les entreprises de construction se doivent de modéliser les ouvrages dont elles ont la responsabilité. Dès lors, ce nouvel impératif impacte l'organisation des différentes structures qui font le choix : soit de faire monter en compétence leurs employés ou de recruter du personnel qualifié (BIM modelleur), soit de sous-traiter les missions relatives à la modélisation de leur maquette métier. La sous-traitance de ce nouveau travail, pourtant central pour les projet BIM, entraîne une reconfiguration des marges financières et les contraint à développer de nouvelles stratégies entrepreneuriales afin de minimiser le coût ou le sur-coût lié à la production de maquettes numériques.

Les considérations précédentes nous permettent de comprendre que selon que l'on considère l'élaboration du bâtiment physique ou de la maquette numérique, différents types de compétences mais aussi des stratégies émergent. Dès lors, en constatant que la maquette numérique peut être considérée comme un objet « *vivant* » au même titre qu'un chantier de construction, il devient alors possible de considérer que les projets BIM sont en réalité des projets doubles. Un projet BIM peut alors être théoriquement interprété comme un « projet double » où s'opère la construction de deux objets : un bâtiment et une maquette numérique dont les réalisations, bien que intimement liées, demeurent en concurrence. On constate alors que la démarche BIM entraîne un raccourcissement de la temporalité

du projet mais aussi une superposition progressive des séquences du projet.

Enfin, pour comprendre l'intérêt globale de la démarche BIM du *Grand Projet d'École*, il nous a fallu nous intéresser à la phase d'exploitation-maintenance de la maquette numérique. On comprend alors que les enjeux que supportent l'exploitation-maintenance révèlent des intérêts économiques principalement dus à la plus-value qu'apportent les données et les méta-données informatiques contenues dans la maquette numérique. Or l'utilisation et la gestion de ces données changent notre façon de penser les usages et la manière d'habiter. Une compréhension plus poussée de leur utilisation et de leur potentiel doit alors nous permettre de mieux comprendre comment est en train de se construire la CIM ou smartcity.

Conclusion

Les enseignements de la thèse

Ce travail de recherche a été motivé par la volonté de déceler et comprendre les enjeux qui se nouent au travers de l'engouement pour la démarche BIM. Cette thèse débute à la fin de l'année 2016 et s'inscrit dans une période encore précoce du développement des projets BIM en France. Or, bien que les retours d'expérience à propos de la démarche BIM demeurent quasi-inexistants, force est de constater que les discours médiatiques à son sujet sont unanimes. D'ailleurs, la définition BIM de la norme BIM ISO 19650-1 :2018, annonce explicitement que le BIM « *facilite les processus de conception, de construction et d'exploitation* ». Au cours de ces quatre dernières années, nous avons ainsi pu lire pêle-mêle : « *le BIM facilite la collaboration* » ; « *le BIM améliore la conception* » ; « *le BIM améliore les performances du bâtiment* » ; « *le BIM est un atout pour l'architecture* »... Cependant, le regard critique que nous portons sur le monde qui nous entoure et sur l'architecture en particulier, a toujours été animé par ces questions : le BIM peut-il vraiment résoudre de manière magique toutes les problématiques d'un projet architectural ? Où sont les contreparties et quelles sont-elles ?

Avant de débiter cette recherche, nous pensions, comme beaucoup d'architectes encore aujourd'hui, que le BIM était un logiciel. Nous pouvons le dire a posteriori : c'est par une mauvaise compréhension des éléments qui nous entouraient et par une fausse question que nous sommes entré dans ce doctorat. A cette époque, nous ne savions ni ce qu'était la démarche BIM, ni ce qu'elle apportait au projet architectural. Aussi, pour espérer circonscrire les enjeux que supporte cette innovation, nous avons eu besoin d'un ancrage empirique, un projet suffisamment important et impliqué dans la démarche BIM pour nous permettre de comprendre comment le BIM affecte le projet dans toute sa complexité. Et c'est le *Grand Projet d'École* qui a été pour nous le sujet d'investigation pour mieux comprendre ces enjeux. Un projet qui, puisque unanimement remarqué pour son implication dans le BIM, ne pouvait que nous éclairer dans notre quête de compréhension.

Notons que cette thèse ne relate pas le lent et patient travail préliminaire de présentation, de négociation, d'acceptation et de validation de ma recherche au sein du *Grand Projet d'École* pour mieux se concentrer sur le cœur de notre sujet : la démarche BIM au sein du processus projet.

Dans l'écriture du manuscrit, le premier chapitre restitue le travail de compréhension générale du BIM. Ce chapitre est un ancrage permettant au lecteur de mieux comprendre les enjeux, qu'ils soient politiques, sociétaux, historiques, économiques ou sociaux. Cette prise de hauteur sur le sujet du BIM,

si elle s'est opérée tout au long de la thèse, est restituée en un « bloc » de façon à circonscrire le contexte dans lequel s'est réalisée l'enquête mais aussi de laisser davantage de place au travail ethnographique.

Dans ce premier chapitre, nous nous sommes attaché à dissiper un certain nombre d'incompréhensions liées au BIM, à ses définitions et ses interprétations. Le BIM n'est définitivement pas un logiciel : c'est une démarche, une manière de mener un projet. Cette démarche entraîne avec elle un ensemble de pratiques, de technologies, de processus mais aussi une nouvelle philosophie ou pensée, de l'acte de construire. Nous tirons de ce travail d'explicitation une première conviction : le cœur de la démarche BIM, c'est l'élaboration d'une maquette numérique. Ce nouvel objet centralise effectivement les informations numériques destinées, en principe, à « *faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation* ». Dès lors, pour comprendre les effets de la démarche BIM, il devient nécessaire de comprendre comment s'élaborent les maquettes numériques.

Là encore, il nous est apparu important de nous attarder sur la spécificité des nouvelles maquettes numériques BIM. En effet, la modélisation orientée objet de ces maquettes numériques ainsi que l'implémentation de métadonnées associées aux modèles géométriques, permet d'établir qu'une nouvelle famille de maquettes numériques est née. Leurs propriétés et les informations qu'elles contiennent, permettent de ne plus limiter leur usage à un rôle de représentation : elles deviennent des outils pouvant assister toutes les phases du projet depuis la programmation jusqu'à l'exploitation-maintenance ! Par ailleurs, on constate aussi que ces nouvelles maquettes relèguent, progressivement, les maquettes physiques de conception au second plan. Ce faisant, c'est bien entendu l'expertise mais aussi le pouvoir créateur des architectes rattachés à cet objet symbolique qui est mis à mal.

Pour comprendre comment la production de maquette affecte le projet et ses acteurs, il faut savoir d'où vient la démarche BIM. En effet, croire que les maquettes numériques de type BIM constituent une évolution intrinsèque à l'architecture ou au secteur de la construction est une erreur. La démarche BIM est en effet issue d'un transfert de pratiques et de technologies éprouvées au sein du secteur de l'industrie aérospatiale et automobile que l'on retrouve sous l'acronyme de PLM (Product Life Management). Ceci change la perspective d'appropriation de la démarche BIM puisque les modèles de production du secteur du bâtiment et ceux du secteur de l'automobile sont bien différents. Et si on ne conçoit et ne construit pas un bâtiment comme une voiture, la démarche BIM ouvre la voie à une profonde industrialisation de l'acte de construire.

Enfin, pour comprendre le champ dans lequel évolue l'innovation BIM, il nous est apparu nécessaire de relever les positions d'acteurs qui encouragent son déploiement. Ainsi, on remarque que les

politiques publiques françaises adoptent une ligne de conduite ouvertement favorable à une appropriation généralisée des projets BIM. Cette incitation semble répondre aux effets d'une concurrence internationale liée à la digitalisation du secteur de la construction. De même, les médias constituent aussi des organismes capables de favoriser le déploiement d'une innovation. Dans le cas du BIM, nous avons pu montrer qu'un organe de presse tel que Le Moniteur a été particulièrement actif dans le soutien à cette innovation. Il s'est ainsi illustré comme un relais vis-à-vis des bénéfices liés au BIM et, au-delà de publier des articles, Le Moniteur a aussi construit un nouveau prix architectural : le BIM d'Or. En étudiant les conditions d'obtention de ce prix, on remarque que le BIM d'Or ne salue pas la qualité architecturale d'un bâtiment mais plutôt l'organisation et la qualité de la maquette numérique. Le monde de la construction accueille alors un nouveau type de prix qui célèbre la qualité numérique de ces nouveaux objets que sont les maquettes numériques. Bien entendu, on comprend aussi qu'avec ce changement de paradigme, ce n'est plus le travail des architectes qui est célébré mais celui des BIM managers.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux organisations directement en prise avec le projet architectural et la démarche BIM. En effet, considérer le cas de la maîtrise d'ouvrage publique, des entreprises de construction ou encore des agences d'architecture, nous a permis d'évaluer le degré de maturité des acteurs que nous avons rencontrés au sein du *Grand Projet d'École*. De manière générale, les conditions dans lesquelles s'est déroulé le *Grand Projet d'École* demeurent relativement exceptionnelles. Dès lors, il convient d'assumer que le *Grand Projet d'École* n'est pas un projet représentatif des projets en cours, cependant la forte implication de ses acteurs nous autorise justement à entrevoir de manière prospective des effets que pourraient avoir l'appropriation de la démarche BIM.

Ce premier chapitre nous permet de préciser notre interprétation de la démarche BIM et de mettre en avant l'importance de la maquette numérique sur laquelle porte notre enquête ethnographique. De plus, en nous intéressant au contexte historique, politique et médiatique dans lequel se déploie cette nouvelle innovation, on parvient à mesurer que les enjeux du BIM dépassent largement le simple champ de la conception et s'étend à l'ensemble du secteur de la construction. Enfin, la compréhension des organisations impliquées dans les projets BIM permet aussi de réaliser à quel point le *Grand Projet d'École* est un projet précurseur dont l'étude offre la possibilité d'observer des effets préfiguratifs de la démarche BIM.

Le second chapitre opère un recadrage sur la maquette numérique et les conditions mises en place

en vue de son élaboration. En un sens, il s'agit de comprendre comment se conçoit d'un point de vue pratique et organisationnel, l'élaboration d'un nouvel objet technique aussi important pour le projet. Dans un premier temps, nous proposons d'adopter une posture scientifique issue de la sociologie des techniques afin d'étudier la maquette numérique comme un objet « en train de se faire ». Ce positionnement nous incite aussi à porter une attention particulière aux objets dans les différentes situations sociales que nous observons. En effet, les objets peuvent être considérés comme des acteurs non-humains car ils disposent, tout comme les acteurs humains, d'une capacité d'action dans les controverses sociales. Enfin, nous avons aussi précisé que nous interpréterons l'activité de conception comme une activité socialement partagée entre les différents acteurs du projet. Dès lors, dans le cadre du chantier du *Grand Projet d'École* dans lequel s'établit notre enquête, l'activité de coordination participe alors activement à la conception du projet.

Vouloir étudier la construction de la maquette numérique demande de cibler des lieux d'observation où les acteurs travaillent collectivement à son élaboration. Nous avons alors identifié les réunions de synthèse d'exécution comme le lieu névralgique de conception mais aussi de coordination du chantier. Ces réunions constituent effectivement des espace-temps où les acteurs se coordonnent tant pour la réalisation du chantier que pour l'élaboration de la maquette numérique. Nous nous sommes alors attaché à montrer la stratégie organisationnelle et la structuration de ces espace-temps mis en place par les équipes du *Grand Projet d'École*. Il s'agit effectivement de comprendre comment a été pensée et se prépare la démarche BIM et la fabrication de la maquette numérique d'un projet aussi important que celui du *Grand Projet d'École*. On constate que cette nouvelle organisation ne peut pas se faire sans l'enrôlement d'une équipe spécialisée dans la synthèse BIM. Nous nous attachons alors à expliciter la complexité du processus de production, d'échange, de validation des maquettes numériques produites dans le *Grand Projet d'École*. Ceci nous permet de comprendre que la production collective des maquettes numériques ne peut se faire qu'en étant régies par un nouvel ensemble de règles destinées à garantir la qualité des informations qu'elles contiennent. L'étude du processus général mis en place pour la synthèse d'exécution du *Grand Projet d'École* met aussi en évidence l'importance de nouveaux artefacts numériques tels que : le logiciel BIM, la plateforme de gestion électronique de document, l'add-on Revit[®] ou encore le VISA BIM. Ces artefacts numériques structurent la fabrication des maquettes numériques car ils conditionnent et garantissent la production, la diffusion, l'automatisation ainsi que le contrôle des données qu'elles contiennent. Par ailleurs, il convient de noter que la démarche BIM a pour effet d'augmenter la quantité d'artefacts à utiliser dans le projet, ce qui demande donc à l'ensemble des acteurs du projet d'acquérir de nouvelles compétences liées à la manipulation de ces

nouveaux objets.

Après nous être intéressés aux acteurs non-humains de la synthèse, nous avons porté notre attention sur les principaux acteurs de la synthèse du *Grand Projet d'École* à savoir : l'équipe de synthèse BIM, les entreprises de construction et les BIM managers. Nous avons alors pu mettre en évidence que le rôle et les compétences de l'équipe de synthèse doivent répondre à la fois aux prérogatives de la construction du chantier mais aussi à celles de l'élaboration de la maquette numérique. Or les compétences d'élaboration de la maquette numérique demeurent exclusivement des compétences informatiques et incluent notamment celles liées à la modélisation. Ces mêmes compétences constituent aussi un pré-requis pour les entreprises de construction qui doivent donc disposer de ressources humaines pour modéliser, mais aussi de BIM référents pour pouvoir organiser la coordination. On constate ainsi que de nouveaux métiers BIM liés à la modélisation et la coordination deviennent indispensables à la démarche BIM. Ces nouveaux acteurs dont la grande majorité des savoir-faire reposent sur la maîtrise d'outils numériques, deviennent ainsi dépositaires de responsabilités de plus en plus importantes dans le projet. En effet, l'organisation et la gestion de la fabrication des maquettes numériques sont sous la responsabilité de ces nouvelles figures du projet architectural : les BIM managers. Dès lors, il s'opère une réorganisation des rapports de pouvoir au sein du projet et un déplacement des frontières professionnelles. Et concernant les architectes, tout porte à croire qu'une nouvelle concurrence s'établit entre la conduite du projet dictée par les impératifs liés à la construction du bâtiment physique d'une part et à ceux liés à la fabrication de la maquette numérique d'autre part.

Le troisième chapitre de la thèse pénètre le chantier du *Grand Projet d'École* à la manière d'un ethnographe. Le point de vue proposé se veut délibérément au plus proche des controverses, entre les acteurs et les objets. Il s'agit d'observer la construction de la maquette numérique (et plus précisément de la maquette synthèse) pour en comprendre les effets pratiques sur le déroulement du projet et les activités des acteurs.

Immergé dans les réunions de synthèse d'exécution, le travail consiste dans un premier temps à repérer les indices et les traces qui révèlent que la maquette numérique est bien en cours de construction. Paradoxalement, si ces traces sont bien présentes dans les discours ou déposées dans d'autres objets (comptes rendus, plans), l'élaboration collective et pratique de la maquette numérique par l'ensemble des acteurs reste difficilement observable. La difficulté de cette entreprise d'observation s'explique par l'absence de dispositif de visualisation autorisant le travail collectif.

Heureusement, le dispositif constitué du vidéoprojecteur et de la projection de la maquette synthèse change alors les modalités de l'enquête puisqu'un nouveau type de travail collectif devient alors accessible à l'observateur. Pour comprendre les enjeux de ce nouveau travail, il nous faut cependant reconsidérer les propriétés des objets socialement partagés entre différents acteurs issus de mondes professionnels hétérogènes. Aussi les concepts d'objets intermédiaire et d'objets frontière s'avèrent alors particulièrement pertinents pour rendre compte des propriétés de ces objets. Mais pour comprendre comment le collectif d'acteurs du projet agit sur la maquette synthèse et comment celle-ci agit sur le collectif en retour, nous avons eu besoin de revenir sur le déroulement des réunions de synthèse sans vidéoprojecteur. En effet, comprendre comment s'articulent ces réunions autour du plan de synthèse et comment celui-ci structure les réunions nous permet, en contre-point, de comprendre les modifications qu'opère le travail collectif autour de la maquette synthèse.

Ensuite, il s'agit de comprendre comment fonctionne le travail collectif avec la maquette synthèse. On constate par exemple que les acteurs procèdent à un équipement de l'objet en lui attribuant de nouvelles conventions notamment via l'utilisation de couleurs pour différencier les différentes maquettes métier. Ce faisant, les acteurs participent à apporter du sens à la maquette synthèse, qui est précisément un objet « en train de se faire ». Ces mécanismes permettent une appropriation cognitive de ce nouvel objet de projet, mais c'est aussi une manière de redessiner les responsabilités de chacun des professionnels. Par ailleurs, cette immersion au sein des pratiques d'utilisation de la maquette synthèse nous permet alors de montrer qu'elle constitue un objet de représentation du projet qui doit se lire de manière dynamique. Or, cette propriété dynamique rompt avec les conventions et le caractère statique des traditionnels objets de représentation du projet que sont les plans, coupes, détails, perspectives. Cette rupture dans la production et l'utilisation d'éléments graphiques du projet pourrait, à terme, mettre en péril l'intérêt des plans, coupes, détails, questionnant par là même, l'expertise des architectes.

La fin du troisième chapitre est consacrée aux effets pratiques induits par le nouveau travail de coordination des réunions qui s'appuie sur la maquette synthèse. En effet, le dispositif vidéoprojecteur et maquette synthèse réorganise spatialement l'espace-temps des réunions et offre de nouvelles marges d'actions pour les acteurs en présence. Ce changement dans le déroulement des réunions autorise la mise en place de nouveaux points de vue sur le projet mais laisse aussi de nouvelles possibilités aux acteurs pour disputer le pilotage de ces réunions et donc le déroulement du projet. On constate ainsi que certaines stratégies, conscientes ou non, permettent à certains acteurs de la réunion de « court-

circuiter » le déroulement des réunions en proposant un point de vue inédit sur le projet car issu d'une maquette métier encore non diffusée au collectif et donc n'étant pas compilée dans la maquette synthèse. Cet exemple montre que la démarche BIM, en modifiant les pratiques, ouvre aussi de nouveaux espaces où les acteurs peuvent venir disputer des rapports de pouvoir.

Enfin le dernier chapitre de la thèse analyse de manière transversale les effets de la démarche BIM sur la pratique des architectes, les mécanismes organisationnels des entreprises de construction, la redéfinition théorique du projet architectural et enfin, il s'intéresse à l'importance de l'exploitation-maintenance et les enjeux BIM qu'elle supporte car elle constitue une forme de prescription architecturale dans l'élaboration de la smartcity.

Tout au long de notre enquête, nous avons pu exposer et analyser un ensemble d'évolutions dans les pratiques des professionnels de la construction. Concernant les architectes, la démarche BIM leur impose l'appropriation de deux nouvelles compétences : celle de la modélisation BIM et celle liée à la gestion et l'organisation des processus BIM. L'impératif de mener un projet architectural par l'intermédiaire d'une maquette numérique les incite aussi à adopter des logiques de production industrielle qui automatisent une partie des tâches qu'ils ont à réaliser ce qui a pour effet de déplacer leur expertise mais aussi la valeur ajoutée de leur travail. En particulier, on observe que la maîtrise de compétences informatiques vient concurrencer celles liées à la représentation. Avec l'imposition progressive de la démarche BIM, les architectes doivent donc se préparer à ce que leur travail ne concerne plus uniquement la conception, la maîtrise et la gestion de l'espace physique mais s'attache aussi à produire, maîtriser et gérer les données numériques des maquettes qu'ils produisent.

Concernant les entreprises de construction impliquées dans le *Grand Projet d'École*, nous avons pu constater qu'elle doivent, elles aussi, apprendre à modéliser les ouvrages dont elles ont la responsabilité. Or, ce nouvel impératif est historiquement et culturellement éloigné des compétences des entreprises qui concernent plutôt la production et la mise en œuvre. Dès lors, et pour pallier ce nouvel impératif, les entreprises adoptent principalement deux stratégies : faire monter en compétence leurs employés ou recruter du personnel qualifié d'une part ; ou bien sous-traiter les missions relatives à la modélisation de leur maquette métier. Or en faisant appel à d'autres entreprises pour sous-traiter un travail dont elles évaluent encore mal où se situent les marges, il s'opère une reconfiguration de leur modèle économique. Elles sont ainsi contraintes de développer de nouvelles stratégies afin de minimiser le coût ou le surcoût lié à la production de leurs maquettes numériques. Ces nouvelles stratégies participent à redéfinir des

nouveaux rapports de force qui étaient traditionnellement déterminés par les phases du chantier et qui s'appuient dorénavant en partie sur la capacité qu'ont les différents acteurs du projet à produire, dans les temps impartis par le projet, des maquettes métiers de qualité.

L'ensemble de notre enquête tend aussi vers l'idée que la démarche BIM, à travers la production de maquettes numériques, modifie l'interprétation théorique qui doit être faite du projet architectural. En effet, pour les acteurs du projet, devoir construire conjointement un bâtiment physique d'un part et une maquette numérique d'autre part, modifie nécessairement la nature du projet. Aussi, tout porte à croire que les projets BIM sont en réalité des projets doubles. Ils travaillent, dans une temporalité commune, qui tend d'ailleurs à se raccourcir significativement, à la construction de deux objets : un bâtiment et une maquette numérique. Nous avons aussi pu montrer à travers l'exemple du *Grand Projet d'École* qu'il s'opère une nouvelle forme de concurrence dans la réalisation de ces deux objets qui a précisément tendance à complexifier la conduite du projet.

Enfin, il faut aussi mesurer que l'intérêt de la démarche BIM ne réside pas uniquement dans la conception ou la réalisation de ces deux objets. L'enseignement du *Grand Projet d'École* nous montre que l'exploitation-maintenance demeure, en réalité, la phase où la plus-value des maquettes numériques est certainement la plus significative. Plus précisément, c'est la valorisation des métadonnées qu'elles contiennent qui constitue, in fine, l'objectif de la démarche BIM. Ce faisant, on comprend alors que l'intérêt principal du BIM se trouve dans l'usage des maquettes numériques et des données qu'elles contiennent. Or l'exemple du *Grand Projet d'École* montre, là encore, que penser l'utilisation d'une maquette numérique une fois le bâtiment livré, modifie notre façon de penser les usages et la manière d'habiter. L'utilisation des informations des maquettes numériques questionne alors la manière de penser et construire la ville à l'ère numérique. Ceci ouvre alors la porte à de nouvelles investigations qui porteraient sur la construction d'une smartcity en grande partie déterminée par les nouvelles logiques de conception, de production et d'exploitation maintenance issues des logiques de la démarche CIM (City Information Modeling).

Vers de nouvelles perspectives de recherche

Au cours de ce travail doctoral, j'ai eu la chance de croiser le chemin de Bernard Stiegler et de son équipe de recherche de l'Institut de Recherche et d'Innovation (IRI) du centre Georges Pompidou. Les travaux menés à l'IRI sur le numérique, travail, l'industrialisation, l'automatisation, le génie urbain ou encore de citoyenneté m'ont alors ouvert de nouveaux horizons de recherche. J'ai ainsi progressivement intégré les ateliers de recherche contributive de l'IRI et suis aujourd'hui pleinement impliqué dans le projet : « Urbanités Numériques En Jeux ». Le projet UNEJ est un projet éducatif et de sensibilisation citoyenne qui porte les problématiques d'urbanités numériques. Il part du constat qu'une révolution urbaine est en cours, notamment provoquée par l'émergence massive et complexe de nouvelles technologies, de processus et de services numériques parmi lesquels on peut aisément identifier la démarche BIM. Cette révolution, tout comme le mode projet BIM, a pour effet de modifier en profondeur l'acte de construire dans toutes ses phases : programmation, conception, fabrication, exploitation-maintenance.

Dès lors, et pour reprendre la terminologie abondamment mobilisée dans les travaux de Bernard Stiegler, il convient d'accepter que toute innovation ou évolution technique a une « dimension pharmacologique ». Dans notre cas, il s'agit de considérer que la démarche BIM peut effectivement avoir des conséquences simultanément curatives et toxiques pour la société. Bien entendu, notre recherche met l'accent sur une petite partie des travers toxiques que la démarche BIM peut apporter au monde de la construction. Rappelons que ce dernier demeure largement conditionné par des logiques et des mécanismes du marché néolibéral, en partie dominé par quelques grandes entreprises privées.

Le projet UNEJ entend alors, en permettant aux usagers l'appropriation des technologies urbaines telles que la démarche BIM, créer de nouvelles conditions curatives. Le projet propose en particulier de placer les habitants au cœur du dispositif afin de les sensibiliser et de les « capaciter » à ces nouvelles technologies afin qu'ils deviennent, in fine, les futurs prescripteurs des villes. Se faisant, il s'agit alors d'essayer de favoriser l'émergence de nouvelles intelligences urbaines locales et citoyennes. Plusieurs perspectives peuvent alors être imaginées depuis l'ouverture de nouveaux espaces publics digitaux, vers des gestions urbaines contributives en passant par la création d'une nouvelle forme de culture du compagnonnage digital.

En pratique, le projet UNEJ s'adresse à des élèves de collèges et de lycées situés sur le territoire de Plaine Commune dans le département de Seine Saint Denis. Ce projet accrédité par le Rectorat de

Créteil et associant de multiples partenaires (architectes, urbanistes, enseignants, aménageurs, comité départemental olympique et sportif, développeurs informatiques, associations locales...) propose de capaciter les élèves à l'ensemble de ces problématiques et de les faire travailler sur la réhabilitation d'une partie des espaces construits à l'occasion des Jeux Olympiques 2024. En particulier, l'ensemble du projet s'appuie sur l'utilisation du jeu vidéo Minetest, considéré comme un support de médiation architecturale et urbanistique, afin de permettre aux enseignants et aux élèves d'acquérir les compétences pratiques et critiques nécessaires à la création d'un nouveau type de génie urbain.

Ce projet, qui sera initié en octobre 2020 par un séminaire de formation destiné aux enseignants des établissements impliqués doit se poursuivre jusqu'à 2025, soit après les Jeux Olympiques. En poursuivant ce travail d'accompagnement et de réflexion avec l'IRI, j'entends naturellement prolonger mes travaux de recherche et d'enseignement.

Je ne peux achever cet écrit sans citer Bernard Stiegler qui considère que « *la technique est toujours menaçante. Elle ne peut pas être « bonne », mais elle n'est pas non plus simplement mauvaise [...]. Quand on veut combattre la toxicité d'une technique, il faut commencer par se l'approprier et éventuellement, en transformer la mise en œuvre.* »

Bibliographie

- AKRICH, M. 1987 Comment décrire les objets techniques ? *Techniques et culture* pp. pp. 49–64.
- AMARNATH, C. B. , CHANG, Y.-T. & HSIEH, S.-H. 2016 An overview of global research trends in BIM from analysis of BIM publications. Dans *16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ICCCBE 2016*. Osaka, Japon.
- ARMATTE, M. & DALMEDICO, A. D. 2004 Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. *Revue d'histoire des sciences* **57** (2), 243–303.
- AUSSEUR, F. & MELACCA, V. 2005 *Dynamiques Innovantes et Nouveaux Enjeux Pour l'assureur*. Paris : Eyrolles.
- BASSEREAU, J. F. , CHARVET PELLO, R. , FAUCHEU, J. & DELAFOSSE, D. 2015 Les Objets intermédiaires de conception/design, instruments d'une recherche par le design. *Sciences du Design* **2** (2), pp. 48–63.
- BEAUD, S. & WEBER, F. 2010 *Guide de l'enquête de Terrain Produire et Analyser Des Données Ethnographiques*. Paris : La Découverte.
- BENATOUÏL, T. 1999 Critique et pragmatique en sociologie. Quelques principes de lecture. *Annales* **54** (2), 281–317.
- BESSY, C. & CHATEAURAYNAUD, F. 2014 *Experts et Faussaires : Pour Une Sociologie de La Perception*. Paris : Ed. Pétra.
- BIAU, V. 1996 Stratégie de positionnement des architectes dans le 'star-system'. *Socio-Logos'96* pp. pp. 180–207.
- BIAU, V. 2018 Nouveaux appels à compétences et enjeux de qualification chez les professionnels de la fabrication de la ville. *Cybergeog : European Journal of Geography* .

- BLANC, M. 2010 Métiers et professions de l'urbanisme : l'ingénieur, l'architecte et les autres. *Espaces et sociétés* **142** (2), 131–150.
- BLANCO, E. , JEANTET, A. & BOUJUT, J.-F. 1996 COPEST, de la construction à l'usage et vice versa. *Sciences et techniques de la conception* **5** (2), 93–118.
- BLINDER, A. S. 2006 Offshoring : The Next Industrial Revolution? *Foreign Affairs* **85** (2), 113.
- BOUCHAIN, P. & LIEU UNIQUE (ARTS CENTER), ed. 2013 *Simone & Lucien Kroll : Une Architecture Habitée*, lieu unique (arts center) edn. Arles : Actes Sud.
- BOUDON, P. 1992 Chapitre 4 : Un modèle architecturologique. Dans *Introduction à l'architecturologie*, Dunod edn., pp. 89–99. Mexico.
- BOUDON, P. 2001 Discipline, métadiscipline. Dans *Cahier Thématiques Architecture Histoire / Conception*, , vol. n°1, pp. 14–25. Lille : Editions de l'école d'architecture de Lille.
- BOUTROS, N. & IREMAN, P. 2018 Apporter la culture de collaboration BIM au sein de l'enseignement dans les écoles d'architecture et d'ingénieurs. Dans *À La Pointe Du BIM : Ingénierie & Architecture, Enseignement & Recherche*, pp. 75–89. Eyrolles.
- BRANDT, E. 2007 How Tangible Mock-Ups Support Design Collaboration. *Knowledge, Technology & Policy* **20** (3), 179–192.
- CALLON, M. 1996 Le travail de la conception en architecture. Dans *Situations, Les Cahiers de La Recherche Architecturale* **37**, pp. pp. 25–35. Marseille : Ed. Parenthèses.
- CALLON, M. & LATOUR, B. 1991 *La science telle qu'elle se fait : anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*. Paris : éditions La Découverte.
- CANGUILHEM, G. 2002 *Études d'histoire et de Philosophie Des Sciences*. Paris : Vrin.
- CARPO, M. 2001 *Cyberarch.Edu. Trois Sujets En Quête d'auteurs*. Paris : Édition du Patrimoine.
- CARPO, M. , ed. 2013 *The Digital Turn in Architecture 1992-2012. AD Reader* **13**. Chichester : Wiley.
- CARPO, M. 2017 *The Second Digital Turn : Design beyond Intelligence*. Cambridge, Massachusetts London, England : The MIT Press.
- CELNIK, O. & DELAPORTE-ARNAL, P. 2017 Le BIM : 20% de technique, 80% d'humain.

- CELNIK, O. , LEBEGUE, É. & NAGY, G. 2014 *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris ; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
- CHABARD, P. & KOURNIATI, M. 2013 L'architecture en action : Entretien avec Albena Yaneva. *Criticat* **7**, 72–83.
- CHADOIN, O. 2013 *Être Architecte : Les Vertus de l'indétermination. De La Sociologie d'une Profession à La Sociologie Du Travail Professionnel*, deuxième édition edn. Limoges : Presses universitaires de Limoges.
- CHAMPY, F. 2001 *Sociologie de l'architecture. Repères* 314. Paris : La Découverte.
- CHAUDET, B. , PATRASCU, M. & BOUILLON, J.-L. 2016 La maquette numérique dans le secteur du bâtiment. *Revue française des sciences de l'information et de la communication* **9**.
- CHESNEAU, I. 2018 *Profession Architecte : Identité, Responsabilité, Contrats, Règles, Agence Économie, Chantier*. Paris : Eyrolles.
- CHIAPELLO, È. , GILBERT, P. & BAUD, C. 2013 *Sociologie des outils de gestion : introduction à l'analyse sociale de l'instrumentation de gestion*. Paris : La Découverte.
- CHUPIN, J.-P. & LEQUAY, H. 2001 *Escalade Analogique et Plongée Numérique. Entre l'atelier Tectonique et Le Studio Virtuel Dans l'enseignement Du Projet*. Paris : Édition du Patrimoine.
- CNOA 2015 Le BIM : Un atout pour l'architecture.
- COLLINS, H. 1985 *Change in Order : Replication and Induction in Scientific Practice*. Londres : Sage.
- COMET, C. 2007 Capital social et profits des artisans du bâtiment : Le poids des incertitudes socio-techniques. *Revue française de sociologie* **48** (1), 67–91.
- CRAWFORD, M. B. 2016 *Éloge du carburateur : essai sur le sens et la valeur du travail*. Paris : La Découverte.
- CRISTIA, E. , ZALIO, P.-P. & GUÉNA, F. 2018 Quand le BIM met la maquette à l'épreuve du numérique. *SHS Web of Conferences* **47**.

- DE BOISSIEU, A. , MARQUES, S. , GUERRIERO, A. & KUBICKI, S. 2016 Maturité et mesure du retour sur investissement d'opérations BIM, BIMetric, une méthode d'évaluation. Dans *SCAN'16 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique*. Toulouse.
- DE MAESTRI, A. 2019 *Premiers Pas En BIM : L'essentiel En 100 Pages*. Eyrolles.
- DELCAMBRE, B. 2014 Mission Numérique Bâtiment. *Rapport Technique*. Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité.
- DENÈS, M. 1999 *Le Fantôme Des Beaux-Arts : L'enseignement de l'architecture Depuis 1968*. Paris : Editions de la Villette.
- DENORMANDIE, J. 2019 Plan BIM 2022. *Rapport Technique*. Ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, Paris.
- DEVISME, L. & TSIOMIS, Y. , ed. 2012 *Trajectoires doctorales. Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine* 26/27.2012. Paris : Éd. du Patrimoine, Centre des Monuments Nat.
- DEWEY, J. 1938 *Logic : The Theory of Inquiry*. New York : Henry Holt and Co.
- DIDELON, V. 2013 L'empire du BIM. *Criticat* pp. p. 71–77.
- DUFAU, O. 2009 L'armoire à plans, fable industrielle et bureaucratique. *Le Débat* **155** (3), 175.
- EASTMAN, C. 2008 *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, N.J : Wiley.
- ESTEVEZ, D. 2014 *Dialogue Entre Maquette et Modèle En Architecture*, pp. pp.77–86. Paris : Editions Matériologiques.
- FERRIES, B. & LABBAYE 2016 Cahier des Charges BIM de Habitat 76. *Rapport Technique*. Habitat 76.
- FLICHY, P. 1995 *L'innovation Technique : Récents Développements En Sciences Sociales, Vers Une Nouvelle Théorie de l'innovation*, sciences et société edn. Paris : La Découverte.
- FORGUES, D. , KOSKELA, L. & LEJEUNE, A. 2009 Information technology as boundary object for transformation learning. *Journal of Information Technology in Construction* pp. pp. 48–58.
- GAREL, G. 2011 II/ L'évolution des modèles de management de projet. Dans *Le Management de Projet*. Paris : La découverte.

- GARRIC, J.-P. & THIBAUT, E. , ed. 2014 *Trajectoires Doctorales 2. Les Cahiers de La Recherche Architecturale et Urbaine* 30/31.2014. Paris : Éd. du Patrimoine, Centre des Monuments Nat.
- GIRARD, C. 2014 *L'architecture, Une Dissimulation. La Fin de l'architecture Fictionnelle à l'ère de La Simulation Intégrale*, pp. pp. 245–292. Paris : Editions Matériologiques.
- GLASER, B. G. & STRAUSS, A. L. 1967 *The Discovery of Grounded Theory : Strategies for Qualitative Research*. Chicago, IL : Aldine.
- GOUEZOU, V. 2018 DialecBIM : Une méthode d'évaluation du "dialectisme" des esquisses à l'ère du BIM. Dans *À La Pointe Du BIM : Ingénierie & Architecture, Enseignement & Recherche*, pp. pp.33–53. Paris : Eyrolles.
- GUENEAU, J. 2019 Le métier d'architecte et le BIM. Nouvelles répartitions des tâches et des responsabilités dans les métiers de la création. *Techniques & Culture*. .
- GUILLEMETTE, F. 2006 L'approche de la Grounded Theory ; pour innover ? *Recherches qualitatives* **26** (1), 19.
- HALIN, G. & GALLAS, M.-A. 2016 Une approche pédagogique par les modèles pour la sensibilisation au concept de BIM (Maquette Numérique). Dans *SCAN'16 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, pp. pp.85–96. Toulouse.
- HOCHSCHEID, E. & HALIN, G. 2018a BIM implementation in architecture firms : Interviews, case studies and action research used to build a method that facilitates implementation of BIM. Dans *eCAADe 36*, , vol. 1. Pologne.
- HOCHSCHEID, E. & HALIN, G. 2018b L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. *SHS Web of Conferences* **47**, 01009.
- HOCHSCHEID, E. & HALIN, G. 2018c A model to approach BIM adoption process and possible BIM implementation failures. Dans *Creative Construction Conference*. Ljubljana, Slovenie.
- HOCHSCHEID, E. & HALIN, G. 2019a Generic and SME-specific factors that influence the BIM adoption process : An overview that highlights gaps in the literature. *Frontiers of Engineering Management* .
- HOCHSCHEID, E. & HALIN, G. 2019b Micro BIM adoption in design firms : Guidelines for doing a BIM implementation plan. Dans *Creative Construction Conference*. Hongrie.

- HOCHSCHEID, E. , RIBEREAU-GAYON, M. , HALIN, G. & HANSER, D. 2016 Intégration de pratiques BIM en agence : Bilan d'une expérience de coopération numérique entre une entreprise et des architectes. Dans *SCAN'16 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique*. Toulouse : HAL.
- HOSSEINI, M. R. , MARTEK, I. , PAPADONIKOLAKI, E. , SHEIKHKHOSHKAR, M. , BANIHASHEMI, S. & ARASHPOUR, M. 2018 Viability of the BIM Manager Enduring as a Distinct Role : Association Rule Mining of Job Advertisements. *Journal of Construction Engineering and Management* **144** (9).
- HOUDART, S. , MINATO, C. & KUMA, K. 2009 *Kuma Kengo : une monographie décalée*, librairie de l'architecture et de la ville edn. Paris : Ed. Donner Lieu.
- HOUDART, S. & THIERY, O. , ed. 2011 *Humains, Non-Humains : Comment Repeupler Les Sciences Sociales*. Paris : La Découverte.
- HOYET, N. , DUCHENE, F. & DE FOUQUET, M. 2016 *BIM et architecture : programmation, conception, construction, exploitation*. Malakoff : Dunod.
- JEANTET, A. 1998 Les objets intermédiaires dans la conception. Éléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du travail* **40** (3), 291–316.
- JEANTET, A. & TIGER, H. 1988 *Des Manivelles Au Clavier : Familles Ouvrières En Mouvement*. Paris : Syros/Alternatives.
- JOANNIDES, V. & BERLAND, N. 2008 Grounded theory : Quels usages dans les recherches en contrôle de gestion ? *Comptabilité - Contrôle - Audit* **14** (3), 141.
- JOUNIN, N. 2009 *Chantier Interdit Au Public : Enquete Parmi Les Travailleurs Du Bâtiment*. Paris : Découverte.
- KASSEM, M. & SUCCAR, B. 2016 BIM Policy Development : Different Countries, Common Approaches.
- KASSEM, M. & SUCCAR, B. 2017 Macro BIM adoption : Comparative market analysis. *Automation in Construction* **81**, 286–299.
- KASSEM, M. , SUCCAR, B. & DAWOOD, N. 2013 A proposed approach to comparing the BIM maturity of countries. Dans *30th International Conference on the Applications of IT in the AEC Industry*. Chine.

- KROLL, L. 1980 *Composants : Faut-Il Industrialiser l'architecture ?*. Bruxelles : Socorema.
- KUBICKI, S. , HALIN, G. & BIGNON, J.-C. 2014 *Interaction(s) Des Maquettes Numériques : Actes Du 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique, [Luxembourg, 18-20 Juin 2014]*. Nancy : Presses Universitaires de Lorraine.
- LAPLANTINE, F. 2008 *L'anthropologie*. Paris : Payot.
- LATOUR, B. 1989 *La Science En Action : Introduction à La Sociologie Des Sciences*. Paris : Edition La Découverte.
- LATOUR, B. 1992 *Aramis Ou l'amour Des Techniques*. Paris : Éd. la Découverte.
- LATOUR, B. & WOOLGAR, S. 1988 *La Vie de Laboratoire : La Production Des Faits Scientifiques. La Découverte/Poche Sciences Humaines et Sociales 18*. Paris : La Découverte.
- LATOUR, B. & YANEVA, A. 2008 *Give Me a Gun and I Will Make All Buildings Move : An ANT's View of Architecture.*, basel : birkhäuser edn., pp. p.80–89.
- LAUDATI, P. 2017 Esquisse d'une théorie du design informationnel dans le domaine de l'architecture et de l'urbain **MEI Médiation et information** (40).
- LINDEROTH, H. C. 2009 Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks. *Automation in Construction* **19**, 66–72.
- LOCKE, K. 2003 *Grounded Theory in Management Research*. 6 Bonhill Street, London EC2A 4PU : SAGE Publications, Ltd.
- MACÉACHREN, A. M. 2001 Cartography and GIS : Extending collaborative tools to support virtual teams. *Progress in Human Geography* **25** (3), 431–444.
- MALINOWSKI, B. 1963 *Les Argonautes Du Pacifique Occidental*. Paris : Gallimard.
- MANGEMATIN, V. 1993 Compétition technologique : Les coulisses de la mise sur le marché. *Annales des Mines* .
- MANTZIARAS, P. 2015 Vers une épistémologie de l'architecture.
- MARIE, J.-B. 2019 *Architectes et Ingénieurs Face Au Projet*, le moniteur edn. Paris.

- MARIE, J.-B. & TERRIN, J.-J. 2012 Concevoir le projet du projet. *Numéro spécial : L'architecture invisible* .
- MCC 2005 *Vers Un Doctorat En Architecture*. Paris : Ministère de la Culture et de la Communication, Recherche architecturale, urbaine et paysagère.
- MER, S. , JEANTET, A. & TICHKIEWITCH, S. 1995 Les Objets Intermédiaires de la conception : Modélisation et communication. *Europia* .
- MERLINI, L. 2017 Construire, Dessiner, Transmettre.
- MIDLER, C. 2012 *L'auto Qui n'existait Pas : Management Des Projets et Transformation de l'entreprise*. Paris : Dunod.
- MIDLER, C. , MANIAK, R. & BEAUME, R. 2007 Du co-développement à la co-innovation - Analyse empirique des coopérations verticales en conception innovante. Dans *HAL, Post-Print*. Paris.
- MORIN, E. 2005 *Introduction à La Pensée Complexe. Essais* 534. Paris : Édition du Seuil.
- MOROZOV, E. 2014 *Pour Tout Résoudre, Cliquez Ici : L'aberration Du Solutionnisme Technologique*. Limoges : FYP Éditions.
- MOUSSAOUI, A. 2012 Observer en anthropologie : Immersion et distance. *Contraste* N° **36** (1), 29–46.
- OTTAVINO, N. 2017 Architectes-urbanistes 2.0 : Enquête ethnographique sur une pratique de concepteurs de la ville à venir : Des promesses du numérique à une innovation numérique. Thèse en Aménagement et Urbanisme, Paris 10, Paris.
- PÈRE, C. 2014 *La Maquette Numérique Dans Une Entreprise Industrielle Comme Airbus*. Marseille : Parenthèses.
- PETERS, S. , FAULX, D. & HANSEZ, I. 2010 Le rôle des objets-frontière dans le découpage temporel et social d'une innovation de service : Étude de cas d'un transfert de technologie depuis un laboratoire universitaire de sciences sociales. *Revue d'anthropologie des connaissances* **Vol 4, 1** (1), 65.
- PICON, A. 2010 *Culture Numérique et Architecture : Une Introduction*. Basel : Birkhäuser.
- PTNB 2018 Le développement du BIM - Benchmark européen. *Rapport Technique*. Plan de Transition pour le Numérique dans le Bâtiment.

- RAYNAUD, D. 2001 Compétences et expertise professionnelle de l'architecte dans le travail de conception. *Sociologie du travail* (43), pp. 451–469.
- ROBISCHON, C. 2020 Le BIM dans les agences d'architecture : Pas une question de tailles. *LeMoniteur* .
- ROUSSEL, J. 2017 BIM, maquette numérique et assurance construction. *Revue de Droit Immobilier* pp. 515–518.
- SACKS, R. , EASTMAN, C. M. , LEE, G. & TEICHOLZ, P. M. 2018 *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, third edition edn. Hoboken, New Jersey : Wiley.
- SATTLER, L. , LAMOURI, S. , PELLERIN, R. , DENEUX, R. & MAIGNE, T. 2019 Les maquettes numériques rêvent-elles d'intégration ? Dans *Le BIM Entre Recherche et Industrialisation*, pp. 15–37. Paris : Eyrolles.
- SERRA, L. 2014 Le chantier comme projet urbain ? Méthode d'enquête et premières propositions. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère* **30-31**, pp. 145–152.
- SØRENSEN, N. L. , FRANDBEN, A. K. & ØIEN, T. B. 2015 Architectural Competitions and BIM. *Procedia Economics and Finance* **21**, pp. 239–246.
- STAR, S. L. 1989 *The Structure of Ill-Structured Solutions : Boundary Objects and Heterogeneous Distributed Problem Solving*, pp. p.37–54. London : Pitman.
- STAR, S. L. & GRIESEMER, J. R. 1989 Institutionnal ecology, 'Translation', and Boundary object : Amateurs and professionals on Berkley's museum of vertebrate zoologie". *Social Studies of Science* **19** (3), pp. 387–420.
- STRAUSS, A. L. & BASZANGER, I. 1992 *La Trame de La Négociation : Sociologie Qualitative et Interactionnisme*. Paris : L'Harmattan.
- SUCCAR, B. 2005 BIM ThinkSpace : Episode 14 : Industry Leadership vs. BIM Benefits. <https://www.bimthinkspace.com/2010/09/industry-leadership-vs-bim-benefits.html>.
- SUCCAR, B. 2008 Bimthinkspace.
- TAPIE, G. 2000 *Les Architectes : Mutations d'une Profession*. Paris : Harmattan.

- TERRIN, J.-J. 2014 *Le Projet Du Projet : Concevoir La Ville Contemporaine*. Marseille : Parenthèses.
- TROMPETTE, P. & VINCK, D. 2009 Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances* **3** (1), pp. 5–27.
- VARENNE, F. 2013 *Modèles et Simulations Dans l'enquête Scientifique : Variétés Traditionnelles et Mutations Contemporaines*, pp. pp.11–49. Paris : Editions Matériologiques.
- VARENNE, F. , SILBERSTEIN, M. , DUTREUIL, S. & HUNEMAN, P. 2014 *Modéliser et Simuler : Épistémologies et Pratiques de La Modélisation et de La Simulation. Tome 2*. Paris : Ed. Matériologiques.
- VINCK, D. 1999a Ethnographie des activités de conception et d'innovation : le cas du maquettage numérique. *Management technologique. Impact de la technologie sur la gestion des personnes*. p. 13.
- VINCK, D. 1999b *Ingénieurs Au Quotidien : Ethnographie de l'activité de Conception et d'innovation*. Grenoble : PUG.
- VINCK, D. 1999c Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue française de sociologie* **40** (2), 385–414.
- VINCK, D. 2009 De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances* **3** (1), pp. 51–72.
- VIOLEAU, J.-L. 2005 *Les Architectes et Mai 68*. Paris : Éd. Recherches.
- VIRILIO, P. 1993 *L' Espace Critique : Essai*. Paris : Bourgois.
- YANEVA, A. 2009 *Made by the Office for Metropolitan Architecture : An Ethnography of Design*. Rotterdam : 010 Publishers.

le cnam

Emilien CRISTIA
Projet architectural et maquette numérique
BIM
Enquête ethnographique au sein d'un grand
projet de construction

HESAM
UNIVERSITÉ

Résumé :

La démarche BIM est devenue une nécessité pour le secteur du bâtiment impliquant la fabrication d'un nouvel objet technique : la maquette numérique. Cette thèse s'intéresse à ce nouvel impératif de fabrication et à ses effets sur la réorganisation de l'acte de construire, la reconfiguration des pratiques de coordination et de conception collective entre les professionnels de la construction ainsi qu'à la redéfinition des frontières théoriques du projet architectural. Ce travail s'appuie sur une enquête ethnographique menée au sein d'un Grand Projet d'École reconnu pour sa forte implication dans la démarche BIM. C'est au cœur de la phase chantier de ce projet, lors des réunions de synthèse d'exécution, entre les acteurs et les objets, que s'ancre cette investigation. L'analyse du matériel empirique constitué d'observations et d'entretiens menés avec les acteurs du projet nous permet de comprendre les différentes réorganisations pratiques liées à la fabrication collective d'une maquette numérique. Cette recherche nous permet aussi d'esquisser les perspectives de nouvelles pratiques numériques de projet et à préfigurer une évolution théorique des nouvelles limites du projet architectural.

Mots clés : fabrication d'une maquette numérique; chantier de construction; pratiques professionnelles; synthèse d'exécution; objet-frontière; théorie architecturale

Abstract :

The BIM approach has become a necessity for the building sector involving the realization of a new technical object : the digital model. The research is focused on the new manufacturing of this object and its practical effects on the way to build, the reconfiguration of coordination practices and collective design between construction professionals. We also attempted to draw a new definition of theoretical boundaries of the architectural project. Our work is based on an ethnographic investigation carried out within a Major School Project recognized for its strong involvement in the BIM process. The investigation takes place on the heart of the construction phase of this project, during the execution summary meetings, between actors and objects. The analysis of this material mainly composed by observations and interviews carried out with the project stakeholders allows us to understand the different practical reorganizations linked to the collective production of this new digital model. This work also allows us to outline the perspectives of new digital project practices and to prefigure a theoretical evolution of the limits of the traditional architectural project.

Keywords : digital model fabrication; construction site; professional practices; BIM coordination meeting; boundary object; architectural theory