



La continuité informationnelle dans les projets BIM, de la conception à la gestion du bâtiment : une analyse du système d'acteurs

Paula Gordo Gregorio

► To cite this version:

Paula Gordo Gregorio. La continuité informationnelle dans les projets BIM, de la conception à la gestion du bâtiment : une analyse du système d'acteurs. Géographie. HESAM Université, 2023. Français. NNT : 2023HESAC010 . tel-04167158

HAL Id: tel-04167158

<https://theses.hal.science/tel-04167158v1>

Submitted on 11 Dec 2023

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.



HAL Authorization

ÉCOLE DOCTORALE ABBÉ GRÉGOIRE
LET-LAVUE et MAACC-MAP

THÈSE

présentée par : **Paula GORDO GREGORIO**

soutenue le : **vendredi 26 mai 2023**

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

préparée au : **Conservatoire national des arts et métiers**

Discipline : **Section CNU 24**

Spécialité : **Aménagement de l'espace, urbanisme**

La continuité informationnelle dans les projets BIM, de la conception à la gestion du bâtiment : une analyse du système d'acteurs

THÈSE dirigée par :

Mme. Biau Véronique Architecte-Urbaniste en chef de l'Etat, HDR, ENSA Paris La-Villette

et co-dirigée par :

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

Jury

Mme. Véronique BIAU, Architecte-Urbaniste en chef de l'Etat,
ENSA Paris la Villette

M. François GUENA, Professeur, HDR, ENSA Paris la Villette

Mme. Catherine ELSÉN, Professeure, HDR, Université de Liège

M. Philippe MARIN, Professeur, HDR, ENSA Grenoble

M. Taoufik SOUAMI, Professeur, HDR, École des Ponts ParisTech

Mme. Léa SATTler, Maître de conférences, ENSA
Paris la Villette

M. Silvère TRIBOUT, Maître de conférences, Université Rennes 2

Directrice

Co-directeur

Présidente

Rapporteur

Rapporteur

Examinatrice

Examineur

A mi madre Maria Ángeles Gregorio Gil y a mi abuela Maria Gil Benedí por su fortaleza y su
sabiduría

Remerciements

Je tiens à remercier Véronique Biau et François Guéna, mes directeurs de thèse, qui m'ont guidée et accompagnée au fil de ce parcours. Vos conseils, votre disponibilité, votre aide et votre confiance m'ont permis d'achever ce travail. Il me semble impossible de trouver une combinaison d'encadrants plus idéale pour accompagner une thèse. Je remercie également ALTO ingénierie, l'entreprise qui a soutenu cette thèse en convention CIFRE. Un grand merci à Yvan Lebellec qui m'a accueillie chez ALTO Ingénierie, a cru en moi et n'a cessé de m'encourager tout au long de cette thèse. Je tiens également à remercier tous les autres collaborateurs qui ont participé à mes projets, ont répondu à mes questionnaires, ont accepté de m'accorder des entretiens et m'ont encouragée tout au long de ces années. Leur contribution a été essentielle pour la réalisation de mes travaux et leur soutien m'a été d'une grande aide. Je tiens particulièrement à remercier Dominique Kraetz pour sa précieuse aide pendant les relectures et pour représenter un excellent exemple de professionnalisme.

I extend my gratitude to the Group of Construction Research and Innovation at UPC (Barcelona), especially Nuria Forcada and Hamidreza Alavi, for allowing me to undertake a research placement with them. Their willingness to involve me in their projects, extend their support, and share their invaluable insights has been an immeasurable contribution to my research experience.

Je tiens également à remercier le Collège d'Espagne à Paris de m'avoir accueillie toutes ces années et de représenter le meilleur exemple de convivialité, culture et recherche. Un sincère remerciement à tous mes amis, pour la plupart des docteurs, de m'avoir accompagnée et comblée de sourires durant cette tâche difficile qu'est la réalisation d'une thèse de doctorat. Spécialement à Gabriela Herrero, Manuel Gimenez, Aïda Padilla, Nicolas García, Marta García, Luis Javier Galindo, Alba Martínez, Manuel Ares, Daniel Herrero, Julia Sirés, Marc Montalà, Andrés Trujillo, Silvia Díez, Carlos Vega, Maria Castiella, David Reverter, Sonia Fontaneda, Marisol Valera, Ana Hurtado, Carlos Esteve, Miguel Javier Gilabert, Javier San Martín, Ayax Llorente, Alba Lopez, Nely Rodriguez pour avoir été avec moi depuis que je suis arrivée à Paris, et en particulier à Paula Azorín pour toutes ces années de colocation et de bonheur. Je remercie Marta Ortigosa et Line Lolah, qui comptent parmi les architectes les plus talentueuses de Paris.

طارق طلال جابر فهد و ميغافون شكراً أمتي

También quiero agradecer a mis amigas Maria Gracia y Clara García de Zaragoza por haber estado siempre a mi lado, y en especial a Uxua Asín por su paciencia y cariño. A mis amigos Isabel Martínez, Sergio Beltrán, Fran Villacampa, Sara Lapuente, Lorena Bailo, Nuria Aranda y Laura Barrera. Agradezco profundamente a Azucena Guerrero, Silvia Parra, Bea Nitulescu, Elena Ortí, Carlos Ruiz-

Alejos, Javier Sancho y Jorge Sieso por haber sido una parte fundamental de mi trayectoria académica en la carrera de Arquitectura. Y a Ana Gonzalez, Sergio García y Mariona Balsach por hacerme pasar el mejor Erasmus posible.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a Carlos Ibañez por su paciencia y ayuda, en particular durante los últimos meses, pero también por estar junto a mí durante más de la mitad de nuestras vidas. También quisiera agradecer a toda mi familia, incluyendo a mis primos y sobrinos, pero especialmente a mis padres, Maria Ángeles Gregorio y Xavier Gordo, y a mi hermana Raquel Gordo, una de las personas más inteligentes y con mayor capacidad para hacerme reír en este mundo.

Résumé

Cette thèse examine les enjeux liés à la collecte et au traitement de l'information dans les projets de construction recourant à la technologie BIM (building information modeling). L'emploi des technologies de l'information a bouleversé les méthodes de travail dans divers secteurs, incluant celui de la construction, où le BIM est censé permettre une continuité de l'information tout au long du cycle de vie du bâtiment et entre tous les acteurs du projet. Ce travail de recherche remet en question cette continuité en raison des obstacles sociotechniques rencontrés lors de la transmission de l'information entre les acteurs du projet, tels que le manque de compétences, d'interopérabilité ou d'un cadre juridique de référence. Cette thèse adopte une méthodologie de recherche, à la rencontre des approches disciplinaires des sciences de l'information et des sciences humaines et sociales. La méthodologie combine des approches quantitatives et qualitatives telles que l'observation du système d'acteurs et des maquettes numériques dans trois cas d'étude, des entretiens avec des professionnels de l'exploitation et un questionnaire adressé aux occupants. Ce travail démontre qu'une approche systémique du projet, englobant l'ensemble des phases, aiderait à la compréhension et au dépassement de ces obstacles, et que l'intégration des occupants dans le système d'acteurs pourrait favoriser une gestion plus efficace et durable des bâtiments. De plus, l'importance des enjeux environnementaux est identifiée comme un facteur clé pour assurer la continuité de l'information tout au long du cycle de vie du bâtiment. En somme, cette thèse encourage une approche sociale plus collaborative et partenariale des technologies BIM, à toutes les phases du projet et entre tous les acteurs, afin de démocratiser l'information au sein des systèmes d'acteurs.

Mots-clés : BIM, Information, Système d'acteurs, Données du bâtiment, Cycle de vie, Maquette Numérique.

Abstract

This thesis explores the use of Building Information Modelling (BIM) technology in construction projects and examines the challenges associated with the collection, processing, and management of information in this context. The emergence of information technology has revolutionized working methods in various sectors, including construction. BIM technology is supposed to allow for the continuity of information throughout the life cycle of a building and between all project stakeholders. However, this work argues that there are socio-technical obstacles that need to be overcome to achieve such continuity. These obstacles are due to multiple factors including the lack of essential skills, poor interoperability between tools, and the absence of a reference legal framework. The thesis adopts a research methodology that combines disciplinary approaches from information science and the social sciences. The methodology includes observing the actor system and digital models in three case studies, interviewing facility managers, and surveying building occupants. This work demonstrates that a systemic approach to the project, encompassing all project phases, would help better understand and overcome these obstacles. Moreover, integrating occupants into the actor system could promote more efficient and sustainable building management. Finally, the research highlights the importance of environmental issues in ensuring the continuity of information throughout the life cycle of a building. In summary, this thesis emphasises the need for a more collaborative and partnership-oriented social approach to BIM technologies at all phases of the project and between all stakeholders to democratize information within actor systems.

Keywords: BIM, Information, Actor system, Data, Lifecycle, Digital model.

Table des matières

Table des matières.....	13
Liste des tableaux.....	17
Liste des tables.....	18
Liste des figures	19
Liste des annexes	22
1.1. Introduction générale	27
1.2. Contexte	28
1.3. Questionnement	39
1.4. Objet de recherche	40
1.5. Cadre théorique : une double approche sociologique et technologique	46
a) L’impact de la société de l’information dans la construction, les outils et le système d’acteurs	47
b) Les enjeux liés aux nouvelles technologies de l’information et leur impact sur la gestion des projets 60	
c) Le BIM en tant que dispositif sociotechnique	66
1.6. Hypothèses de recherche.....	68
1.7. Posture de recherche et méthodes	71
Méthodologie : analyser l’information d’un projet BIM	71
Les études de cas dans le contexte CIFRE	73
1.8. Organisation de la thèse	75
Première partie.....	77
Les ruptures informationnelles entre les acteurs pendant les phases de conception et de construction	77
INTRODUCTION	79
1. L’analyse du système d’acteurs autour des données du bâtiment	82
1.1. Un nouveau système d’acteurs dans les projets BIM	84
1.2. L’approche méthodologique	87
1.3. Un bâtiment scolaire et un immeuble de bureaux	89
1.4. Le système d’acteurs des projets BIM : sa configuration et l’analyse documentaire.....	92
1.4.1. Observation du système d’acteurs de l’étude de cas 1 – Bâtiment scolaire (lycée).....	95
1.4.2. Observation du système d’acteurs de l’étude de cas 2 – Immeuble de bureaux	99
1.5. Les rapports de pouvoir pendant la négociation BIM	104
1.5.1. Le rôle du BIM manager face aux problèmes informationnels et organisationnels rencontrés 106	
1.5.2. Facteurs conditionnant les rapports de pouvoir dans les études de cas	117
1.5.3. Coordination, coopération ou collaboration ?	118
1.5.4. Les conflits informationnels qui émergent pendant les négociations	122
Conclusion.....	126
2. La maquette numérique comme vecteur des enjeux et besoins des acteurs	129
2.1. La classification de l’information dans les projets de construction	130

2.1.1.	La structuration de l'information dans le secteur de la construction en France et à l'étranger	130
2.1.2.	Les travaux de recherche sur les données du bâtiment	133
2.1.3.	La relation entre l'information intégrée dans les maquettes numériques et les usages BIM ..	134
2.2.	Une nouvelle classification de l'information selon les enjeux et besoins des acteurs.....	135
2.2.1.	Une classification ancrée dans les origines de la Conception Assistée par Ordinateur	136
2.2.2.	Les types de paramètres selon l'implication des acteurs	136
2.3.	L'analyse des informations des maquettes numériques de 12 projets	138
2.3.1.	Une grille d'analyse de l'information et les nouvelles catégories d'information qui émergent	139
2.3.2.	La grille d'analyse et son rapport avec les classifications anglo-saxonnes	142
2.4.	L'analyse des informations de la maquette numérique et des discours des acteurs dans les études de cas	144
2.5.	La présence de thématiques managériales, environnementales et de territoire dans l'analyse des paramètres	151
2.6.	Les freins et limites dans l'élaboration d'une grille d'analyse informationnelle	154
2.6.1.	La sémantique des données	156
	Conclusion.....	158
	Conclusion de la première partie	161
	Deuxième partie	163
	Les enjeux informationnels des utilisateurs et usagers finaux du bâtiment et leur impact sur la gestion des bâtiments BIM	163
	INTRODUCTION	165
3.	Usage du BIM et évolution des modes de gestion des bâtiments.....	169
3.1.	Les problèmes informationnels et organisationnels pendant la gestion et la maintenance d'un bâtiment universitaire	170
3.1.1.	Le cas d'étude d'un bâtiment universitaire.....	171
3.1.2.	Observation du système d'acteurs de l'étude de cas 3: sa configuration et l'analyse documentaire	172
3.1.3.	Causes des ruptures informationnelles identifiées lors de l'analyse des entretiens.....	176
3.2.	L'usage du BIM en phase d'exploitation : un regard des professionnels de la gestion du patrimoine bâti en France et en Espagne.	195
3.2.1.	Les nouveaux outils qui émergent et leur impact sur l'évolution des pratiques	196
3.2.2.	La situation de l'exploitation en BIM en France et en Espagne	197
3.2.3.	Les entretiens semi-directifs : une méthodologie d'enquête auprès des exploitants	198
3.2.4.	L'évaluation des enjeux des acteurs qui participent à la gestion d'un projet BIM	200
3.2.5.	Les enjeux en exploitation : une continuité par rapport aux phases antérieures.	217
	Conclusion.....	238
4.	Le rôle des usagers finaux du bâtiment dans la gestion d'un projet BIM	241
4.1.	Les enjeux du BIM pour les occupants de deux immeubles de bureaux.....	243
4.1.1.	Le développement d'une enquête par questionnaire.....	244

4.1.2.	La maturité BIM des usagers finaux dans les études de cas	253
4.1.3.	Les intérêts des occupants concernant l'exploitation des bâtiments en BIM : un aperçu des enjeux informationnels	256
4.1.4.	L'impact de la gestion interactive en BIM sur la satisfaction, la productivité et le comportement des employés	264
4.1.5.	L'intérêt pour les occupants dans la gestion des bâtiments : une approche SocioBIM	265
	Conclusion.....	267
	Conclusion de la deuxième partie	269
	Troisième partie.....	271
	Les enjeux informationnels et la continuité entre les phases	271
	INTRODUCTION	273
5.	L'information du bâtiment comme vecteur de ruptures et de connexions entre les acteurs	275
5.1.	La nature des ruptures informationnelles	276
5.1.1.	Quand l'aspect innovant du BIM nuit à la continuité informationnelle	276
5.1.2.	L'écart entre l'informatique et la société, la responsabilité de l'ingénieur	293
5.2.	Les enjeux et besoins BIM des acteurs : une approche systémique de la continuité informationnelle	295
5.2.1.	Les enjeux et les besoins tout au long du projet	297
5.2.2.	Les enjeux environnementaux et le BIM.....	300
5.2.3.	La notion de cycle de vie et la continuité informationnelle.....	303
5.3.	Une continuité informationnelle « SocioBIM »	305
	Conclusion.....	307
	Conclusion générale	309
C1.	La continuité informationnelle en danger face aux obstacles systémiques.....	310
C2.	Les enjeux informationnels comme moyen « social » de connecter les phases.....	310
C3.	Un système d'acteurs intégrant les habitants dans les projets BIM	312
	Limites et pistes d'investigation future	315
	Bibliographie.....	321
	Annexes.....	357
	Annexe 1 Trame de la grille des entretiens exploratoires	358
	Annexe 2 Entretiens des cas d'études	359
	Annexe 3 Liste des usages BIM des études de cas	362
	Annexe 4 Tableaux des missions BIM en phase de conception et de construction	364
	Annexe 5 Analyse des maquettes numériques : Données particulières	366
	Annexe 6 Etude de cas 3 - Cas test de la poutrelle	369
	Annexe 7 Grille d'entretien pour l'exploitation	373
	Annexe 8 Analyse du contenu des entretiens utilisant la fouille de textes sur RCloud	375
	Annexe 9 Questionnaire envoyé aux occupants	377
	Annexe 10 Tables de contingence et analyse du Chi carré sur les enjeux des occupants	381

Liste des tableaux

Tableau 1 Description des cas d'étude	90
Tableau 2 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 1	107
Tableau 3 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 2	112
Tableau 4 Description du cas d'étude 3 - Bâtiment universitaire.....	171
Tableau 5 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant le manque de compétences	177
Tableau 6 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant la modification de l'outil d'exploitation.....	181
Tableau 7 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant le manque d'information	188
Tableau 8 Types de classification des enjeux et usages BIM en exploitation selon les professionnels et la littérature scientifique	201
Tableau 9 Tableau regroupant les types d'obstacles qui peuvent avoir un impact sur la continuité informationnelle selon les dix experts interviewés.	221
Tableau 10 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles de connaissance	278
Tableau 11 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles du marché	282
Tableau 12 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles organisationnels ou de coopération	285
Tableau 13 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles organisationnels ou de coopération	287
Tableau 14 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles financiers	289
Tableau 15 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles externes ou de contexte.....	292
Tableau 16 Tableau de compétences et missions informationnelles dans l'étude de cas 1 :	364
Tableau 17 Tableau de compétences et missions BIM dans l'étude de cas 2 :	365

Liste des tables

Table 1 Profil démographique.....	251
Table 2 Profil démographique par entreprise	252
Table 3 Analyse du chi carré entre la maturité BIM et le type d'entreprise.	253
Table 4 Chi carré test entre l'âge et la maturité BIM de l'échantillon	255
Table 5 Chi carré test entre le genre et la maturité BIM de l'échantillon	255
Table 6 Table de contingence et analyse du chi carré de l'impact sur la satisfaction, productivité et comportement des occupants lors de l'utilisation de la plateforme BIM pour la gestion des bâtiments par entreprise	264
Table 7 Table de contingence et analyse du Chi carré des intérêts des occupants pendant la gestion des bâtiments par entreprise.	381
Table 8 Table de contingence et analyse du Chi carré des intérêts des occupants pendant la gestion des bâtiments en BIM par entreprise.	382
Table 9. Table de contingence et analyse du Chi carré comparant les enjeux des occupants utilisant une plateforme BIM intégrant la maquette numérique du bâtiment selon l'âge.	383

Liste des figures

Figure 1 Organigramme des pôles de l'entreprise ALTO Ingénierie et de leur rôle en matière de BIM, réalisé en 2021	30
Figure 2 Rupture actuelle entre les phases de conception et de construction et la phase d'exploitation.....	40
Figure 3 Construction de la réflexion et de la problématique	47
Figure 4 Schéma qui montre l'évolution des outils de nouvelles technologies de l'information utilisés dans le contexte de l'exploitation étudiée sur une période de 40 ans. (Aziz et al., 2016a).....	49
Figure 5 Organigramme BIM selon le guide pour la rédaction d'une convention BIM de Mediaconstruct (Source : Building Smart France)	58
Figure 6 Temporalité des cas d'étude choisis selon les phases de la Loi MOP	74
Figure 7 Processus de conception, construction et exploitation d'un projet BIM	75
Figure 8 Comparaison du développement d'un projet BIM et d'un projet traditionnel pendant les phases de conception et de construction.	80
Figure 9 Méthodologie de travail. (Source : Auteur.)	87
Figure 10 Exemple des documents utilisés pendant un entretien : une fiche de format A3 avec les notes au crayon de la personne interviewée.	88
Figure 11 Documents produits par phase selon la chronologie du projet établie par la loi MOP	93
Figure 12 : Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet. (Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse de l'étude de cas 1)	95
Figure 13 Fiche du projet de rénovation et extension d'un lycée. Extrait de l'ensemble des fiches réalisées par projet à propos des flux de communication au sein du système d'acteurs. (Source : Graphique préparé par l'auteur).	97
Figure 14 Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet. (Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse des projets).....	100
Figure 15 Fiche du projet des bureaux pendant les phases de conception et d'exécution. Extrait de l'ensemble des fiches réalisées par projet à propos des flux de communication au sein du système d'acteurs.	102
Figure 16 Situation de négociation dans l'étude de cas 1	108
Figure 17 Situations de négociations pendant les phases de conception et exécution de l'étude de cas 2	113
Figure 18 Catégories informationnelles dans les classifications internationales (Autodesk, 2016).....	131
Figure 19 Liste de paramètres spécifiques à un projet concret dans la maquette de réseaux techniques	138
Figure 20 Liste des quatre paramètres « spécifiques » les plus récurrents par acteur, extraite de l'analyse des maquettes numériques des douze projets.....	139
Figure 21 Grille d'analyse informationnelle des maquettes numériques de douze projets	141
Figure 22 Tableau comparatif : classifications internationales <i>versus</i> grille d'analyse développée	143
Figure 23 Grille d'analyse appliquée à l'étude de cas 1 – Projet du lycée	145
Figure 24 Grille d'analyse appliquée à l'étude de cas 2 – Projet de bureaux	146
Figure 25 Diagramme de répartition des données dans les douze projets et dans les deux études de cas séparément	147
Figure 26 Paramètres identifiés par catégorie dans le cas d'étude du lycée.....	148

Figure 27 Paramètres identifiées par catégorie dans le cas d'étude du bâtiment de bureaux	149
Figure 28 Comparaison du développement d'un projet BIM et d'un projet traditionnel en phase exploitation .	165
Figure 29 Documents produits par phase selon la chronologie du projet établie par la Loi MOP	173
Figure 30 Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet. (Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse du cas d'étude 3)	174
Figure 31 Fiche du projet du bâtiment universitaire dans les phases de conception, d'exécution et d'exploitation. Extrait de l'ensemble des fiches réalisées par projet à propos des flux de communication au sein du système d'acteurs.	175
Figure 32 Diagramme élaboré en collaboration avec le bureau d'études exploitation lors d'un entretien, décrivant le processus de récupération de la maquette numérique pour l'exploitation. Ce processus implique l'utilisation d'une plateforme de gestion centralisant la maquette ainsi que les outils d'exploitation.	184
Figure 33 Évolution des informations concernant une poutrelle dans un projet BIM. Extrait du rapport élaboré par le groupe de travail « capitalisation de la donnée » (Bertin, 2020) Accessible en ligne : https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf	189
Figure 34 Diagramme élaboré par le groupe de recherche qui montre en pointillé les relations informationnelles à établir entre les phases. Source : Rapport final de l'enjeu « Capitalisation de la donnée » de l'Atelier de recherche sur l'économie circulaire des bâtiments (Bertin, 2020) Accessible en ligne : https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf	193
Figure 35 Liste des catégories informationnelles des phases de construction et de conception adaptées à la phase d'exploitation.....	202
Figure 36 : Diagramme montrant le réseau de cooccurrences lexicales récursif sur l'ensemble du corpus des entretiens des exploitants.....	219
Figure 37 Hiérarchie des exigences informationnelles selon la norme ISO 19650. Source : Guide d'application du BIM Infra projet National MINND.	227
Figure 38 Exemple d'échelle de Likert à 7 points dans une POE type BOSSA	245
Figure 39 Maquette numérique du bâtiment de l'entreprise A.....	249
Figure 40 Maquette numérique du bâtiment de l'entreprise B.....	250
Figure 41 Maturité BIM dans l'ensemble de l'échantillon	253
Figure 42 Maturité BIM par entreprise	254
Figure 43 Analyse des intérêts informationnels des usagers finaux pendant l'exploitation du bâtiment par entreprise	257
Figure 44 Comparaison entre les enjeux des occupants en exploitation avec et sans plateforme BIM intégrant la maquette numérique du bâtiment.....	259
Figure 45 a) Sans BIM - Intérêt pour les thématiques de gestion des bâtiments / b) Avec BIM - Intérêt pour l'interaction avec une plateforme BIM intégrant la maquette numérique pendant la gestion des bâtiments	260
Figure 46 Diagramme comparant les perceptions sur les avantages du BIM pour les professionnels de l'architecture, l'ingénierie et la construction utilisant et n'utilisant pas le BIM dans leurs projets. (Source : Andres et al., 2017.)	261

Figure 47 Importance des aspects environnementaux dans la gestion des bâtiments pour les occupants en fonction de leur âge	262
Figure 48 Importance de la satisfaction, du comportement et de la productivité des occupants en cas d'utilisation d'une plateforme BIM pour la gestion des bâtiments	264
Figure 49 Schéma qui montre l'élaboration d'une catégorisation des enjeux et besoins informationnels des acteurs pendant les phases de conception, de construction et d'exploitation	298
Figure 50 L'élargissement du système d'acteurs à l'échelle de la ville	317
Figure 51 Maquette Structure Métallique - Eléments en acier	369
Figure 52 Paramètres des poteaux dans la maquette numérique de l'entreprise en charge de la construction de la structure	370
Figure 53 Paramètres des écrous dans la maquette numérique de l'entreprise en charge de la construction de la structure	371
Figure 54 Les deux fenêtres du logiciel Revit montrent que ni dans les propriétés de l'objet (à droite) ni dans les propriétés du matériau (à gauche) ne sont introduites les caractéristiques de l'acier.	371
Figure 55 Les matériaux des façades ont les onglets avec les caractéristiques physiques et thermiques qui ont été créés par l'architecte.	372
Figure 56 Exemple des « Données dynamiques et statiques » dans un modèle BIM en exploitation. Source: https://bim6d.eu/portfolio/din2bim-hospital-del-mar-barcelona/	377

Liste des annexes

Annexe 1 Trame de la grille des entretiens exploratoires	358
Annexe 2 Entretiens des cas d'études	359
Annexe 3 Liste des usages BIM des études de cas.....	362
Annexe 4 Tableaux des missions BIM en phase de conception et de construction.....	364
Annexe 5 Analyse des maquettes numériques : Données particulières.....	366
Annexe 6 Etude de cas 3 - Cas test de la poutrelle.....	369
Annexe 7 Grille d'entretien pour l'exploitation	373
Annexe 8 Analyse du contenu des entretiens utilisant la fouille de textes sur RCloud.....	375
Annexe 9 Questionnaire envoyé aux occupants.....	377
Annexe 10 Tableaux de contingence et analyse du Chi carré sur les enjeux des occupants	381

Préambule

En qualité d'architecte spécialisée dans le *Building Information Modeling* (BIM) depuis 2015, j'ai été témoin des changements qu'a apportés l'intégration de cette technologie de l'information dans le secteur de la construction. Cette expérience professionnelle m'a encouragée à explorer de nouveaux horizons de recherche qui se concrétisent aujourd'hui dans cette thèse doctorale.

Mon travail de recherche adopte une approche double, combinant des perspectives sociologiques et techniques à propos du projet. Ainsi, nous avons constitué une codirection entre deux laboratoires : le LET (Laboratoire Espace Travail) qui se concentre sur une approche plus sociologique des modes de pensée et d'action des différents groupes professionnels impliqués dans la conception, la production et la gestion de l'espace construit, et le MAACC (Modélisations pour l'Assistance à l'Activité Cognitive de la Conception) qui se focalise davantage sur les sciences de la conception, les sciences informatiques et les sciences de l'ingénieur.

En travaillant sur les aspects techniques des outils et des données produites, j'ai également pris en compte les acteurs du projet et les futurs occupants, afin d'orienter mon travail vers un objectif de recherche plus holistique qui considère les dimensions sociotechniques du projet. En tant que chercheuse en devenir, je ressens la responsabilité de mener une réflexion critique sur les effets des innovations technologiques. En effet, il est primordial, depuis le monde de la recherche, de prendre du recul et d'évaluer les conséquences sociologiques de la mise en place et du développement des nouvelles technologies auxquelles nous participons. Nous devons également réfléchir aux enjeux des acteurs impliqués dans ces projets, ainsi qu'à des questions cruciales telles que le rapport bénéfices/risques, le respect d'un cadre juridique (encore flou dans le domaine du BIM), et l'objectivité dans l'appréhension des outils. Ces sujets constituent des enjeux majeurs de la recherche sur les nouvelles technologies de l'information et sont au cœur de ma recherche qui se veut une contribution à la réflexion sur les implications sociotechniques des innovations technologiques dans la construction.

Introduction

1.1. Introduction générale

La récente émergence du *Building Information Modeling* (BIM), que l'on peut situer assez précisément en France en 2014, a engendré de profonds bouleversements interprofessionnels dans les milieux concernés tels que les agences d'architecture, les bureaux d'études techniques, les maîtres d'ouvrage, les entreprises de construction et autres. Bien que le BIM soit techniquement dans la continuité des outils 2D et 3D pour la conception assistée par ordinateur et la visualisation numérique, la quantité d'informations qu'il permet de synthétiser a profondément modifié le rapport des acteurs à la conception, à la réalisation et à l'exploitation des bâtiments.

Cette thèse vise à observer les projets en BIM depuis le point de vue de la continuité informationnelle, qui concerne la transmission des informations entre les différents acteurs au sein du projet, en faisant une distinction entre données et informations. Dans ce travail de recherche, les « données » font référence aux chiffres ou aux mots introduits dans le paramétrage des maquettes numériques, tandis que la notion d'« information » englobe les données déjà traitées ainsi que la transmission des informations relevant de la méthodologie et des pratiques. En étudiant la continuité de l'information entre les parties impliquées dans les différentes étapes de conception, de construction et d'exploitation d'un bâtiment, cette thèse entend mesurer les avancées du projet au fil du temps, à examiner les concepts de « cycle de vie » et d'« économie circulaire », à observer les relations de pouvoir et les négociations qui se produisent lorsque les informations sont intégrées dans le processus de construction, et à souligner l'importance du rôle des usagers finaux, surtout en présence de technologies de l'information.

Dans ce travail, nous observons que les obstacles à la transmission des informations auxquels sont confrontés les acteurs impliqués dans un projet peuvent entraîner des conflits et des blocages, mais également constituer une plus-value lorsqu'ils sont identifiés et traités de manière collaborative par l'ensemble du système d'acteurs impliqué. Nous étudions les interactions entre les différents acteurs impliqués dans un projet BIM, les rôles qu'ils jouent, les relations de pouvoir qui en découlent et les conflits qui peuvent en résulter. Cette thèse

commence en exposant un cadre théorique qui s'inscrit dans un travail de recherche en architecture, qui se situe à la jonction de la sociologie et des sciences de gestion, et adopte une approche technique axée sur les technologies de l'information. Les deux premières parties fournissent une analyse approfondie sur l'impact de la continuité de l'information tout au long du processus de construction d'un bâtiment, depuis les premières phases de conception jusqu'à la gestion et l'exploitation finale. Enfin, la troisième partie propose une discussion transversale des résultats obtenus dans les deux premières, identifiant ainsi les obstacles et les enjeux communs aux différents acteurs impliqués tout au long du projet.

1.2. Contexte

Une thèse en CIFRE dans un bureau d'études techniques

Ce programme de doctorat est soutenu par une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE), dispositif existant depuis 1981 et qui permet à un étudiant de réaliser un doctorat en travaillant conjointement dans un laboratoire de recherche et une entreprise. Selon les recherches de R. Levy, les doctorants engagés dans ce programme ont la possibilité de jouer un rôle de médiateur entre le milieu académique et professionnel (Levy, 2005). En outre, d'après les travaux de V. Mangematin, ces doctorants peuvent également servir de vecteurs de transfert de connaissances entre l'université et l'entreprise (Mangematin, 2003). En somme, la CIFRE est une opportunité unique pour les étudiants de développer leurs compétences scientifiques et techniques tout en favorisant la collaboration et l'échange de connaissances entre différents milieux de recherche.

Ce projet de thèse est motivé par la nécessité d'analyser les modifications dans les processus et les méthodologies de travail suivant l'introduction de la technologie BIM dans les projets de construction chez ALTO Ingénierie, un bureau d'études technique basé en France. Dans un premier temps, le bureau d'études a formulé une demande générale auprès du laboratoire visant à établir une collaboration avec un doctorant pour la rédaction d'un sujet de thèse portant sur les projets BIM. Suite à des échanges entre l'entreprise, la doctorante et le laboratoire, le sujet de recherche a été précisé pour se focaliser sur les enjeux relatifs à la création et à la gestion

de l'information dans les projets BIM. L'objectif opérationnel de l'entreprise était de renforcer les compétences BIM des différents départements de l'entreprise, de collecter des retours d'expérience sur les projets BIM existants et en cours, et d'améliorer les méthodologies de travail pour une meilleure gestion de l'information dans ces projets. Par ailleurs, le sujet de recherche fait suite à une étude initiale menée dans le cadre du post-Master en Recherches en Architecture à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris-La-Villette, intitulée « Les enjeux du BIM selon les acteurs de la construction et de l'aménagement ». Ce travail présentait une analyse de la presse professionnelle en France sur les enjeux des acteurs du monde de la construction. Enfin, la thèse apporte une réponse aux demandes de l'entreprise concernant la compréhension des transformations dans le processus de construction en intégrant à la fois ses objectifs opérationnels et ceux de la doctorante. Cette compréhension est atteinte en examinant les problèmes rencontrés face à la continuité informationnelle à travers l'analyse du système d'acteurs et leurs enjeux. Cette approche a mis en lumière l'importance de l'information en tant que lien entre les différents métiers au sein de l'entreprise d'accueil. Même si les acteurs ne sont pas directement impliqués dans la modélisation des maquettes numériques, ils commencent à s'intéresser à la collecte de données du projet de construction, telles que les données dimensionnelles, fonctionnelles et les données de matériaux. Après ce travail, l'entreprise a commencé à clarifier ses objectifs pour chaque mission et à identifier les acteurs et interlocuteurs pertinents pour chaque projet, dans le but d'améliorer les processus et les négociations avec le reste des acteurs du projet.

La société ALTO Ingénierie, qui participe à cette convention CIFRE, est un bureau d'études indépendant, fondé en 1991, comptant plus de quatre-vingt-dix collaborateurs répartis dans trois agences : Bussy-Saint-Martin en région parisienne (siège social), Lyon et Bordeaux. Depuis plus de trente ans, ALTO Ingénierie s'est engagé dans la qualité environnementale des bâtiments, en l'intégrant de manière transversale à toutes ses missions, en mobilisant l'ensemble de ses compétences, et en adoptant une approche élargie de l'ingénierie en matière de développement durable, avec recours aux outils numériques. L'entreprise se compose de six pôles ou domaines de travail. Les six thématiques des pôles existants portent principalement sur l'environnement, la simulation énergétique, l'électricité et l'éclairage, le CVC (chauffage, ventilation et climatisation), le suivi de travaux, et depuis 2018, un pôle dédié à la synthèse

des réseaux techniques du bâtiment à l'aide de la maquette numérique et à la gestion BIM des projets (Figure 1).

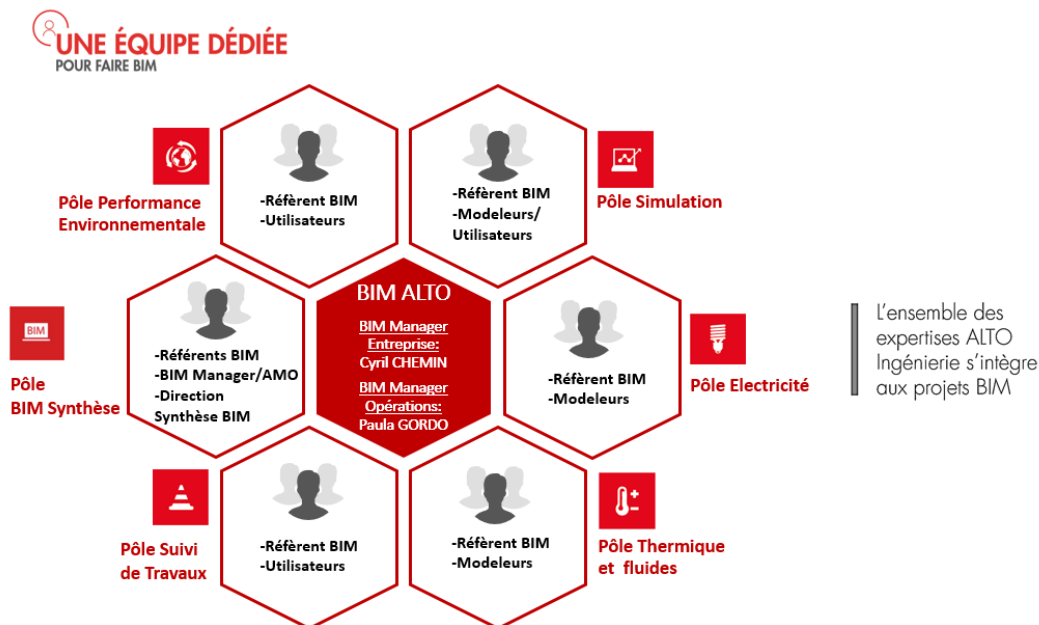


Figure 1 Organigramme des pôles de l'entreprise ALTO Ingénierie et de leur rôle en matière de BIM, réalisé en 2021

Un des principaux avantages d'une thèse en CIFRE est la facilité d'accès au terrain, comme le démontrent les travaux de recherche de F. Hellec, F. Rasolofo-Distler et C. Zawadzki (Hellec, 2014; Rasolofo-Distler & Zawadzki, 2013). Dans ce contexte, F. Rasolofo-Distler et C. Zawadzki ont classé différentes méthodologies d'accès au terrain qui se caractérisent par les apports de la recherche auxquels ils sont associés (à savoir, étude de cas, observation participante, recherche action et recherche intervention). En ce qui concerne la relation entre la recherche et le terrain, notre travail se focalise principalement sur l'observation participante et les études de cas. En outre, nous participons à un projet de recherche-action en interne appelé « ALTO Sphère », impliquant l'ensemble des collaborateurs de l'entreprise d'accueil. Ainsi, la recherche-action, comme la recherche-intervention, ont pour objectif de transformer et d'optimiser le contexte en réponse à un besoin opérationnel spécifique de l'entreprise (Rasolofo-Distler, 2009). En outre, cette thèse a mis en pratique les conclusions et constatations issues des analyses de cas afin d'améliorer les exigences opérationnelles de l'entreprise pour d'autres projets. Ces résultats ont également permis de renforcer les compétences des collaborateurs de l'entreprise, bien que cela ne fasse pas partie intégrante du contenu de cette recherche.

Dès mon arrivée dans l'entreprise, des entretiens ont été conduits avec les responsables de chaque département et les collaborateurs impliqués dans les projets BIM. L'objectif était de comprendre les défis et les enjeux auxquels ils sont confrontés dans leurs projets, ainsi que les sujets qu'ils souhaitaient approfondir. Les résultats de ces entretiens ont été synthétisés dans un document récapitulatif décrivant la situation de chaque département en termes d'utilisation des outils BIM, de leurs défis et des enjeux informationnels associés. Sur la base de ce document, une feuille de route a été élaborée pour mettre en place une approche expérimentale adoptant une méthode de recherche-action/intervention axée sur la maquette numérique du bâtiment de l'entreprise dans le projet ALTO Sphère. Chaque département a participé en fonction de ses besoins et enjeux informationnels. Par exemple, le département simulation a utilisé la maquette numérique pour réaliser des simulations d'éclairage naturel ou de qualité de l'air, en les comparant à des mesures réelles prises dans le bâtiment. Le département environnement a utilisé la maquette pour réaliser une analyse du cycle de vie, tandis que le département chantier a testé des outils pour le suivi de chantier, et même de la réalité augmentée. En 2020, le projet ALTO Sphère autour de la maquette numérique du bâtiment de l'entreprise a remporté le prix *BIM Green Awards*¹ dans la catégorie des petits projets, en raison de son approche pédagogique vis-à-vis des collaborateurs et de son niveau élevé d'appropriation de la technologie BIM.

Ce projet est un exemple de la façon dont une entreprise peut satisfaire ses exigences opérationnelles dans le cadre d'une convention CIFRE en utilisant des compétences de recherche. En outre, en prenant en compte les métiers des différents départements et en impliquant tous les acteurs du projet, l'approche holistique et multidisciplinaire adoptée dans ce projet a renforcé mes compétences en tant que BIM manager dans divers projets de l'entreprise. Le projet devient alors un atelier, qui constitue un espace de réflexivité collective tel que défini par J. Demoulin et S. Tribout (Demoulin & Tribout, 2014). Cependant, il est important de noter que je n'ai exercé la fonction de BIM manager dans aucun des trois cas

¹ Les *BIM Green Awards* ont été organisés par le Réseau BIM des Territoires qui rassemble le Pôle Fibres Énergivie, Novabuild, Domolandes et Hub Ten pour la France, CAP Construction pour la Belgique et Neobuild au Luxembourg. Ce réseau a été créé avec l'objectif d'accompagner et accroître la montée en compétences des entreprises dans le domaine du BIM et ces prix tendent à contribuer à accélérer la transition numérique et écologique du secteur. Les informations relatives à la candidature sont disponibles sur le site web <https://www.construction21.org/france/articles/h/bim-green-awards-decouvrez-les-7-ouvrages-laureats.html>.

d'études examinés dans cette thèse ; ce qui m'a permis de garantir l'objectivité des analyses de données. Par ailleurs, la recherche-action menée sur le projet avec la maquette numérique de l'entreprise a permis d'enrichir les réflexions et d'améliorer la pertinence des entretiens et des méthodologies d'analyse utilisées pour étudier les trois cas d'étude sélectionnés dans la thèse.

Contexte actuel du BIM : définition et réglementation existante

Il est difficile de donner une définition claire et précise de l'acronyme BIM. La terminologie associée au BIM n'est pas définie de manière définitive, c'est pourquoi le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a adopté une approche flexible en acceptant les trois définitions du BIM :

- « • *Building Information Model* ou modèle d'information du bâtiment : le fichier créé avec un logiciel métier spécifique, alliant objets, géolocalisation, géométrie, informations, sémantique, etc. ;
- *Building Information Modeling* ou modélisation des informations du bâtiment : le processus de travail de ceux qui utilisent ces outils, dans un esprit de constitution de base de données du projet et d'échanges entre les acteurs ;
- *Building Information Management* ou gestion des informations du bâtiment : le processus de gestion du projet, à travers des outils tels que la maquette numérique, le management de l'information et des acteurs. »

Dans le cadre de cette thèse, nous envisageons le BIM dans sa globalité en tant que technologie de gestion de données liées aux bâtiments, incluant la modélisation et la gestion des informations des projets. Toutefois, il convient de noter que l'origine de cette terminologie demeure incertaine et que des différences de points de vue peuvent exister entre les professionnels quant à la définition exacte du BIM.

En ce qui concerne le cadre juridique, les directives européennes 2014/24/UE et 2014/25/UE ont accordé aux États membres la faculté d'imposer l'utilisation du BIM. L'article 22 de la directive 2014/24/UE sur les marchés publics et l'article 40 de la directive 2014/25/UE sur la

passation de marchés autorisent l'exigence de l'utilisation d'outils de modélisation électronique spécifiques pour les données du bâtiment, tels que les outils BIM, dans un cadre général, mais sans créer une obligation de l'utiliser pour l'instant. De plus, le Parlement européen a créé un groupe de travail appelé *EUBIM Task Group* qui a pour mission de développer deux projets pilotes. Le premier projet vise à créer une application pour la construction de nouveaux bâtiments, tandis que le second concerne la création d'une application pour l'entretien des bâtiments. L'*EUBIM Task Group*, qui rassemble 21 pays européens, a été créé pour soutenir l'introduction des technologies BIM dans le domaine de la construction et pour faciliter le dialogue entre les pays sur la méthodologie BIM. En conséquence, plusieurs gouvernements européens ont commencé à accompagner la mise en œuvre du BIM, conformément aux directives européennes de 2014.

D'après les recherches menées par R. Charef portant sur l'adoption du BIM à l'échelle européenne, ainsi que l'analyse menée par A. Ganah et G. Lea à l'échelle mondiale, six pays ont actuellement établi des politiques gouvernementales exigeant l'utilisation du BIM : le Royaume-Uni, Singapour, la Norvège, la Finlande, la Corée du Sud et le Danemark (Charef et al., 2019; Ganah & Lea, 2021). En outre, ces travaux de recherche montrent que les pays qui adoptent et mettent en œuvre le BIM avec un cadre normatif plus consolidé incluent actuellement le Royaume-Uni, Singapour, la Norvège, la Finlande, la Corée du Sud, le Danemark, les États-Unis, l'Espagne, la Chine, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Suède et Hong-Kong.

La Grande-Bretagne a concentré ses efforts sur la réglementation du BIM en vue de réduire les émissions de carbone et a lancé un programme quinquennal (2011-2016) pour inciter l'industrie de la construction à adopter le BIM (Schwartz et al., 2016). Depuis 2016, il est obligatoire de suivre les normes de « BIM niveau 2 » lors du dépôt de tous les projets publics, selon la réglementation en vigueur. Dans ce contexte, l'incorporation des outils BIM est considérée comme une méthode d'intervention étroitement associée au développement durable, ce qui génère un vif intérêt de la part d'autres pays. Les pays nordiques tels que la Norvège, la Finlande, le Danemark et la Suède ont également adopté le BIM. La Norvège a encouragé l'utilisation du BIM ces dernières années, en se basant sur les expériences d'un projet pilote réalisé par l'entreprise gouvernementale Statsbygg chargée de la réalisation de grands projets

publics (K. D. Wong et al., 2009). En Finlande, le Senaatti-kiinteistöt et l'Agence Gouvernementale des Services de Propriété ont commencé à encourager l'utilisation de la technologie BIM à partir de 2007, et ont mis en place une réglementation plus détaillée en publiant les *Common BIM Requirements of Finland* (BuildingSMART Finland, 2012; Jung et al., 2018). En Suède, la Swedish Transport Administration a adopté le BIM en 2015 pour les projets d'infrastructure et une organisation à but non lucratif, BIM Alliance Sweden, a été créée en 2014 pour soutenir la mise en place de processus BIM dans tous les domaines (Panteli et al., 2020). Le Danemark a adopté une stratégie consistant à servir d'exemple pour promouvoir l'adoption du BIM depuis 2007 (Anker Jensen & Ingi Jóhannesson, 2013; Sielker & Allmendinger, 2018).

Aux Pays-Bas, le gouvernement impose l'utilisation du BIM dans les projets publics depuis 2011, tandis que le ministère de l'Intérieur exige son utilisation pour les activités de maintenance des grands projets depuis 2012, en établissant des protocoles adaptés aux contrats à long terme (Sampaio, 2022). En Italie, contrairement à d'autres pays européens, il n'y a pas de politique gouvernementale forte en matière de BIM capable d'impliquer et de stimuler l'ensemble du secteur de l'Architecture, Ingénierie et Construction (AEC), et le gouvernement a reporté la mise en œuvre du BIM à 2025 (Pinti et al., 2022). Cependant, l'Italie a récemment montré un intérêt accru pour le BIM et avance lentement vers sa mise en œuvre. En Allemagne, le BIM a été expérimenté dans une période pilote avec quelques projets, puis définitivement imposé en 2020 pour tous les nouveaux projets lancés par le ministère fédéral des Transports et des Infrastructures Numériques (Akhnoukh et al., 2022). En Espagne, la demande de la méthodologie BIM dans les marchés publics n'est pas obligatoire dans tous les cas, mais le nombre d'appels d'offres exigeant des compétences en BIM a augmenté ces dernières années. La loi 9/2017 sur les contrats du secteur public de l'État espagnol permet la demande de méthodologie BIM ou d'outils similaires dans les appels d'offre publics. Cette exigence est présente dans diverses stratégies nationales telles que le Plan de marchés publics verts (2019) ou l'Agenda numérique 2025 (2020) (Pérez-García et al., 2021).

En France, l'apparition du BIM a débuté en 2014 à la suite des directives européennes, ce qui a engendré des bouleversements significatifs au sein du milieu professionnel. Le gouvernement français avait initialement annoncé son intention de rendre obligatoire l'utilisation de la

maquette numérique pour les marchés publics en 2017², mais cette mesure n'a finalement pas été prise (Nagy et al., 2014). Le gouvernement a plutôt opté pour la création d'un plan visant à accompagner les professionnels de la construction dans leur utilisation du BIM. Le Plan de Transition Numérique sur le Bâtiment (PTNB) est une démarche politique lancée en 2014 pour favoriser l'expérimentation, l'appropriation du numérique, le développement des outils et la professionnalisation. Les auteurs K. Beddiar et F. Imbault ont décrit le contexte français en matière de BIM et ont expliqué que le PTNB est le résultat de six mois de travail et de 130 consultations d'acteurs privés et publics (Beddiar & Imbault, 2017). Le PTNB s'est achevé fin 2017 et le gouvernement français a commencé à travailler sur le Plan BIM 2022, qui visait à accélérer la transformation numérique de l'industrie de la construction en proposant de nouvelles méthodes pour faciliter et améliorer la construction de bâtiments BIM (Bedoiseau et al., 2022; Panteli et al., 2020).

En France, l'adoption croissante des technologies BIM a été stimulée par les initiatives politiques telles que le Plan BIM 2022 qui ont permis de sensibiliser les acteurs de la construction à l'utilisation de ces outils. Cette dynamique a été renforcée par la demande croissante des maîtres d'ouvrage dans leurs appels d'offres de recourir au BIM. Toutefois, il est important de noter que malgré les progrès significatifs dans certains pays européens, de nombreux autres pays ont encore peu développé leur utilisation des technologies BIM. En outre, tout au long de la thèse, il a été observé que, même dans des pays différents avec des cadres normatifs divers, les acteurs de la construction sont confrontés à des problématiques similaires. Cela témoigne du caractère international et transversal du BIM entre les différents pays, comme le montre la littérature scientifique mobilisée tout au long de la thèse.

Etat des lieux de la recherche

Les recherches scientifiques portant sur la méthodologie BIM sont souvent axées sur les aspects techniques de l'informatique. Les publications couvrent souvent des sujets tels que l'interopérabilité, l'échange de données entre différents logiciels, et le développement de nouvelles fonctionnalités et outils. L'étude bibliométrique menée par Z. Liu sur la recherche

² En mars 2014, Cécile Duflot a annoncé : « 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. »

mondiale sur le BIM a révélé que le journal *Automation in Construction*, spécialisé en ingénierie et en conception assistée par ordinateur, a publié le plus grand nombre d'articles sur la méthodologie BIM. Cette observation illustre la prédominance actuelle des recherches scientifiques sur les aspects techniques du BIM, en particulier en ce qui concerne les préoccupations liées à l'échange de données dans le domaine informatique (Liu et al., 2019). Par ailleurs, Z. Liu a montré que de nouveaux domaines de recherche ont émergé dans le cadre des projets BIM, tels que l'Internet des objets, les systèmes d'information géographique (SIG) ou les études environnementales en BIM. En relation avec ce sujet, X. Zhao a mené une analyse de la littérature scientifique sur le BIM jusqu'en 2016, permettant de recenser les principales thématiques de recherche, telles que l'informatique mobile et en nuage, le scanner laser et la photogrammétrie, la réalité augmentée, la technologie du web sémantique, la génération automatisée, la vérification des normes et les tests de codes informatiques. (Zhao, 2017).

Plusieurs recherches ont constaté un bouleversement des métiers et la difficulté dans l'appropriation de cette technologie de l'information par les acteurs du secteur. Les recherches menées sur l'adoption du BIM dans diverses régions et pays du monde ont mis en évidence des difficultés liées à l'implémentation de cette technologie, notamment le manque d'investissement financier, le manque de compétences et l'absence de cadre réglementaire (Ding et al., 2015; Gu & London, 2010; Mr. Hosseini et al., 2016; Matarneh & Hamed, 2017; Mehran, 2016; Zahrizan et al., 2013). L'adoption difficile d'une technologie de l'information dans le domaine de la construction est en grande partie attribuable au contexte culturel de ce secteur. Les travaux de recherche de C. Botton et D. Forgues, ainsi que l'ouvrage d'E. Lebègue et J. Cuba-Segura, expliquent que la technologie BIM est héritée des secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, où l'organisation des métiers et des processus est très standardisée et répond aux enjeux de production de ces industries (Botton & Forgues, 2018; Cuba Segura & Lebègue, 2015). Cependant, dans le domaine de la construction, le contexte est très différent, notamment en ce qui concerne l'acte créatif et le système complexe d'acteurs impliqués. Comme l'ont souligné B. Gilligan et J. Kunz, « *la nature fragmentée du processus de construction fait de chaque projet une situation unique qui n'est pas reproductible, même entre des projets de même envergure* » (Gilligan & Kunz, 2007). Ainsi, l'introduction d'une technologie issue de secteurs industriels qui ne sont pas adaptés aux processus de construction et aux spécificités de ces projets entraîne une modification significative des méthodologies de travail et même des temporalités du projet afin

de s'adapter à cette technologie. Ce changement peut avoir un impact important sur l'organisation et la planification du projet : cela inclut notamment l'introduction de nouvelles tâches liées aux informations, la classification de ces informations et la standardisation des méthodologies de travail à partir des normes ISO.

D'un point de vue scientifique, il a été observé que la majorité des travaux de recherche portant sur le *Building Information Modeling* (BIM) se concentrent sur les phases de conception et de construction. Cette tendance peut être attribuée au manque de projets utilisant le BIM pour la phase d'exploitation, comme l'a souligné P. Pishdad-Bozorgi dans sa publication décrivant l'un des premiers projets pilotes visant à mettre en place le BIM pour la gestion et la maintenance des bâtiments (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Dans ce contexte, G. Tsay souligne en 2022 « *bien que la modélisation des données du bâtiment (BIM) ait été présentée comme une solution potentielle pour augmenter la qualité et la disponibilité des informations des équipements afin de faciliter l'exploitation du bâtiment, peu d'études ont abordé les aspects difficiles de la création et la gestion de ces informations dans le cadre de projets réels*³ » (Tsay et al., 2022). En outre, les recherches actuelles sur le BIM ont tendance à fragmenter les différentes phases du cycle de vie d'un bâtiment, notamment la conception, la construction et l'exploitation, en raison des différences d'outils et d'acteurs impliqués. Cette fragmentation freine la recherche visant à lier la maquette numérique de la phase de conception à celle de la phase d'exploitation. Toutefois, de nouvelles recherches se concentrent sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments et l'intégration du BIM à toutes les phases, bien que cela soit actuellement limité à un point de vue environnemental, comme en témoignent les travaux de J. Wong et J. Zhou sur le *Green BIM* (J. K. W. Wong & Zhou, 2015). Sur le plan de la gestion, influencé par les racines industrielles du BIM, des chercheurs ont établi une corrélation entre les différentes étapes du processus de production en appliquant des méthodes de gestion intégrée qui cherchent à prendre en compte tous les intervenants de toutes les phases et leurs restrictions dès le début du projet (Mellado & Lou, 2020; Michaud et al., 2019). D'après les déclarations de D. Nascimento et S. Terreno, ces méthodes de gestion intégrée ont été appliquées dans diverses industries et visent à réduire les délais et les erreurs, ainsi qu'à améliorer la productivité et l'efficacité (Nascimento et al., 2018; Terreno et al., 2019).

³ Traduction en français d'un extrait de la publication « *BIM for Facilities Management: An Investigation into the Asset Information Delivery Process and the Associated Challenges* » (Tsay et al., 2022).

Sur le plan informatique, l'interconnexion entre les phases de construction et d'exploitation est devenue un défi pour les développeurs d'outils de gestion des bâtiments car ils cherchent à extraire les informations contenues dans les maquettes numériques remises à la fin du projet de construction. Ces dernières années, il y a eu de nombreuses publications sur l'interopérabilité des outils d'exploitation, comme en témoignent les recherches de G. Ozturk. Les résultats de ces recherches indiquent que la perte de données et les problèmes de communication associés au manque d'interopérabilité peuvent entraîner des soucis dans la gestion et la performance du bâtiment (Ozturk, 2020). Des recherches sont actuellement menées pour développer des outils informatiques qui permettent de récupérer ces données et de les intégrer dans les outils de gestion utilisés par les gestionnaires des bâtiments pendant la phase d'exploitation (Chang et al., 2018a; Dahanayake & Sumanarathna, 2021; Kula & Ergen, 2021; Reisinger et al., 2020).

Bien que les préoccupations relatives à l'échange de données et au domaine informatique soient toujours prédominantes dans les recherches sur le BIM, de nouvelles thématiques sont abordées à l'échelle mondiale dans le contexte des projets BIM. Une tendance actuelle de recherche consiste à examiner l'implication des acteurs dans les projets BIM, comme en témoignent les travaux de E. Hochscheid et G. Halin (É. Hochscheid & Halin, 2018). D'autres pays tels que l'Australie, la Chine, l'Espagne ou le Brésil ont également mené des travaux similaires à cette étude réalisée en France (Arrotéia et al., 2021; Ding et al., 2015; Mr. Hosseini et al., 2016; Pérez-García et al., 2021). Cependant, ces recherches sur la méthodologie BIM ont souvent une approche limitée, en se concentrant sur un seul type d'acteur ou une seule phase du cycle de vie du bâtiment, ce qui ne permet pas toujours d'examiner de manière globale la relation entre les différents acteurs et l'information tout au long du cycle de vie du bâtiment, de la conception à la gestion. Ainsi, il existe peu de travaux qui aient adopté une approche sociologique pour analyser le système d'acteurs impliqués dans le cycle de vie des bâtiments. Cette approche prend en compte les intérêts et les préoccupations de tous les acteurs impliqués, au lieu de se concentrer sur un type d'acteur ou un obstacle spécifique, contrairement à une approche purement managériale.

En somme, les recherches actuelles sur le BIM présentent une lacune en ce qui concerne la prise en compte de l'absence de continuité informationnelle entre les parties prenantes impliquées dans un projet de construction. Elles mettent trop l'accent sur les outils informatiques et pas

suffisamment sur les acteurs impliqués. Le manque de recherches sur la continuité informationnelle entre les parties prenantes dans les projets BIM est également due à l'absence de démarches holistiques et sociologiques pour appréhender l'ensemble du processus de construction.

1.3. Questionnement

Cette thèse vise à analyser, du point de vue sociologique, les effets des technologies de l'information sur le secteur de la construction en étudiant leur impact sur les acteurs impliqués dans les projets. En analysant le contexte, nous avons identifié deux observations-clés : premièrement, l'intégration des tâches de gestion de l'information entraîne une transformation des métiers de la construction ; deuxièmement, les processus impliquant la méthodologie BIM sont limités aux phases de conception et de construction, sans s'étendre à la phase d'exploitation.

En se basant sur l'analyse du contexte actuel, il est possible de constater un manque d'études sur la continuité de l'information entre les phases de conception, de construction et d'exploitation dans les projets BIM. Ceci s'explique probablement par l'absence de continuité de l'information dans les projets traditionnels. Les projets traditionnels ne disposent pas d'une base de données informatique commune entre les phases de construction et d'exploitation, mais seulement d'une collection de documents composés de textes et de graphiques, souvent au format PDF, que les exploitants doivent étudier et intégrer manuellement dans leurs logiciels d'exploitation, comme illustré dans la Figure 2. En parallèle, si l'on se place au niveau du système d'acteurs, le phasage existant ainsi que les différents outils, méthodologies de travail et temporalités ont créé un écart entre les acteurs qui ne communiquent pas entre ces phases. Par conséquent, ce manque de continuité informationnelle entre les phases dans les projets traditionnels a également influencé la littérature relative aux projets BIM, qui n'a pas encore abordé ce sujet.

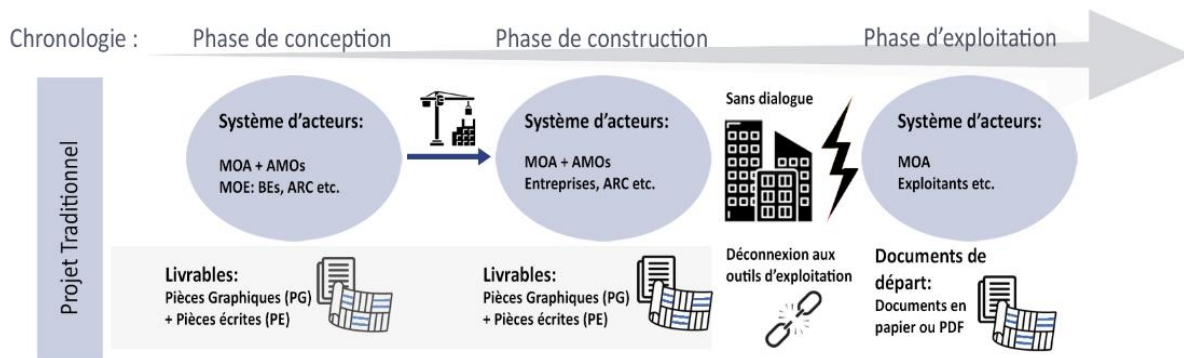


Figure 2 Rupture actuelle entre les phases de conception et de construction et la phase d'exploitation

Ainsi, notre objectif de recherche est d'analyser les raisons sous-jacentes au manque de continuité de l'information entre les parties prenantes tout au long des étapes d'un projet BIM, ainsi que les facteurs favorisant la connexion entre ces parties prenantes. Nous utiliserons une approche centrée sur le système d'acteurs impliqués, en examinant leurs enjeux, l'évolution de leurs rôles et leur impact sur les utilisateurs finaux, qui sont également des acteurs-clés dans la fabrication de la ville. Notre étude comprend donc deux questions de recherche complémentaires : la première se concentre sur l'identification des obstacles à la continuité informationnelle, tandis que la seconde explore les moyens de surmonter ces obstacles.

- Quels sont les facteurs qui produisent des ruptures informationnelles dans les projets en BIM tout au long des phases du projet ? Comment y remédier ?

Tout d'abord, nous allons clarifier les concepts d'« l'information », de « données » et de « continuité » pour délimiter le contexte de notre étude.

1.4. Objet de recherche

L'information et les données dans les projets de construction

L'objectif de rassembler et de stocker les données du bâtiment remonte au besoin mais aussi au désir humain de collecter des informations. Dans son livre *Digital Culture in Architecture* (Picon, 2010), Antoine Picon souligne le fait que les gens ont toujours eu un intérêt pour le

stockage d'informations, ce qui a conduit à la création de bibliothèques et au développement ultérieur de la technologie d'impression. Au XVIII^e siècle, à la suite de la révolution industrielle, les spécifications accompagnant les produits industriels incluant des éléments et des matériaux de construction se sont multipliées. Dans le contexte de l'industrie de la construction, les informations relatives aux éléments et matériaux de construction ont gagné en importance au fil du temps. Initialement, ces informations étaient généralement notées de manière informelle sur les plans de construction. Cependant, avec l'avènement de la révolution industrielle, ces notes ont évolué vers des documents écrits de plus en plus détaillés, organisés et classés. R. L. Ackoff, dans sa publication « *From data to wisdom* », explique la différence entre données et information (Ackoff, 1989). Pour R.L. Ackoff, les données sont des symboles qui représentent les propriétés des objets et des événements, alors que l'information est constituée de données traitées, le traitement visant à accroître leur utilité. Les deux contiennent des propriétés des objets mais l'information est plus utile que les données car elle est déjà travaillée ou traitée. Dans le cadre de cette thèse, les termes « données » et « information » seront fréquemment employés. Le premier sera utilisé pour désigner « les propriétés présentes dans les paramètres des maquettes numériques de bâtiments qui sont analysés ». Le second désignera quant à lui « les données déjà traitées ainsi que celles relevant de la méthodologie et des pratiques BIM ».

Par ailleurs, dans ce document, on recourra rarement au terme « ontologie » malgré l'utilisation fréquente de l'expression « systèmes d'information ». Bien que l'ontologie soit un concept complexe utilisé en philosophie pour étudier l'existence, dans le domaine informatique, l'ontologie renvoie plutôt à un langage pour structurer les objets, leur description et les relations entre eux (Zúñiga, 2001). Et selon la définition de B. Smith, l'ontologie cherche à fournir une classification définitive et complète des entités dans toutes les sphères de l'existence (B. Smith, 2012). Ainsi, l'utilisation d' « ontologie » dans le domaine informatique peut être mal perçue, similairement à la manière dont les architectes peuvent percevoir l'expression « architecture de systèmes ». Nous préférons donc employer les substantifs « classification » et « information » pour éviter toute confusion.

La standardisation et la classification de l'information ne sont pas exclusives du domaine de la construction, au contraire. J.C. Ruano-Borbalan, dans son article sur la « grande standardisation », souligne qu'elles font partie d'un processus de standardisation et de

rationalisation généralisé des sociétés les plus industrialisées qui a émergé au XIX^e siècle et au début du XX^e. Ce processus global a influencé tous les aspects de la vie économique, politique et sociale. En outre, l'auteur souligne que le développement de formes de standardisation et de cadrage dans la société de l'information est particulièrement remarquable après la Seconde guerre mondiale (Ruano-Borbalan, 2017). Selon A. Picon, les premières classifications ont été développées dans le domaine de la construction en réponse à la gestion de la quantité massive de données résultant de la révolution industrielle des XIX^e et XX^e siècles, ainsi qu'à l'évolution et la spécialisation des métiers de la construction. Cette spécialisation était nécessaire pour faire face à la complexité croissante et à l'ampleur des projets de construction qui ont entraîné une division du travail plus spécialisée (Picon, 2014). Les classifications utilisées dans le domaine de la construction ont été développées principalement par le *Construction Specifications Institute* (CSI), et comprennent notamment le Masterformat, Omniclass, Unifomat et Uniclass (Afsari & Eastman, 2016). Bien que la classification Unifomat soit la plus couramment utilisée aux États-Unis en raison de sa simplicité, les classifications Uniclass et Omniclass sont également largement employées car elles prennent en compte les aspects organisationnels et fonctionnels en plus des aspects techniques. Ces classifications ont été intégrées dans les normes de construction ISO telles que ISO 19650 et ISO 12006. La norme ISO 19650 est considérée comme la norme de référence pour le BIM en Europe, et elle recommande que la classification des objets soit en accord avec les principes de la norme ISO 12006-2 et que les informations sur ces objets respectent la norme ISO 12006-3 afin de faciliter l'échange d'objets entre différentes parties prenantes (ISO, 2018, 2019).

Par le passé, le développement des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) en France (Guéna & Leininger, 1986) et à l'étranger (C. M. Eastman, 1980b) a impliqué des recherches importantes sur la classification des données. Une grande partie de ces recherches en France faisaient partie de la production scientifique du groupe IN.PRO.BAT⁴. Ces travaux ont été menés, entre autres, par le Centre Régional de Conception Assistée par Ordinateur Midi-Pyrénées (CAOMIP), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), le Groupe de recherche pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme (GAMSAU) et le Centre d'Informatique et de Méthodologies en Architecture (CIMA), dans les

⁴ De 1985 à 1989, le programme IN.PRO.BAT – INformatique, PROductique et BATiment – est un programme du Plan Construction du Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Urbanisme et des Transports qui a mené des recherches importantes sur l'informatique et l'architecture en France.

années 1980-1990 (Fregier, 1983; Goulette et al., 1988; Guéna & Leininger, 1986). Ces travaux sur la structuration des bases de données ont été poursuivis dans les années suivantes essentiellement par les membres du GAMSAU à Marseille et du CRAI à Nancy, dont les projets de recherche étaient principalement axés sur la gestion et la description des informations sur le bâtiment pendant son cycle de vie en tenant compte des besoins et des préoccupations des acteurs (Ameziane, 1998; Hamani, 2005; Lasserre, 2003).

Nous avons également étudié les démarches de BuildingSMART France qui a été l'acteur le plus important du développement BIM en France. Cette organisation, représentée par l'association Médiaconstruct créée en 1989, est la plus importante à l'échelle nationale et elle est liée à BuildingSMART International, groupement international apparu en 1996 et dont les travaux sont principalement axés sur le développement de l'IFC (*Industry Foundation Classes*). L'IFC est la classification la plus importante dans le domaine de la construction et permet la compatibilité entre les différents formats et logiciels dans ce domaine. L'Alliance internationale pour l'interopérabilité (AIA) a défini environ 900 classes afin d'attribuer une classe à chaque objet conçu dans les modèles BIM, et ces classes sont associées à des propriétés qui définissent les caractéristiques des entités. En outre, l'IFC améliore la clarté de la sémantique et des taxonomies utilisées dans les modèles d'information (Venugopal et al., 2012). BuildingSMART International a également développé des recherches sur l'interopérabilité, les bonnes pratiques, les normes, la collaboration, les classifications internationales, etc.

Par ailleurs, nous avons observé que la position dominante des entreprises américaines sur le marché, ainsi que les fondements aéronautiques des projets BIM développés aux États-Unis, ont conduit à la prédominance de la langue anglaise dans les travaux de recherche sur cette technologie. De plus, la classification des informations provient principalement des pays anglo-saxons, et la portée internationale de cette technologie a également contribué à cette tendance. Malgré tout, il est important de noter que des recherches ont été menées en France dans les années 1980/1990 par le groupe IN. PRO. BAT sur la gestion et l'organisation des données du bâtiment, qui seront utiles dans notre analyse des bases de données des maquettes numériques.

La continuité et les ruptures informationnelles

Tout au long de ce travail de recherche, nous allons travailler autour de la notion de « continuité informationnelle ». De manière générale, dans le contexte des études sémantico-syntaxiques des langues, la continuité informationnelle est garantie principalement par un enchaînement rhématique ou thématique, ce qui implique une continuité des sujets abordées (Miczka, 2010). J. François et E. Fowler ont mis en évidence dans le domaine médical que la continuité informationnelle se rapporte à l'échange fluide de données qui relient les soins prodigués par un professionnel de santé à un autre, en particulier en ce qui concerne le suivi des patients (François & Fowler, 2022).

Cette expression est également largement utilisée dans le domaine de la construction. Ainsi, en 2005, S. Lasserre et F. Ameziane ont souligné l'importance de la continuité et de la fragmentation informationnelle dans la gestion des projets BIM pour l'analyse du cycle de vie du bâtiment (Lasserre & Ameziane, 2005). En 2014, le rapport « Mission Numérique du Bâtiment » publié par le ministère du Logement a exposé deux approches différentes pour assurer la continuité de l'information dans la construction et la gestion des bâtiments : la continuité de l'information du bâtiment à la ville, et la préservation de la continuité de l'information des maquettes numériques durant la phase d'exploitation (Delcambre, 2014). L'ouvrage « Le BIM et l'évolution des pratiques » a également souligné l'importance de la continuité informationnelle à plusieurs niveaux, en mettant l'accent sur l'enjeu de relier le bâtiment à son environnement (Marquès & Teulier, 2020). Même dans le cadre professionnel, le rapport de BuildingSmart intitulé « Exigences BIM pour les gestionnaires d'actifs d'infrastructure » recommande que les informations de chaque phase du développement d'un actif soient transmises de manière héritée à la phase suivante, tout en assurant une transmission continue de l'information fondée sur les besoins d'information de la phase précédente (Jackson, 2017). Dans cette thèse, nous nous intéressons également à la notion de "flux informationnel" telle que définie par P. Marin (Marin, 2020). Cette notion renvoie à la circulation de données à différentes échelles, notamment celle de l'objet, du bâtiment et de la ville. Notre recherche vise à identifier les facteurs qui favorisent ou entravent la continuité de ces flux, mais en se limitant à l'échelle du bâtiment.

Par ailleurs, les recherches sur les bâtiments utilisent l'expression « continuité des données » pour se référer à la transmission continue des données tout au long du cycle de vie du bâtiment (Whyte et al., 2013). Cette notion est similaire à la continuité informationnelle et est présente dans des publications portant sur l'interopérabilité et l'utilisation des données BIM pour l'analyse énergétique et environnementale (Eyrolles & Roxin, 2022). Les formats interopérables visent à créer également une continuité des données entre les différents logiciels BIM, tandis que l'Industrie 4.0 cherche à établir un flux continu des données de l'industrie jusqu'au chantier en reliant les données de production à la maquette numérique (Reisinger et al., 2020) (S. Park & Kim, 2016). Ainsi, l'amélioration de la continuité des données est essentielle pour la mise en place de processus BIM qui nécessitent la récupération de paramètres ou de caractéristiques pour réaliser des calculs ou des simulations. Dans cette thèse, l'occurrence « continuité informationnelle » est préférée à « continuité des données » car elle représente un éventail plus large de caractéristiques nécessaires pour assurer la communication entre les phases d'un projet. Ainsi, la continuité informationnelle inclut des informations sur les compétences ou les méthodologies de travail qui vont au-delà de la simple continuité des données.

Par ailleurs, la notion de « rupture informationnelle » est tout aussi importante que celle de continuité dans les études linguistiques sur le chaînage (Baranzini, 2007; Mounier, 2019). La rupture informationnelle se réfère à une absence de continuité dans l'information. Elle représente l'absence de continuité informationnelle et est abordée aussi bien dans la linguistique que dans d'autres domaines tels que la politique de l'information. Le livre de P. Aigrain traite de l'importance de l'information et de sa propriété pour l'avenir de nos sociétés. L'auteur utilise l'expression « rupture informationnelle » à plusieurs reprises pour souligner l'importance des enjeux liés à l'information, notamment en ce qui concerne la propriété de l'information et ses conséquences potentielles sur la société (Aigrain, 2013). Par ailleurs, au sujet des technologies numériques, E. Lacombe propose un modèle écosystémique de gestion de l'information pour faire face à la rupture informationnelle contemporaine qui résulte du passage d'une communication basée sur ce qui est visible à l'écran à une communication de l'invisible (Lacombe, 2020). En somme, dans ces travaux de recherche traitant de la rupture informationnelle, cette notion est étroitement liée aux propriétés des données et à l'impact des technologies sur la société.

Dans les travaux de recherche sur le BIM, l'expression anglaise « *information gap* » est largement utilisée et a été traduite en français par « rupture informationnelle ». Les articles traitant de l'interopérabilité en conception font souvent référence à cette notion (Vieira et al., 2020; X. Wang et al., 2013), de même que ceux relatifs à l'analyse de cycle de vie ou aux analyses énergétiques (S. Chen et al., 2018; Dupuis et al., 2017) ou à la connexion entre les phases de construction et d'exploitation (Dong et al., 2014; Halmetoja & Lepkova, 2022; Kutaiba & Kwok Chuen, 2020; Tan et al., 2018). En France, dans « À la pointe du BIM : ingénierie et architecture, enseignement et recherche », R. Teulier et N. Boutros abordent les problèmes liés aux « ruptures de continuité sémantique » dans le cadre de la recherche sur le BIM (Teulier & Boutros, 2018). En outre, la recherche menée par H. Pruvost offre une méthodologie et un cadre informatique visant à combler les ruptures d'information entre la conception et l'exploitation des bâtiments (Pruvost et al., 2018). Ainsi, la présence fréquente de ruptures informationnelles dans de nombreux travaux scientifiques souligne la nécessité d'une solution globale à un problème généralisé qui affecte plusieurs phases du projet, en particulier la transition entre la construction et l'exploitation, ainsi qu'une variété de thématiques.

1.5. Cadre théorique : une double approche sociologique et technologique

Cette thèse se concentre sur la recherche dans le domaine de l'architecture tout en explorant les dimensions sociales et les interactions entre la technologie et la sociologie, comme c'est le cas d'autres thèses en architecture qui ont également une approche multidisciplinaire, et qui peuvent interagir avec plusieurs disciplines telles que l'urbanisme, le paysage, la sociologie, les sciences politiques, les sciences de la gestion ou l'économie. Ainsi, nous aborderons les projets BIM sous deux angles distincts, à savoir le point de vue sociologique et le point de vue technologique, dans une approche perspectiviste nietzschéenne, telle que prônée par G. Simmel (Simmel, 1998). Celui-ci explique que la connaissance n'est qu'une interprétation du monde depuis un point de vue particulier, et réclame le perspectivisme du savoir en sciences sociales

et le besoin d’observer la problématique sous des angles différents, voire presque opposés, afin d’obtenir plus d’objectivité dans le savoir scientifique (Gaglio, 2012; Gerhardt, 2008). Dans notre analyse sur la continuité informationnelle au sein du système d’acteurs des projets BIM, nous avons examiné l’activité des acteurs à travers un cadre théorique sociologique, tandis que l’information a été abordée dans une perspective technologique et informatique.

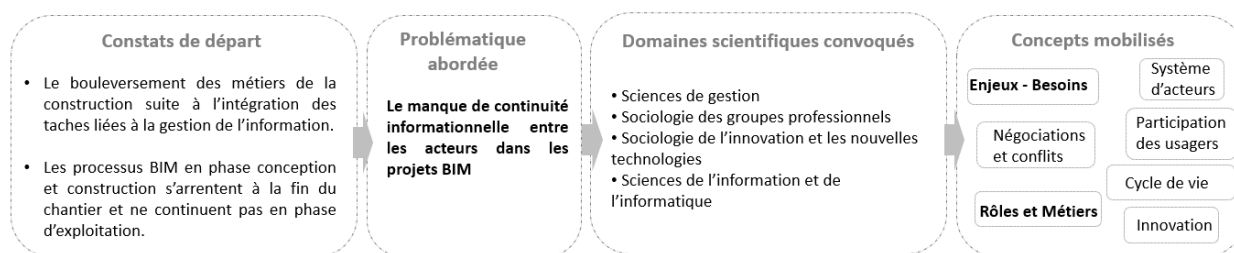


Figure 3 Construction de la réflexion et de la problématique

Notre cadre théorique d’analyse comprend trois thématiques principales qui nous ont permis de caractériser la continuité informationnelle dans les projets BIM. La première thématique examine l’impact de cette technologie de l’information dans le domaine de la construction, ainsi que sa dimension sociologique pour les groupes professionnels impliqués. La deuxième aborde les enjeux liés à la gestion de projet avec les technologies de l’information, tandis que la troisième analyse le BIM en tant que dispositif sociotechnique qui intègre les occupants.

a) L’impact de la société de l’information dans la construction, les outils et le système d’acteurs

La mise en place de nouvelles technologies de l’information dans le domaine de la construction soulève une question primordiale portant sur les aspects fondamentaux du BIM en tant que technologie de l’information et son influence sur le système d’acteurs et les outils qu’ils utilisent.

L'émergence d'une technologie de l'information dans le champ de la construction, un processus innovant

Dans la publication de M. Castells, « Une introduction à l'ère de l'information », l'auteur présente la diffusion et le développement de la révolution des technologies de l'information comme un des événements historiques majeurs du XX^e siècle (Castells, 1997) : « *Les technologies de l'information ne sont pas la cause des changements que nous vivons. Mais sans les nouvelles technologies de l'information et de la communication, rien de ce qui change nos vies ne serait possible [...]. Tout le domaine de l'activité humaine dépend de la puissance de l'information, dans une séquence d'innovation technologique qui accélère son rythme chaque mois* » (Castells, 2002). L'introduction des nouvelles technologies de l'information est alors en train de transformer la société. Dans ses travaux sur la « troisième révolution industrielle », J. Rifkin souligne également que l'introduction de nouvelles technologies a révolutionné et modifié les flux, les processus et les méthodologies de travail dans un grand nombre de disciplines (Rifkin, 2011), y compris selon les travaux de J. Guéneau sur le champ de la construction (Guéneau, 2019). Ainsi, en ce qui concerne le secteur de la construction, R. Tullenheimo souligne que l'avènement de la révolution numérique et de l'information a conduit à l'émergence des technologies BIM (Tullenheimo, 2015). La définition du BIM en tant que technologie de l'information peut être comprise comme étant une technologie qui sert à fournir des données, des informations et des connaissances, selon la définition de Z. Turk (Turk, 2000). Dans le contexte de la construction, C. Botton et S. Kubicki soulignent que les technologies de l'information varient selon les différents métiers du secteur, tels que les exploitants, les concepteurs, et ceux qui suivent les chantiers. Néanmoins, ils soulignent que l'arrivée du BIM en tant que technologie orientée objet pourrait faciliter la mutualisation de tous ces outils et technologies existants (Botton & Kubicki, 2014b). Cette pluralité d'outils et de technologies est également remarquée par D. Aziz dans ses travaux sur l'évolution des technologies de l'information dans l'exploitation des bâtiments (voir Figure 4). Tous ces outils sont représentés dans le diagramme d'évolution des technologies de l'information et de la communication (ICT), car ils ont en commun la capacité de conserver une trace de l'évolution de l'information au cours de la gestion du bâtiment. D. Aziz y a positionné le BIM en tant que dernier maillon de la chaîne en raison de sa capacité à transmettre des informations riches en données issues du processus précédent, la construction,

pour que ces informations puissent être transférées et réutilisées au cours de la phase d'exploitation et de maintenance.

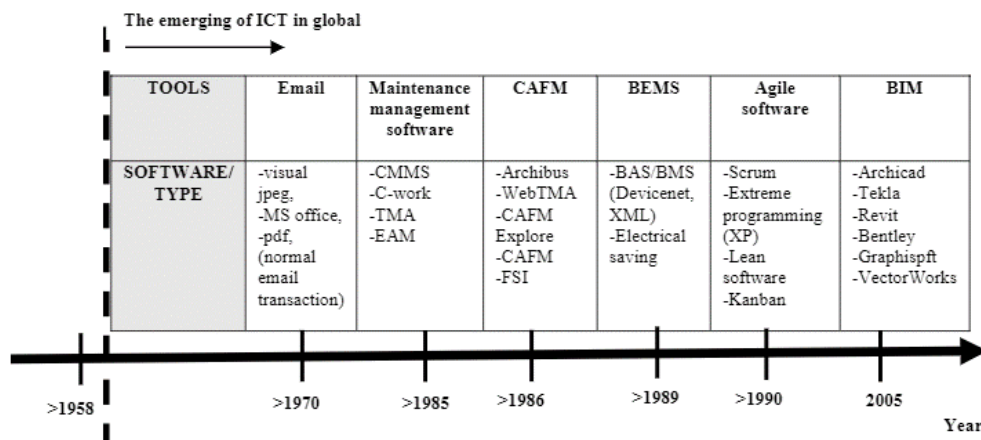


Figure 4 Schéma qui montre l'évolution des outils de nouvelles technologies de l'information utilisés dans le contexte de l'exploitation étudiée sur une période de 40 ans. (Aziz et al., 2016a)

Par ailleurs, selon D. Bouchlaghem, la gestion de la collaboration dans une organisation ne peut être accomplie sans l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cet auteur met en garde contre les défis posés par les technologies axées sur les aspects sociaux et économiques des organisations, car une bonne collaboration ne découle pas uniquement de l'utilisation de systèmes d'information (Bouchlaghem, 2012). En conséquence, d'après la littérature, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) telles que le BIM sont considérées comme bénéfiques pour la collaboration dans les projets de construction. Cependant, la coopération entre les parties prenantes dépend également de divers autres facteurs. Il est crucial de comprendre l'impact de ces outils sur la collaboration, mais cela doit être examiné d'un point de vue sociologique et managérial pour bénéficier d'une analyse approfondie.

Dans cette thèse, l'impact sociologique des nouvelles technologies de l'information sur le système d'acteurs est étudié en se basant sur la sociologie de l'innovation qui traite des grands changements sociaux liés aux processus d'innovation. Ainsi, l'impact social des nouvelles technologies telles que le BIM est inévitablement lié à l'analyse du processus d'innovation qui les a engendrées. Selon P. Flichy, l'adoption de toute innovation technique passe par plusieurs

étapes, dont celle d'« objet-frontière » qui correspond à une phase du processus d'innovation pendant laquelle l'objet innovant a déjà été implémenté, mais sans qu'il y ait encore de stabilisation ou de solidification du cadre de référence sociotechnique associé (Flichy, 2017) (Trompette & Vinck, 2009). Ainsi, dans les projets BIM, l'observation du système d'acteurs pendant cette période est cruciale pour comprendre comment l'objet innovant est en train de se stabiliser. Toutefois, G. Gaglio alerte du risque de fascination pour l'innovation et les nouvelles technologies et de perdre l'objectivité dans nos observations et enquêtes (Gaglio, 2012). Ce risque lié au BIM est fréquent, notamment lors des salons professionnels ou des formations BIM, où un discours peut être tenu pour présenter une réalité idéalisée où tous les acteurs adopteraient facilement le BIM sans rencontrer de contraintes socio-économiques ou informatiques à remettre en cause. Par ailleurs, il est important d'analyser l'innovation comme un processus évolutif à travers plusieurs étapes. De la même manière que G. Gaglio souligne l'importance d'étudier les iPod pour comprendre l'apparition des iPhones (Gaglio, 2012), il est essentiel de prendre en compte l'histoire de la conception assistée par ordinateur (CAO) et ses origines pour étudier le BIM.

L'évolution des outils informatiques dans le monde de la construction et la gestion des bâtiments

Afin d'étudier l'impact de l'information dans le système d'acteurs, il est également essentiel de prendre en compte la progression des outils informatiques ayant conduit à l'émergence de la technologie de l'information dans le domaine de la construction. Cependant, les fondements historiques du BIM sont encore sujets à débat et ne disposent pas d'une base argumentative solide. Selon l'architecte M. S. Bergin, ce phénomène est né de la recherche d'une amélioration des outils 2D en y intégrant la gestion des informations (Bergin, 2011). Si nous acceptons cette description du BIM, nous allons trouver des discours techniques liés à cet esprit : par exemple, Bergin parle dans son écrit de Douglas C. Englebart et de sa publication en 1962, « *From augmenting Human Intellect* », dans laquelle il parle déjà de la modélisation en 3D en addition avec les données architecturales du bâtiment :

« Il [le concepteur] conçoit un bâtiment. Il a déjà imaginé plusieurs plans de base et formes structurelles, et les essaie à l'écran. Les données d'arpentage pour le plan sur lequel il travaille actuellement ont déjà été saisies, et il vient d'amadouer le greffier pour qu'il lui montre une vue en perspective du site à flanc de colline avec la route au-dessus, des représentations symboliques des différents arbres qui doivent rester sur le terrain, et les points de raccordement des différents services publics. La vue occupe les deux tiers gauches de l'écran. À l'aide d'un "pointeur", il indique deux points d'intérêt, déplace rapidement sa main gauche sur le clavier, et la distance et l'altitude entre les points indiqués apparaissent sur le tiers droit de l'écran. [...] Toutes ces informations (la conception du bâtiment et sa "structure de pensée" associée) peuvent être stockées sur une bande qui représente le manuel de conception du bâtiment. En chargeant cette bande dans son propre ordinateur, un autre architecte, un constructeur ou le client peut naviguer dans ce manuel de conception pour rechercher les détails ou les idées qui l'intéressent et peut ajouter des notes spéciales qui sont intégrées dans le manuel de conception pour son propre bénéfice ou celui d'un tiers⁵. »

Bien que le dessin 3D soit considéré comme l'antécédent de ces technologies, en considérant uniquement la première acception du BIM en tant que modèle, nous risquons de négliger une partie importante de sa nature fondamentale. Dans son discours, Bergin décrit également les débuts des programmes de modélisation de solides datant de 1963 et liés au BIM. Cependant, nous mettons l'accent sur la contribution de Charles Eastman et son projet Building Description System (BDS) en 1975. Sa publication sur l'utilisation des ordinateurs dans la conception des bâtiments met en lumière l'avènement des systèmes de conception assistée par ordinateur pour la composition de formes personnalisées et de pièces standardisées (C. Eastman, 1975). Ces systèmes présentent des capacités de dessin et d'affichage analytiques beaucoup plus étendues, avec des informations hiérarchiquement organisées dans une structure en arbre pour décrire le bâtiment. Dans l'essai d'A. Latiffi, « *The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition* », C. Eastman apparaît comme l'inventeur du concept du BIM (Latiffi et al., 2014). Selon A. Latiffi, C. Eastman tentait de résoudre les problèmes de coordination rencontrés lors de la conception assistée par ordinateur en créant des bases de données. Dans ce contexte, C. Eastman a été le précurseur du « *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE) » en 1977 et du nouvel outil *Building Product Model* (BPM) en 1989 qui intégrait déjà tout le processus constructif du bâtiment (C. M. Eastman, 1999). Le

⁵ Traduction d'un extrait du livre « *From augmenting Human Intellect* » (Engelbart, 1962).

développement de la technologie BIM a suscité une compétition entre les différents pays. En 1982, en Hongrie, Gábor Bojár a fondé la société Graphisoft qui a produit un des premiers logiciels BIM pour ordinateur personnel appelé Archicad. Ce logiciel a combiné la modélisation 3D avec des informations sur les éléments architecturaux, permettant ainsi la production de divers types de documents dans un seul outil pour la construction de bâtiments. Dans le domaine du développement des outils BIM, l'origine exacte de l'acronyme n'est pas clairement identifiée. Bien que des entreprises telles que Graphisoft aient mis en œuvre des mécanismes BIM dans leurs logiciels, l'expression *Building Information Modeling* n'a été popularisée que plus tard. Selon Autodesk, l'architecte Phil Bernstein serait la première personne à utiliser cette expression et à publier des œuvres sur ce sujet, telles que « BIM In Academia » publié en 2011 (Deamer & Bernstein, 2011). Cependant, certains travaux de recherche comme celui de C. Menassa soutiennent que le terme *Building Information Model* a été proposé pour la première fois au début des années 1990 par Van Nederveen et Tolman dans son article sur la modélisation des vues multiples sur les bâtiments (Menassa, 2021; van Nederveen & Tolman, 1992). Ensuite, l'analyste de Autodesk, Jerry Laiserin, a contribué à la popularisation et à la standardisation de l'acronyme BIM à travers le monde, et son nom est mentionné dans des publications telles que « BIM Handbook » de C. Eastman (C. M. Eastman et al., 2011). Ainsi, Autodesk détient actuellement l'outil le plus largement utilisé dans le domaine de la technologie BIM : Revit. Ce logiciel a été développé par une entreprise américaine en 2000 qui a été rachetée par Autodesk en 2002. Autodesk a promu ce logiciel et a révolutionné la création paramétrique des familles d'objets BIM.

Par ailleurs, nous avons observé précédemment dans la figure sur l'évolution des outils des nouvelles technologies (voir Figure 4) que, en plus des progrès technologiques en matière de conception et de construction, l'application des technologies de l'information dans le domaine de l'exploitation et de la maintenance des bâtiments a également connu une grande transformation informatique au cours des quarante dernières années. Cependant, l'évolution des pratiques et des outils utilisés dans la gestion et l'exploitation des bâtiments n'a pas été suffisamment abordée dans la littérature actuelle. N. Azman en a effectué une analyse historique et a mis en lumière le fait que depuis les années 1980, la gestion des bâtiments a émergé comme une discipline et une profession au sein de l'industrie de l'immobilier et de la construction, stimulée par la fondation d'institutions professionnelles telles que l'association internationale

de la gestion des installations (IFMA) aux États-Unis. L'évolution majeure observée dans les outils de gestion des bâtiments s'est produite en passant d'une perspective purement matérielle, centrée sur les bâtiments, le mobilier et les équipements, telle que décrite par F. Becker, à une perspective intégrant les aspects logistiques, les personnes, les processus, l'environnement, la santé et la sécurité, telle que décrite plus tard par K. Alexander en 1999 (Alexander, 1999; Becker, 1990). Au cours de la décennie 1990, les logiciels agiles ont commencé à être utilisés dans l'exploitation et la maintenance des bâtiments pour optimiser les processus opérationnels. Les méthodes agiles cherchent à répondre rapidement aux besoins changeants des clients sans générer d'excès de travail (Olsson et al., 2015). Les outils de gestion des bâtiments incluent la communication, la gestion des urgences, la préparation et la continuité des activités et services, la gestion environnementale et le développement durable, la gestion financière et commerciale, les facteurs humains, la gestion documentaire des projets, ainsi qu'une approche plus large de la gestion du patrimoine (Aziz et al., 2016a). Comme l'explique A. Motamedi, il existe plusieurs solutions numériques pour l'exploitation et la maintenance des bâtiments, notamment le système de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO) et le système de gestion du bâtiment (GTB) (Motamedi et al., 2018). Par ailleurs, l'évolution des outils a également vu l'introduction du concept de jumeau numérique⁶, notion héritée de l'industrie aérospatiale et définie comme « *une simulation intégrée multi-physique, multi-échelle et probabiliste d'un véhicule ou d'un système qui utilise les meilleurs modèles physiques disponibles, des mises à jour de capteurs, l'historique, etc., pour refléter la vie de son homologue* » (Shafto et al., 2012). Le jumeau numérique connecté aux capteurs du bâtiment est devenu un outil crucial dans le cycle de vie des projets, y compris dans la phase d'exploitation et de maintenance des bâtiments. Les données des objets connectés (« Internet des Objets » – IoT) fournissent des informations sur l'état des équipements en temps réel et peuvent être stockées dans un projet BIM, mais leur intégration dans le BIM représente un défi en raison de l'hétérogénéité des données (Ignatov & Gade, 2019). Ainsi, C. Quinn suggère que pour créer un lien direct entre les données IoT et le BIM, il est nécessaire d'utiliser des formats de classification normalisés (Quinn et al., 2020).

Les données semblent constituer le lien entre les phases et les outils informatiques utilisés au cours de ces phases, mais la divergence sémantique et les différentes façons de structurer ces

⁶ Jumeau numérique est la traduction en français du terme *Digital Twin*. Le concept de jumeau numérique a été défini par M. Shafto qui est considéré comme l'un des pionniers de cette notion. Dans ses travaux, il a formulé une définition précise du jumeau numérique, qui est devenu depuis une référence dans ce domaine.

informations peuvent causer des problèmes dans ces démarches. Pour assurer une continuité informationnelle, l'interopérabilité est essentielle, c'est-à-dire la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou composants à échanger et à utiliser des informations qui ont été échangées (Rezaei et al., 2014). La mise en place de normes d'échange peut aider à garantir l'interopérabilité computationnelle, mais la standardisation peut également entraîner une interopérabilité qui dépend de la structure initiale des données et du niveau d'interopérabilité souhaité. P. Parsanezhad et J. Dimyadi alertent sur la complexité croissante de la mise en œuvre du BIM pour la phase d'exploitation en raison de la multiplicité d'outils et d'usages associés (Parsanezhad & Dimyadi, 2013). Dans ce contexte informatique complexe et étendu, A. Motamedi met en évidence que les activités liées à l'exploitation des bâtiments dépendent de la précision et de l'accessibilité des données créées durant les phases de conception et de construction, ainsi que de leur mise à jour constante au fil de la phase d'exploitation et de maintenance (Motamedi et al., 2018). En conséquence, les données semblent constituer le lien entre les phases et les outils informatiques utilisés au cours de ces phases. Cependant, selon G. Lewis, la divergence sémantique et les différentes façons de structurer ces informations peuvent causer des problèmes dans ces démarches (Lewis, 2013).

L'interopérabilité dans le domaine de la construction est définie par R. Billon comme l'échange d'informations entre logiciels en utilisant des formats d'échange standardisés tels que l'IFC (*Industry Foundation Classes*) (Billon et al., 2020). Cependant, N. Gu et K. London soulignent que le développement des modèles IFC a également été confronté à des obstacles tels que la lenteur de l'adoption sur le marché et une utilisation limitée dans les projets de construction réels (Gu & London, 2010). En ce qui concerne le format IFC, A. Grilo et R. Jardim-Goncalves démontrent que son recours ne constitue pas une solution universelle aux problèmes d'interopérabilité rencontrés dans les projets BIM (Grilo & Jardim-Goncalves, 2010). Ainsi, les auteurs encouragent l'utilisation de plateformes collaboratives pour atteindre un niveau d'interopérabilité suffisant entre les applications et les environnements interopérables ouverts. Les plateformes collaboratives, ou environnements communs de données, sont des outils censés conduire à une amélioration globale de l'efficacité et de la productivité, ainsi qu'à une réduction des risques. Le niveau d'interopérabilité dans les plateformes BIM est influencé par la qualité des fonctions de traduction d'exportation/importation entre les outils BIM, par la configuration interne des formats de fichiers standards, et la variété des types d'objets de données échangés

(De Gaetani et al., 2020). K. Jaskula argumente que dans ces environnements communs, l'échange de données entre les systèmes BIM et les outils de l'exploitation est un processus unidirectionnel allant des phases conception à construction, puis à celles d'exploitation et de maintenance, mais pas dans le sens inverse (Jaskula et al., 2022). Cependant, il est indispensable d'avoir accès à des sources de données supplémentaires, telles que celles provenant des systèmes de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) ou d'autres outils de gestion, et de permettre l'échange de données vers la base de données des maquettes numériques du bâtiment.

La littérature scientifique sur l'évolution des outils informatiques révèle de nouvelles fonctionnalités disponibles pour les acteurs du projet de construction, ainsi que les défis et obstacles auxquels ils sont confrontés, tels que l'interopérabilité. Toutefois, comme mentionné précédemment, une étude approfondie de l'impact de la transformation de ces outils sur le système d'acteurs nécessite également une analyse sociologique des groupes professionnels impliqués.

La sociologie des groupes professionnels dans le cadre des projets BIM

Le système d'acteurs traditionnel se fonde sur la réglementation de la commande publique et notamment sur la loi MOP de 1985. Elle ne s'applique qu'au secteur public mais elle sert bien souvent de référence au secteur privé, notamment pour la définition des missions (Biau, 2020) (Tapie et al., 2001). Cette réglementation fait émerger deux notions qui articulent les activités des acteurs du monde de la construction : la maîtrise d'œuvre – MOE (chargée de la conception du bâtiment et le pilotage technique du projet) et la maîtrise d'ouvrage – MOA (le commanditaire du projet). L'architecte, l'ingénieur, l'économiste et le pilote de chantier se trouvent parmi les acteurs les plus importants du processus de construction⁷. Le processus de construction en France suit un modèle tripolaire d'organisation comprenant trois entités distinctes (Biau & Tapie, 2009). La première entité, la maîtrise d'ouvrage (MOA), qui peut

⁷ Décrits par M. Blanc dans son article « Métiers et professions de l'urbanisme » : « *L'architecte, chargé de la conception du projet et de sa traduction spatiale ; l'ingénieur, chargé de sa mise au point technique ; l'économiste de la construction (nouveau nom du métreur-vérificateur), chargé de la maîtrise des coûts et le pilote de chantier (project manager), chargé de l'organisation du chantier.* » (Blanc, 2010).

être représentée par l'État, les collectivités locales, les promoteurs immobiliers, etc., est responsable de la commande du projet. La deuxième entité, la maîtrise d'œuvre (MOE), représentée par les architectes, les bureaux d'études techniques, etc., répond à cette commande en élaborant la conception technique du projet. Enfin, la troisième entité est constituée des entreprises qui assurent l'exécution du projet, incluant le gros œuvre, les corps d'état architecturaux, les façadiers, et autres intervenants spécialisés. Ces intervenants font partie du système d'acteurs analysé au cours de la thèse en phases de conception et de construction. Les professionnels qui participent à la fabrication des projets BIM sont en train d'expérimenter un basculement similaire à celui de la ville post-industrielle des années 1970-1975 (Biau & Tapie, 2009). Pendant cette période, comme c'est le cas actuellement, l'évolution des processus de construction, les compétences, les outils de travail et les méthodologies évoluaient à un tel rythme que le regard sur les systèmes de fabrication et leurs acteurs devenait primordial pour comprendre la ville de demain. Au cours des années 1990, les métiers ont subi des transformations liées à ce que C. Midler appelle l'évolution des modèles d'organisation, qui ont conduit à une ingénierie concurrente cherchant à reproduire dans le domaine de la construction le même esprit que celui de l'industrie automobile, avec une réorganisation des services de recherche et développement et une transformation des filières de sous-traitance, entre autres (Midler, 1998). Il convient de souligner que l'adoption dans le secteur de la construction de pratiques issues des industries, comme celles de l'automobile et de l'aéronautique, ne se limite pas au BIM, et que leur influence avait déjà commencé à se propager dans les années précédentes, en lien avec l'évolution des modèles d'organisation.

Selon les rapports professionnels de BuildingSmart France et certaines publications scientifiques, nous observons que de nouveaux métiers et fonctions émergent dans le domaine de la construction (BuildingSmart France, Mediaconstruct, 2021). Toutefois, il est important de préciser les distinctions entre « mission », « poste », « métier » et « profession » afin de mieux comprendre leur application dans le système d'acteurs des projets BIM. Tout d'abord, un poste est caractérisé par un ensemble de tâches définies par une organisation en fonction de ses besoins (Tourmen, 2007). D'autre part, le métier est défini par G. La Treille comme un poste qui requiert une formation spécifique et qui est reconnu dans un domaine particulier par les autres comme une stabilisation d'une spécificité en termes d'activités professionnelles (La Treille, 1980). Une définition plus concise du métier est celle établie par M. Descolonges comme étant la « possession d'une technique spécifique » (Descolonges, 1996). Les missions, d'après

M. Fornerino et A. Godener, sont accordées à un poste spécifique. Bien que les notions de mission et de tâche puissent être confondues dans certains contextes, en général, une mission est souvent définie comme un ensemble de tâches organisées dans le but d'atteindre un objectif spécifique (Fornerino & Godener, 2006). Enfin, une profession selon W. Goode est un métier bien structurée avec des traits organisationnels très particuliers tels que le sentiment d'identification, un langage spécifique ou une définition commune des rôles exercés (Goode, 1957). En France, la sociologie des professions présentée par C. Dubar et P. Tripier propose trois sens pour la notion de profession. Le premier sens concerne l'expression publique d'opinions ou de croyances, évoquant la vocation. Le deuxième se réfère à l'occupation rémunérée permettant de gagner sa vie. Et le dernier renvoie à l'ensemble des personnes exerçant le même métier ou ayant le même statut professionnel. En somme, la profession peut être considérée comme une activité déclarative, un travail rémunéré et une communauté professionnelle (Dubar et al., 1998).

Avec l'introduction du BIM (*Building Information Modeling*), de nouveaux métiers et tâches émergent dans le domaine de la construction. Le BIM engendre de nouveaux profils professionnels et des missions inédites. Cela implique une évolution des compétences et des formations requises pour les professionnels de la construction. Par conséquent, les architectes et les ingénieurs, qui ont été les figures professionnelles majeures du XX^e siècle dans le domaine de la construction (Blanc, 2010), doivent s'adapter aux nouvelles technologies et tâches qui en découlent. En outre, il existe une tendance à parler de la nouvelle répartition des tâches et des responsabilités dans les projets en BIM, comme l'explique J. Guéneau (Guéneau, 2019). Ainsi, le métier de l'architecte ou de l'ingénieur ne disparaît pas, mais il est complété par de nouvelles compétences, telles que la gestion de données et la collaboration avec d'autres professionnels impliqués dans le projet. Les nouveaux postes et missions qui apparaissent dans les projets BIM correspondent à : l'AMO BIM (assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage⁸), le BIM manager, le BIM coordinateur et le BIM producteur ou modelleur – Figure 5 – (Boutemadja, 2017) :

⁸ L'Assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage est le BIM manager au sein de la maîtrise d'ouvrage qui veillera à ce que les intérêts du client soient satisfaits.

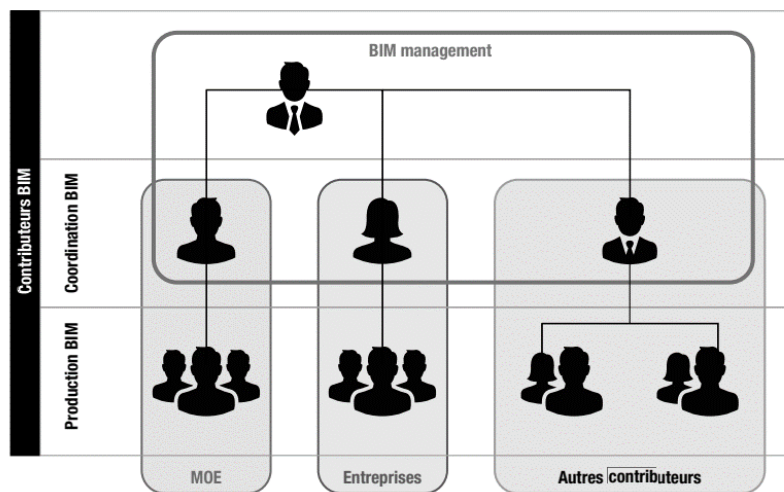


Figure 5 Organigramme BIM selon le guide pour la rédaction d'une convention BIM de Mediaconstruct (Source : Building Smart France)

Dans le domaine du BIM, nous constatons que le rôle de BIM manager et d'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage sont considérés comme un poste dans certaines entreprises, tandis que dans d'autres qui se spécialisent exclusivement dans la gestion de projets BIM, ce rôle est considéré comme un nouveau métier émergent. Dans certaines entreprises, le rôle de coordinateur BIM est un poste en soi, mais parfois il s'agit uniquement d'une nouvelle fonction associée aux postes existants des chefs de projets. Enfin, le producteur BIM devient, selon nous, une évolution du métier de dessinateur et technicien depuis l'arrivée de nouveaux logiciels de production graphique. Souvent, il est possible de rencontrer dans les projets BIM d'autres contributeurs tels que les bureaux de conseil, le bureau de contrôle, la cellule de synthèse, etc. Ces intervenants peuvent aussi participer à la création des maquettes numériques et leurs bases de données.

Dans les projets BIM, l'interprofessionnalité est une notion importante et le BIM manager joue un rôle-clé dans son analyse. La publication de T. Evette sur les interprofessionnalités a permis de mieux comprendre le rôle du BIM manager en tant qu'acteur témoin des convergences de logiques et de compétences, et responsable de l'intégration des différents pôles de compétences de chaque profession dans le projet (Evette, 2001a). Le BIM manager est une figure importante dans les interprofessionnalités au sein du projet parce qu'il articule des compétences variées issues des professions de l'architecture, de l'ingénierie ou même de l'informatique. T. Kouider

met en avant que la capacité transversale du BIM manager à comprendre les pratiques et les défis de chaque contributeur est essentielle pour favoriser leur collaboration au sein du projet (Kouider et al., 2019). Ainsi, le BIM manager est-il considéré comme un acteur-clé au sein d'un contexte interprofessionnel et dont le rôle est de faciliter la collaboration entre les différentes professions impliquées dans le projet BIM. Le BIM manager lui-même possède des compétences interprofessionnelles qui sont nécessaires pour accomplir cette tâche avec succès. En effet, la définition de « compétences interprofessionnelles » donnée par Wilson et Zulu en tant que capacité à travailler avec d'autres disciplines est pertinente pour décrire les compétences du BIM manager (Wilson & Zulu, 2016).

Par ailleurs, dans l'analyse du système d'acteurs, nous allons faire appel ponctuellement à la *Social Networks Analysis*, l'analyse mathématique des réseaux sociaux développée par certains chercheurs tels que L. Freeman et J. L. Moreno qui développent le concept de « sociométrie » (Borgatti et al., 2009; Freeman, 2004; Moreno, 1941). Ces travaux décrivent le réseau social comme un ensemble de nœuds où certaines paires de nœuds sont reliées par un lien ou plus. Les nœuds représentent des objets, des acteurs, des personnes ou des organisations, tandis que les liens expriment des collaborations, des communications ou des interactions. Parmi les analyses effectuées dans ce type d'approche, l'analyse de la « centralité » et de la « connectivité » sont deux des concepts les plus fondamentaux selon W. Wang et W. Street car ils basent leurs mesures de centralité sur l'idée d'influence d'un nœud (W. Wang & Street, 2015). Ainsi, dans ce type de recherche, l'acteur ou le nœud qui est le plus connecté aux autres et qui a une position plus centrale dans la topologie du graphe du réseau sera l'acteur ayant le plus d'influence et dont la disparition mettrait en danger les connexions du reste des acteurs. Dans notre étude, nous ne disposons pas de réseau de taille suffisante pour appliquer ce type d'analyse (entre une dizaine et une vingtaine d'acteurs au cas présent). Les notions de centralité et de connectivité des acteurs nous paraîtront toutefois intéressantes à évoquer dans nos analyses, notamment lors du placement du BIM manager.

Nous avons examiné l'impact de l'information sur les outils et sur l'évolution du système d'acteurs en ce point, et nous allons maintenant explorer le cadre théorique qui nous a permis d'analyser les besoins et les enjeux des acteurs en matière d'information.

b) Les enjeux liés aux nouvelles technologies de l'information et leur impact sur la gestion des projets

En utilisant la méthodologie BIM, de nouveaux rôles ont été identifiés, ce qui a eu pour conséquence de modifier des relations et négociations au sein du système d'acteurs. Ainsi, l'intégration d'informations dans le processus de production transforme les dynamiques dans ces projets et fait émerger les besoins et enjeux spécifiques des parties prenantes.

Dans cette thèse, l'analyse des enjeux informationnels est le moyen que nous avons choisi pour aborder le lien entre l'information et le système d'acteurs : *quelle information, pourquoi, comment et pour qui ?*

Le concept d'« enjeu » n'a pas été très développé ou étudié dans le domaine de la construction, mais d'autres disciplines peuvent nous aider à comprendre cette notion sociologique. Dans le contexte politique, M. Brugidou affirme que la notion d'« enjeu » implique qu'il existe différentes positions sur un même problème (Brugidou, 1985). Selon J. Itoua stipule (dans le cadre des réformes de l'enseignement) que le concept d'enjeu se réfère à la tendance à privilégier le changement (pour son public cible et non pour la tendance en elle-même), qu'il soit perçu comme positif (opportunités) ou négatif (menaces). Ce concept d'enjeu est pédagogique et permet d'expliquer pourquoi on choisit d'observer ou de détailler une tendance plutôt qu'une autre (Itoua, 2016). En conséquence, ces notions nous aident à comprendre les choix ou les préférences, conscients ou inconscients, des acteurs face à une même situation. Une autre ouvrage qui mobilise la notion d'enjeux des acteurs est « Le nouvel esprit du capitalisme » de L. Boltanski et E. Chiapello qui explore les différentes logiques de cité associées aux prétentions du capitalisme moderne, en se basant sur une analyse des textes de management (Chiapello & Boltanski, 1999). Cet ouvrage souligne plusieurs enjeux liés au management, notamment dans le domaine des nouvelles technologies et de leurs relations avec le système économique et industriel.

Toutefois, le terme d'« enjeu » est parfois confondu avec « objectif » ou « besoin ». Dans son observation des enjeux et besoins des acteurs du point de vue managérial, D. Susniene suggère que les notions d'enjeu et de besoin soient considérées conjointement, faute de quoi pourrait émerger de l'insatisfaction au sein du système d'acteurs, qui à son tour aurait des répercussions

négligentes sur la performance de l'organisation (Susniené & Vanagas, 2007). Au plan managérial, les enjeux et besoins sont également importants. Dans le cadre de la thèse, lors de l'analyse des cas d'étude, nous faisons la distinction entre les besoins informationnels et les enjeux des acteurs. Les besoins informationnels désignent les informations que les acteurs doivent échanger entre eux pour effectuer des analyses ou des calculs, tandis que les enjeux se rapportent aux informations que chaque acteur intègre à sa maquette numérique en fonction de ses propres intérêts et préférences. Ainsi, en analysant les bases de données des maquettes, nous obtenons des informations sur les enjeux des acteurs impliqués ainsi que sur les demandes d'informations entre eux concernant leurs besoins.

Relativement aux objectifs, du point de vue managérial, D. Courbet propose aussi cette distinction : « *la différence entre enjeux et objectifs est la suivante : pour atteindre les enjeux (e.g. la survie socio-économique de l'organisation ou l'accroissement des bénéfices), les décideurs de l'organisation fixent des objectifs (e.g. vendre davantage de produits) qu'ils vont tenter de réaliser* » (Courbet, 2004) . Par conséquent, les objectifs se traduisent par la cristallisation des enjeux sur des cibles particulières.

L'impact des enjeux et besoins informationnels sur la gestion des projets BIM

En 2003, E. Vaast soutenait que « *les TIC font évoluer la recherche en gestion parce que la gestion évolue avec les TIC* » (Vaast, 2003). C'est pourquoi nous faisons l'hypothèse que le BIM en tant que technologie de l'information peut également faire évoluer la recherche en gestion. Un des aspects mis en valeur par E. Vaast dans les recherches en gestion des nouvelles technologies sont les nouveaux types de collecte de données. En effet, dans les projets BIM, nous avons maintenant un nouveau support d'analyse et un nouvel objet d'observation : la maquette numérique. La mise à disposition de ces nouvelles bases de données, qui contiennent des informations appartenant ou utilisées par différents acteurs, ouvre de nouvelles perspectives d'accès au projet et au système d'acteurs.

La notion de « collaboration » est l'un des sujets les plus affectés par l'utilisation du BIM dans les sciences de gestion et le management de projet. Une grande partie des thématiques abordées dans le cadre de cette thèse bloquant la continuité informationnelle au sein du projet ont pour

origine des manquements de collaboration ou une mauvaise compréhension de la nature coopérative de cette action : « *Collaboration implique une réciprocité consciente par laquelle des individus de statut quelque peu égal travaillent en conjonction vers un objectif commun*⁹ » (Sperling, 1994). En 1996, K. Kumar et H. Van Dissel ont proposé une évolution de la concurrence vers la collaboration dans les réflexions sur la gestion stratégique, soulignant que la promesse d'une collaboration rendue possible par les technologies de l'information dans un contexte de systèmes interorganisationnel pourrait dégénérer en conflit si les acteurs ne favorisaient pas la coopération (Kumar & van Dissel, 1996). Nous pouvons donc imaginer que dans les projets BIM, le manque de coopération entraînera des conflits. Ces théories suggèrent que les processus de collaboration reposent sur l'activité humaine, exposant ainsi les systèmes interorganisationnels à tous les risques et imprévus associés à la pratique humaine. En d'autres termes, pour en retirer des bénéfices et éviter les conflits, les acteurs doivent prendre conscience de la nature des relations humaines entre eux. Dans notre travail de recherche, les relations humaines et les conflits qui surviennent sont d'une importance primordiale car ils nous ont permis d'identifier certains obstacles à la continuité de l'information.

Par ailleurs, R. Gulati soutient que la collaboration peut être définie aussi bien à partir du concept de « coopération » que de « coordination ». Cependant, de nombreuses recherches ont traditionnellement négligé le rôle de la coordination dans ces démarches (Gulati et al., 2012). Cette perspective défend une coordination qui se concentre moins sur le maintien de l'engagement entre les acteurs, et plus sur les mécanismes permettant de rassembler les contributions des partenaires. Les deux notions sont également importantes et R. Gulati soutient que les perspectives de coopération et de coordination sont des facettes distinctes et complémentaires de la collaboration, et que ces deux perspectives peuvent aider à identifier les différents défis et risques auxquels les acteurs sont confrontés.

En sciences de gestion, la production et la productivité sont des sujets récurrents. Selon G. Lasnier, l'approche actuelle du « *lean management*¹⁰ » et autres méthodologies de

⁹ Cette citation est tirée d'un livre sur la collaboration dans l'éducation de M. Sperling, et traduite en français (Sperling, 1994).

¹⁰ Selon H. Mesa, les projets *lean* sont structurés par cinq grandes idées et une liste de principes *lean* (Mesa et al., 2019). Les cinq grandes idées : 1. Collaborer, tout au long de la conception, de la planification et de l'exécution. 2. Accroître les relations entre tous les participants au projet. 3. Les projets sont des réseaux d'engagements. 4. Optimiser le projet. 5. Coupler étroitement l'action et l'apprentissage. Les principes du *lean* : Définir la valeur du point de vue du client ; Cartographier le flux de valeur ; Créer le flux ; Laisser la demande du client rythmer et tirer la production ; Gérer l'amélioration continue ; Collaboration ; Confiance ; Gestion basée sur les promesses ; Amélioration continue.

« management intégré » consiste à impliquer tous les acteurs concernés et éliminer tous les gaspillages présents dans le processus de production en anticipant et en prévenant toutes sortes d'incidents et de défaillances possibles, plutôt que de les corriger après coup (Lasnier, 2007). Les travaux de recherche de C. Boton et B. Forgues sur la gestion au sein des projets BIM soulignent que les tendances actuelles d'amélioration de la collaboration en matière de construction reposent sur les bonnes pratiques d'autres industries, telles que celle de l'automobile (Boton & Forgues, 2018). Curieusement, leur travail inclut également le *lean management* comme une approche pouvant être intégrée aux projets BIM. En outre, D. Forgues explique avec M. Michaud que traditionnellement, dans le contexte des projets BIM, l'architecte devrait créer sa maquette numérique et l'envoyer ensuite à un autre intervenant du projet pour qu'il intègre sa partie selon les informations dont il dispose. Tandis que dans un système *lean* (plus performant et avec moins de gaspillages), l'architecte ou l'ingénieur demanderait à chaque intervenant les données nécessaires pour produire leur maquette ou leurs analyses (Michaud et al., 2019).

Par ailleurs, la littérature scientifique actuelle examine les liens entre le BIM (*Building Information Modeling*) et les processus de gestion intégrée dans le secteur de la construction. Les études montrent que la combinaison de ces deux approches peut offrir des avantages en termes de structuration et d'organisation des projets de construction, ainsi que dans la réduction des impacts environnementaux. Les processus de gestion intégrée les plus utilisés actuellement sont les démarches IDP (*Integrated Design Project*¹¹), IPD (*Integrated Project Delivery*¹²) et *lean management*, qui encouragent l'implication précoce des parties prenantes-clés et la collaboration entre les différents métiers et contextes. *L'Integrated Design Project* (IDP) et *l'Integrated Project Delivery* (IPD) sont similaires dans la mesure où ils promeuvent des équipes intégrées qui comprennent des personnes provenant de différents métiers et contextes. Cependant, la principale différence entre les deux approches réside dans le fait que l'IPD nécessite un accord contractuel préalable, tandis que l>IDP est plutôt une nouvelle façon de concevoir, en prenant en compte de la notion de « cycle de vie » (Farias, 2013) (Zimmerman, 2001).

¹¹ *Integrated Design Project* développé par le *Project Management Institute* (PMI).

¹² *Integrated Project Delivery* proposé par l'*American Institute of Architects* (AIA, 2007).

Les processus collaboratifs impliquent la consolidation des enjeux et des besoins des acteurs impliqués qui peuvent être établis au moyen de négociations. Toutefois, celles-ci peuvent engendrer de nouveaux conflits au sein des projets ou bien être utilisées pour résoudre les conflits existants.

Les processus de négociation autour des enjeux et besoins des acteurs

Comme énoncé par M. Weber, le pouvoir est la capacité à « *imposer sa volonté dans le cadre d'une relation sociale, malgré les résistances éventuelles, quel que soit le fondement sur lequel repose cette éventualité*¹³ » (Weber, 1921; Weber et al., 1919).

Dans la première partie de la thèse, nous allons recourir aux notions de « conflit » et de « négociation » pour analyser ce qui se passe à ce sujet dans les projets BIM. Nous allons partir d'une définition du conflit établie par J. Freund dans son ouvrage « La sociologie du conflit ». Cet auteur argumente que le conflit part d'une dissension persistante ou d'une mésentente répétée par suite de certains éléments émotionnels tels que l'intérêt, parmi d'autres (Freund, 1983). Les situations analysées ne sont évidemment pas des cas limites de dissension ou des situations insurmontables ; et pourtant, les différents intérêts des acteurs donnent lieu à des ruptures et blocages qui freinent ou stoppent l'avancements du projet. Dans sa recherche sur les conflits organisationnels, J. Litterer souligne l'inévitable apparition de conflits au sein des organisations et examine les propositions théoriques des experts en organisation pour gérer ces conflits (Litterer, 1966). Ces propositions incluent une définition claire du travail, des spécifications précises sur les relations entre les acteurs, une sélection minutieuse du personnel, et leur formation continue pour améliorer leurs compétences. J. Litterer soutient que le conflit zéro n'est pas souhaitable et que les tensions entre les acteurs peuvent enrichir le projet en lui apportant une personnalité plus individualisée. L'auteur expose que bien que certains types et niveaux de conflit soient nuisibles ou « malsains », d'autres puissent être bénéfiques. Nous considérons que les conflits sont utiles car ils nous aident à mieux comprendre les problèmes d'information au sein du projet et à faire émerger les besoins des différents acteurs du système.

¹³ Traduction des textes de M. Weber (Weber, 1921; Weber et al., 1919).

Il est parfois observé que des négociations émergent, que ce soit avant ou après un conflit. Selon C. Dupuy, ces négociations visant à résoudre les conflits peuvent conduire à une convergence temporaire des différents intérêts en jeu (Dupuy et al., 2003). Dans cette thèse, nous analysons des situations de négociation, réussies ou non. Nous considérons la négociation comme un processus d'apprentissage réciproque qui va au-delà de la simple résolution de conflits. Tel que décrit par G. Novarina, les acteurs impliqués dans la négociation travaillent ensemble pour identifier et traiter les problèmes en construisant un langage commun et en élargissant leur horizon de connaissances. Ils acceptent de participer à la négociation parce qu'ils espèrent que le résultat final répondra mieux à leurs attentes, tout en ayant la possibilité de construire leurs propres demandes grâce à cette interaction (Novarina, 2000). Grâce à cet enrichissement, la négociation constitue « *un enjeu du renouvellement des méthodes et des compétences des professionnels de la fabrique urbaine* » (Bechir, 2022). Le concept de « négociation » provient des théories sur les transactions sociales. M. Blanc décrit ces théories comme « *une posture méthodologique qui oriente le regard du sociologue vers les tensions, les conflits, les négociations et les compromis* » (Blanc, 2009). Ainsi, nous utilisons également la sociologie de la traduction élaborée par Callon pour étudier la formation d'un espace partagé pour les échanges et la transmission des connaissances (Callon, 1986; Rougerie, 2017). Certaines notions de Latour, Akrich ou Callon, telles que « l'intéressement », qui montre l'importance des intérêts des acteurs dans la cohésion, ou la « traduction » désignant « *l'ensemble des négociations, des intrigues, des actes de persuasion, des calculs, des violences grâce à quoi un acteur ou une force se permet ou se fait attribuer l'autorité de parler ou d'agir au nom d'un autre acteur ou d'une autre force* », nous ont aidée à mieux caractériser les situations de tension rencontrées dans les cas d'étude (Akrich et al., 2006). La notion de « traduction » étant largement utilisée, nous nous appuyons sur la sociologie de la traduction développée par Callon sur la création d'un espace commun d'échanges et de connaissances (Callon, 1986; Rougerie, 2017). M.N. Schurmans établit une corrélation entre les concepts de « transaction » et de « négociation », qui sont des termes associés au marchandage¹⁴, en soutenant qu'ils reposent sur le même fondement socio-anthropologique (Schurmans, 2013). M. N. Schurmans présente aussi un contexte plus fluide d'interdépendances entre acteurs, où la négociation présente une juxtaposition des incertitudes organisationnelles influencées par des indéterminations institutionnelles et économiques : un contexte qui se rapproche davantage de la réalité du BIM,

¹⁴ *Negotiatio* : commerce.

car les négociations entre les acteurs sont influencées par des questions organisationnelles, mais aussi marchandes ou économiques.

c) Le BIM en tant que dispositif sociotechnique

La double approche sociologique et technologique que nous avons pu utiliser dans ce travail de recherche a été rendue possible par la nature du BIM en tant que dispositif sociotechnique. Comme c'est le cas dans cette recherche, le concept de « sociotechnique » se situe selon J. Ruault entre la partie technique de l'ingénierie et la partie plus sociale et organisationnelle des sciences humaines et sociales (Ruault et al., 2011). D'après cet auteur, les systèmes sociotechniques sont des combinaisons d'éléments interagissant pour atteindre des objectifs déclarés, tandis que l'ingénierie des systèmes se concentre sur les procédures et la structure organisationnelle prescrites. L'approche des systèmes sociotechniques considère quant à elle les organisations et leurs activités réelles en prenant en compte les processus d'appropriation du système technique par les utilisateurs (Ruault et al., 2013). Comme l'explique M. Akrich, pour analyser le système sociotechnique, il s'agit tout simplement de placer le dispositif sociotechnique – la technologie – dans son contexte – la société – et de comprendre comment l'une va agir sur l'autre (Akrich, 1989). Dans notre travail de recherche, le BIM en tant que technologie ayant un impact social, devient alors un dispositif sociotechnique.

Ainsi, A. Coutant réalise une synthèse des quatre principaux courants représentant les approches sociotechniques qui ont eu un grand succès ces dernières années grâce aux travaux du Centre de sociologie de l'innovation (Coutant, 2015). A. Coutant commence par définir l'« ethnotechnologie » de J. Perriault comme le moyen d'« *identifier comment l'usage d'une machine à communiquer implique le développement de certaines logiques cognitives* » (Perriault, 2008). Il propose ensuite la théorie de la structuration adaptative qui concerne les modes d'appropriation de ces dispositifs sociotechniques par les utilisateurs (De Vaujany, 1999). Finalement, le dernier courant traité par A. Coutant est « la double médiation sociotechnique » : dans ce contexte, « *la technique et le social se trouvent tous les deux en situation structurée et structurante* », et l'auteur analyse le contexte de l'utilisateur et les contextes des usages. J. Jouët, précurseur de la théorie de la double médiation sociale et technique dans les années 1990, réclame dans les années 2000 son application dans les travaux de recherche

sur les TIC (Jouët, 2000). Tel que le propose I. Pybourdin dans ses travaux sur l'appropriation des TIC dans ces projets, la double médiation peut apparaître dans une logique de coconception ou coévolution des dispositifs sociotechniques et leurs usages (Pybourdin, 2008). B. Chaudet, dans son travail sur les nouvelles formes de collaboration, considère le BIM plus précisément comme un « dispositif sociotechnique pour l'information et la communication », c'est-à-dire un dispositif sociotechnique qui corresponde à une technologie de l'information et de la communication (Chaudet, 2020a).

Cette thèse part des positionnements scientifiques caractérisant le BIM en tant que dispositif sociotechnique pris dans une tension entre le social et la technique, et prenant en compte les usagers. Par ailleurs, cette thèse se positionne en dehors du déterminisme technologique, et adopte même une position critique à cet égard. Selon la perspective du déterminisme technologique, P. Bernoux et Y. Gagnon soutiennent qu'est vouée à l'échec l'idée selon laquelle « si la technologie est suffisamment développée, elle s'impose de manière inhérente à l'organisation et aux acteurs ». Ils recommandent plutôt d'adopter des approches interactionnistes et co-constructionnistes qui reconnaissent le rôle actif des acteurs et de l'organisation dans l'adoption et l'utilisation de la technologie (Bernoux & Gagnon, 2008). L'idée que la technologie ne doive pas s'adapter au contexte et que le contexte doive s'adapter à la technologie est également à l'origine d'échecs dans les projets BIM au moment où la technologie essaye de s'imposer dans un contexte où le cadre réglementaire n'est pas encore complètement développé et où les acteurs manquent de compétences.

Par ailleurs, le travail de B. Rorive met en garde contre la confusion entre le rejet du changement en général et la résistance à une technologie spécifique et à sa méthodologie de mise en œuvre (Rorive et al., 2003). Par exemple, certains acteurs peuvent s'opposer au BIM et aux outils d'Autodesk, mais pas à l'OpenBIM qui prône l'interopérabilité et l'utilisation d'outils libres. Du point de vue du déterminisme social, nous partageons l'opinion de P. Flichy selon laquelle les technologies de l'information et de la communication (TIC) ne sont pas déterminantes socialement, mais plutôt qu'elles interagissent avec l'organisation du travail (Flichy, 2003). Nous souscrivons également à l'idée de co-construction présentée par P. Bernoux et Y. Gagno selon laquelle une collaboration active entre les acteurs organisationnels est nécessaire pour réussir le changement technologique (Bernoux & Gagnon, 2008). Nous croyons

que l'imposition du BIM sans une écoute attentive des utilisateurs et des usagers finaux du bâtiment est vouée à l'échec, et que l'organisation des relations humaines ne devrait pas être dominée par la technique.

1.6. Hypothèses de recherche

Pour aborder notre questionnement portant sur les effets de l'intégration de l'information dans les projets de construction, nous avons besoin d'un cadre d'analyse qui nous permette de nuancer, vérifier ou amender nos observations théoriques à partir de cas empiriques. Ce cadre est construit sur la base de trois hypothèses, qui examinent les problématiques liées à l'information, les intervenants impliqués, les changements dans leurs rôles et responsabilités, ainsi que l'engagement des exploitants et des utilisateurs finaux tout au long du processus de construction. Notre objectif est d'explorer la relation entre la continuité de l'information dans les projets BIM et le cadre théorique mobilisé.

Comment cette observation empirique spécifique de l'absence de continuité est-elle devenue source de conflits dans les projets BIM ? Quels sont les enjeux opérationnels, économiques ou industriels liés à l'information pour les acteurs des projets BIM ? Et quel est leur impact sur la société ? Nous postulons donc que :

H0 : « La conception et la construction d'un bâtiment BIM impliquent des processus de collecte de données qui diffèrent considérablement de ceux utilisés lors de la phase d'exploitation. Cette transition entre les phases est associée à une rupture dans le flux d'informations résultant de la modification du système d'acteurs, des outils et des enjeux impliqués dans chaque phase. »

Cette hypothèse est subdivisée en deux sous-hypothèses qui reflètent la situation avant et après la livraison du bâtiment construit. Les deux premières parties de la thèse sont consacrées à l'analyse de ces sous-hypothèses, tandis que la troisième évalue la validité de l'hypothèse initiale à la lumière des résultats obtenus dans les deux premières parties.

La première partie de la thèse traite de la continuité informationnelle en phases conception et construction. Pour ces phases, nous avons formulé l'hypothèse suivante :

H1 : « Au cours de la conception et de la construction de projets BIM, les négociations entre les acteurs et les enjeux propres au projet (tels que les enjeux économiques, techniques ou environnementaux) conduisent à l'élaboration d'une méthode spécifique de création et de partage de données qui affecte la collaboration entre les acteurs et la continuité de l'information entre eux. »

D'après l'état de l'art en sociologie de l'innovation, l'introduction d'une nouvelle technologie de l'information, en particulier le BIM, entraîne souvent des résistances et des conflits dans son application dans un nouveau contexte. L'opposition rencontrée peut être expliquée par le fait que l'introduction d'une innovation est souvent imposée au contexte existant, ce qui peut générer des réactions négatives ou des résistances. Ainsi, en tant que dispositif sociotechnique encore en phase d'implantation, le BIM est susceptible de provoquer des microrésistances (Flichy, 2017; Jouët, 2000). Selon Dupuy, ces résistances s'accompagnent généralement de négociations où les acteurs impliqués défendent leurs intérêts et leurs besoins respectifs, et selon J. Itoua, les enjeux des acteurs reflètent les choix personnels des acteurs engagés dans la négociation (Dupuy et al., 2003; Itoua, 2016). Par ailleurs, D. Susniene souligne que la stabilité du système d'acteurs dépend de la satisfaction de leurs enjeux et besoins (Susnienė & Vanagas, 2007).

Ainsi, pour assurer une bonne communication d'informations dans un projet, il est important de considérer les besoins et les intérêts des parties prenantes, en portant attention aux particularités de chaque projet. Cela implique de comprendre les conflits et les obstacles à la communication d'informations, ainsi que les intentions des parties prenantes en matière d'information lors des négociations. Cette approche permet d'identifier les thèmes spécifiques à chaque projet pendant sa conception et sa construction, ainsi que les obstacles à la continuité informationnelle perçus par les acteurs. En somme, nous suggérons qu'il est nécessaire d'aller au-delà d'une analyse informatique pure de la continuité de l'information pour mieux comprendre les enjeux et les défis liés à la continuité informationnelle entre les acteurs.

La deuxième partie de la thèse, centrée sur la phase de gestion du bâtiment, est structurée autour de notre deuxième sous-hypothèse :

H2 : « La façon dont les données du bâtiment ont été prises en compte et la nature de ces données pourront influencer les modalités d'exploitation. Par ailleurs, la continuité informationnelle entre les phases de construction et d'exploitation du bâtiment dépendra du rôle des exploitants et des usagers finaux du bâtiment dans le projet BIM. »

Les travaux de recherche en informatique ont mis en évidence des problèmes d'interopérabilité et de continuité informationnelle entre les phases de construction et d'exploitation des bâtiments. Ce constat révèle un écart entre les outils et les acteurs, qui n'a pas encore été traité sous l'angle des acteurs eux-mêmes. Deux courants de recherche se sont intéressés à l'importance des acteurs en tant que vecteurs de connexion entre ces phases. D'une part, la recherche en gestion s'attache aux processus de conception intégrés, nécessitant la mise en commun des besoins de tous les acteurs de toutes les phases. D'autre part, la recherche environnementale requiert la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie des bâtiments. Ces travaux de recherche visent à trouver les meilleures solutions pour répondre aux enjeux en gestion ou environnementaux, mais ils permettent également de formuler une hypothèse mettant l'accent sur la continuité entre les acteurs et entre les phases. Par ailleurs, en ce qui concerne le rôle des occupants, certains travaux de recherche portent sur l'impact de dispositifs sociotechniques tels que ceux de P. Bernoux et Y. Gagno sur la co-construction et la co-conception (Bernoux & Gagnon, 2008). Ces travaux soulignent le rôle des usagers finaux en tant qu'acteurs impliqués dans ce type de processus dont l'environnement de travail ou de vie peut être concerné par l'application de nouvelles technologies de l'information.

Par ailleurs, en considérant l'hypothèse que les phases de conception et de construction peuvent affecter les modalités d'exploitation d'un bâtiment, nous postulons également que les enjeux des différents acteurs impliqués peuvent faciliter ou entraver la récupération des informations nécessaires par les exploitants. Ainsi, il est possible que les enjeux informationnels des acteurs des phases de conception et de construction impactent la continuité ou la rupture informationnelle après la fin de la construction d'un bâtiment.

1.7. Posture de recherche et méthodes

Méthodologie : analyser l'information d'un projet BIM

Le choix méthodologique pour l'analyse de la continuité informationnelle entre les acteurs et les phases dans les cas d'étude est basé sur la triangulation entre les documents contractuels (cahier des charges BIM, protocole BIM et notice BIM), les maquettes numériques et les entretiens semi-directifs réalisés avec les acteurs du projet.

La triangulation méthodologique peut être définie comme le fait d'appréhender un objet de recherche d'au moins trois points de vue différents (Caillaud & Flick, 2016) : une idée importée en sciences humaines et sociales, depuis l'imaginaire militaire et de navigation qui permet de situer la position exacte d'un objet à partir de deux autres points de référence connus, pour décrire une démarche méthodologique visant à situer avec exactitude l'objet de recherche. Dans les années 1970, Denzin propose : « *En combinant les observateurs et méthodes, les observateurs peuvent partiellement surmonter les déficiences qui découlent d'un seul observateur et/ou d'une seule méthode* » (Denzin, 1978).

Cette même méthodologie est appliquée dans les trois études de cas sur lesquelles s'appuie la thèse, même si dans la première partie ne sont présentés que les résultats des deux premières études de cas et que le troisième est développé dans la deuxième partie de la thèse qui porte sur la gestion et l'exploitation des bâtiments. Par ailleurs, les hypothèses et les résultats ont été aussi influencés par les réflexions apportées par l'observation participante au sein de l'entreprise.

Le rôle des entretiens en tant qu'outil

Dans le domaine des sciences humaines et sociales, l'entretien est considéré comme l'un des moyens les plus couramment employés pour la collecte de données. Il est très utile pour les études de questionnement qualitatif. Un entretien de recherche qualitative est une forme de discussion dans laquelle l'enquêteur obtient des informations des participants concernant leurs opinions personnelles sur un sujet spécifique, et généralement considérée comme une conversation ciblée (Denzin & Lincoln, 2008). Les questions semi-structurées ont été utilisées

dans l'analyse des cas d'étude car elles offrent des réponses approfondies sur les expériences, les perceptions, les opinions et les connaissances des personnes.

Les principales méthodes utilisées pour mener des entretiens semi-structurés sont la conversation en face à face, le courrier électronique, la vidéoconférence et le téléphone. Le choix des méthodes utilisées s'est fait en fonction de la disponibilité des experts, de leur localisation et des restrictions liées à la pandémie. Lors des phases de conception et construction, nous avons réalisé uniquement des entretiens en face à face. Cependant, pour l'analyse de la phase exploitation réalisée pendant la pandémie, deux approches ont été utilisées : des entretiens en face à face et par vidéoconférence.

L'observation participante

L'observation participante est assez récurrente dans les thèses en CIFRE (Legros, 2014) parce qu'elle permet une interaction directe avec le terrain. Cette pratique se situe entre les mondes opérationnel et scientifique et permet au chercheur d'intervenir dans un certain nombre de processus qui vont interagir avec son objet d'étude (Dulaurans, 2012). La question entre participation observante et observation participante (Bastien, 2007) se pose au moment où il faut souligner la prépondérance de la participation sur l'observation ou vice-versa. Dans les cas d'étude analysés, la production documentaire a été restreinte et la participation limitée à la présence aux réunions de projet et aux échanges avec les acteurs afin d'assurer une distance à l'objet de recherche. Cependant, dans le reste des projets de l'entreprise auxquels j'ai participé de manière beaucoup plus active avec la production de livrables, la nature des démarches est plutôt de l'ordre de la participation observante.

L'observation participante a été compilée et enregistrée par le biais d'un journal de bord numérique qui a permis d'annoter les principales réflexions, qualité des échanges, préoccupations, doutes, idées, etc. émanant de l'observation participante des projets (Laszczuk & Garreau, 2018).

Le journal de bord numérique réalisé avec le logiciel OneNote a permis de stocker des documents, vidéos, photos et enregistrements avec des annotations. Le journal de bord est

fréquemment considéré comme une ressource dans les écrits des chercheurs et dans le discours sur la scientificité (Baribeau, 2005). Cependant, son contenu est rarement détaillé :

« Il existe, au cœur d'un processus de recherche, des activités méthodiques de consignation de traces écrites, laissées par un chercheur, dont le contenu concerne la narration d'événements (au sens très large ; les événements peuvent concerner des idées, des émotions, des pensées, des décisions, des faits, des citations ou des extraits de lecture, des descriptions de choses vues ou de paroles entendues) contextualisés (le temps, les personnes, l'argumentation) dont le but est de se souvenir des événements, d'établir un dialogue entre les données et le chercheur à la fois comme observateur et comme analyste et qui permettent au chercheur de se regarder soi-même comme un autre. Cette instrumentation est essentielle pour assurer à la fois la validité interne et la validité externe du processus de recherche. » (Baribeau, 2005: 15)

Pendant la période de ma thèse, j'ai tenu un journal de bord dans lequel j'ai consigné quotidiennement les tâches réalisées, ainsi que mes pensées et observations afférentes. J'ai également enregistré mes activités au laboratoire, telles que les conférences, les interventions et les réunions avec mes directeurs de thèse. Une section dédiée à la « structure de la thèse » a été créée pour noter les idées ou questions que je ne voulais pas oublier lors de la rédaction. Cette méthode s'est avérée très utile car le journal numérique a permis de rechercher rapidement des informations spécifiques sur des auteurs, des situations ou des notions spécifiques grâce à la fonction de recherche du logiciel.

Les études de cas dans le contexte CIFRE

Le choix des études de cas s'est porté sur trois projets BIM dans les phases de conception, de construction et d'exploitation qui montrent des systèmes d'acteurs complètement distincts, et sur des BIM managers appartenant à des entités différentes et aux formations académiques diverses. L'objectif de la thèse étant d'analyser la continuité informationnelle et les enjeux des acteurs de la conception à l'exploitation, il nous a semblé nécessaire d'observer plus en détail le système d'acteurs et les problèmes émergents dans chacune de ces phases en particulier. Dans les deux premiers chapitres, l'analyse est focalisée sur les deux premiers cas d'étude en phases conception et construction. Le troisième cas est abordé dans le troisième chapitre, à l'occasion

de l'analyse de la phase exploitation dans les projets BIM. La temporalité des cas d'étude sélectionnées est la suivante :

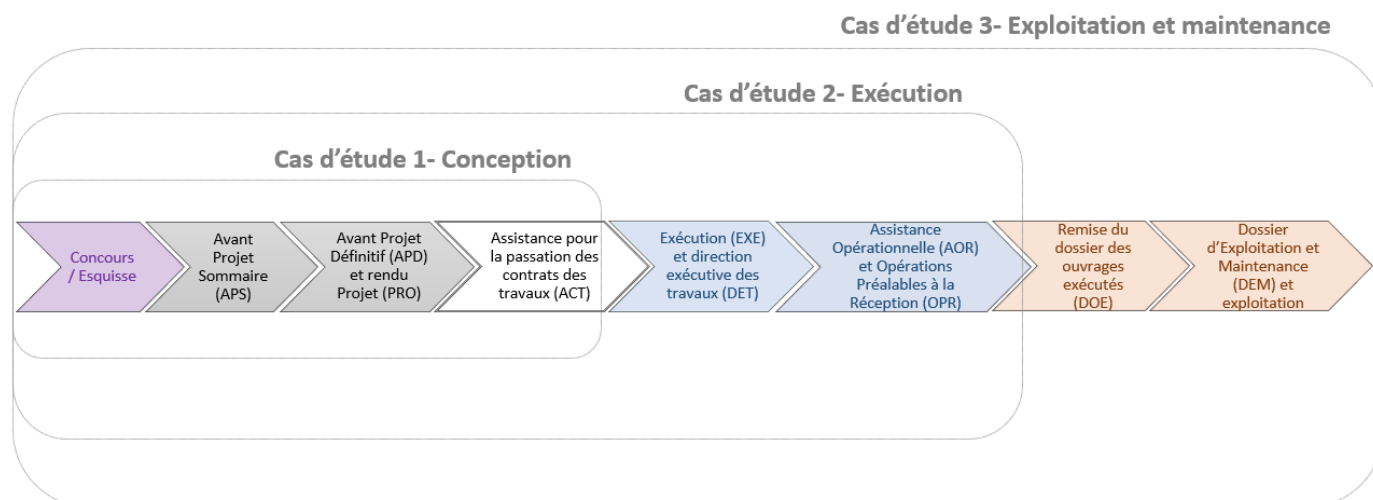


Figure 6 Temporalité des cas d'étude choisis selon les phases de la Loi MOP

Afin d'obtenir un accès le plus complet possible aux données, les cas d'étude choisis font partie de l'ensemble des projets BIM réalisés par ALTO Ingénierie. L'entreprise travaille depuis 2011 sur des projets en BIM, ce qui a permis d'avoir une grande quantité de projets parmi lesquels choisir les études de cas. À mon arrivée au sein de l'entreprise en juin 2018, le premier frein a été d'identifier les projets comportant des missions BIM. À ce moment-là, la mission BIM n'était pas toujours mise en valeur dans la base de données des projets de l'entreprise pour diverses raisons. Dans la plupart des cas, il s'agissait de projets pour lesquels les collaborateurs avaient préféré faire la synthèse technique ou la production de maquettes en BIM même si ce n'était pas demandé dans le contrat.

Le choix des cas d'étude a été conditionné par la recherche de projets variés dans lesquels le BIM manager appartient à trois entités différentes (bureau d'études, architecte, et externe), en incluant des commandes publiques et privées et en essayant d'observer les diverses phases du projet. L'objectif était d'identifier les problèmes d'information communs dans ce type de projets, même dans des contextes très différents. Les cas d'étude analysés dans les chapitres suivants se concentrent sur des bâtiments éducatifs ou de bureaux, ce qui correspond principalement à la typologie de projets BIM réalisés chez ALTO Ingénierie.

1.8. Organisation de la thèse

Ce travail analyse dans les deux premières parties comment le système d'acteurs et les méthodologies de travail ont été impactés par l'information, avant et après la livraison d'un bâtiment BIM. Dans la troisième partie est évalué si la connexion informationnelle après la livraison est vraiment envisageable.

Les chapitres de cette recherche proposent un parcours à travers les différentes phases du projet de construction, de la conception à l'exploitation, et permettent d'examiner la situation du système d'acteurs à chaque étape, ainsi que les problèmes associés au manque de continuité de l'information. Cette étude entreprend une analyse systémique des projets BIM en examinant toutes les phases afin de déterminer les moyens par lesquels l'information peut servir de lien entre les différents acteurs. L'hypothèse de départ suggère que cette approche systémique permettra de résoudre le problème de manque de continuité informationnelle qui pose des difficultés aux acteurs impliqués dans le projet de construction, y compris les futurs occupants du bâtiment.

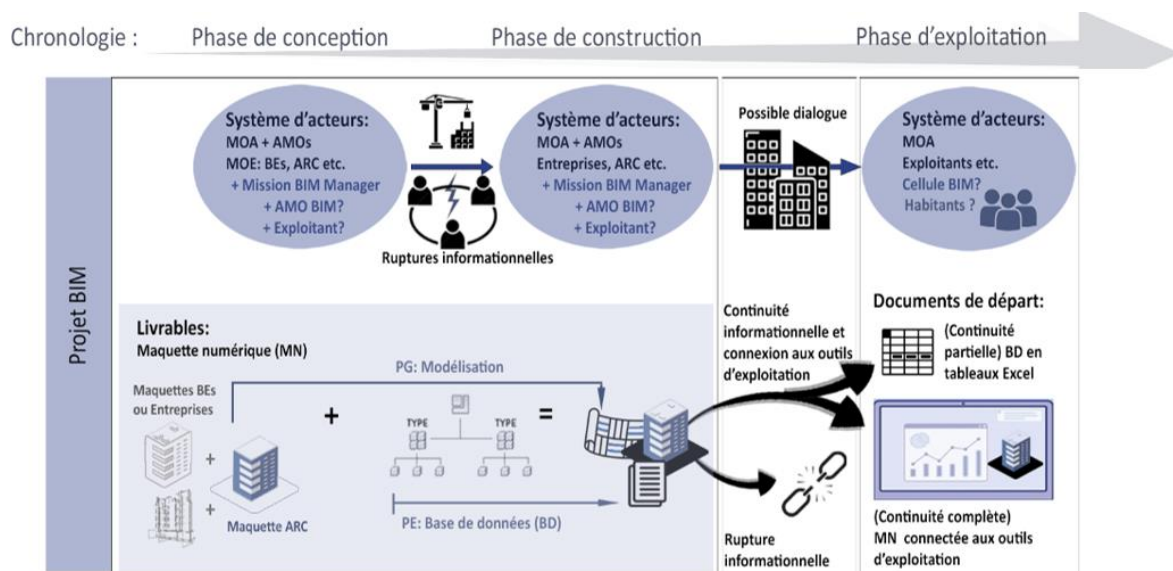


Figure 7 Processus de conception, construction et exploitation d'un projet BIM

La figure présentée ci-dessus montre le déroulement de ce travail de recherche. Cette approche chronologique vise à identifier les acteurs impliqués à chaque étape du processus et les obstacles

auxquels ils font face. La première partie de la thèse porte sur les phases de conception et de construction, et les éventuelles ruptures informationnelles entre les acteurs, tandis que la deuxième partie concerne la rupture informationnelle entre les phases de construction et d'exploitation. Tel que l'illustre la figure, le début de l'exploitation d'un projet BIM peut être caractérisé par une rupture totale de l'information, une récupération partielle de la base de données sous forme de feuille de calcul, ou une intégration de la maquette numérique avec les objets géométriques et les informations connectées au sein d'une plateforme ou interface dédiée à l'exploitation et la maintenance. Enfin, dans la troisième partie, cette thèse examine les obstacles entravant la continuité de l'information tout au long du projet, ainsi que les facteurs favorisant les liens nécessaires à cette continuité.

Première partie

Les ruptures informationnelles entre les
acteurs pendant les phases de conception et de
construction

INTRODUCTION

La première partie de cette thèse aborde l'impact de la société de l'information (Desbois, 1999) (Castells, 2001) dans les milieux professionnels à travers le BIM (*Building information Modeling*), entendu comme technologie impliquée dans la question de l'information dans le monde de la construction. Les enjeux liés au recueil et au traitement de l'information sont de plus en plus importants dans tous les domaines. Jusqu'à présent, les projets de construction étaient généralement analysés sur la base de leurs plans et de leur géométrie ; cette thèse propose de les analyser à travers les bases de données, auxquelles les projets dits « BIM » donnent lieu. Nous considérons que l'apparition de ruptures et de continuités informationnelles entre les acteurs et les phases dans les projets BIM nous aidera à mieux comprendre et caractériser ces démarches de projet.

Dans cette première partie, nous partons de l'hypothèse suivante : *Au cours de la conception et de la construction de projets BIM, les négociations entre les acteurs et les enjeux propres au projet (tels que les enjeux économiques, techniques ou environnementaux) conduisent à l'élaboration d'une méthode spécifique de création et de partage de données qui affecte la collaboration entre les acteurs et la continuité de l'information entre eux.*

L'introduction de l'information dans les métiers de la construction a donné lieu à l'apparition de nouvelles tâches et de nouveaux métiers. Les missions liées à la création et la gestion des données n'existaient pas dans les métiers du secteur de la construction avant l'arrivée du BIM. Ces métiers avaient pour finalité la production de pièces écrites et graphiques déconnectées les unes des autres car elles ne sont pas en lien avec une base de données informatique commune (voir projet traditionnel dans la Figure 8). Dans un projet BIM, l'objectif est d'intégrer et de connecter les données des pièces graphiques et écrites au sein d'une maquette numérique que les acteurs doivent renseigner :

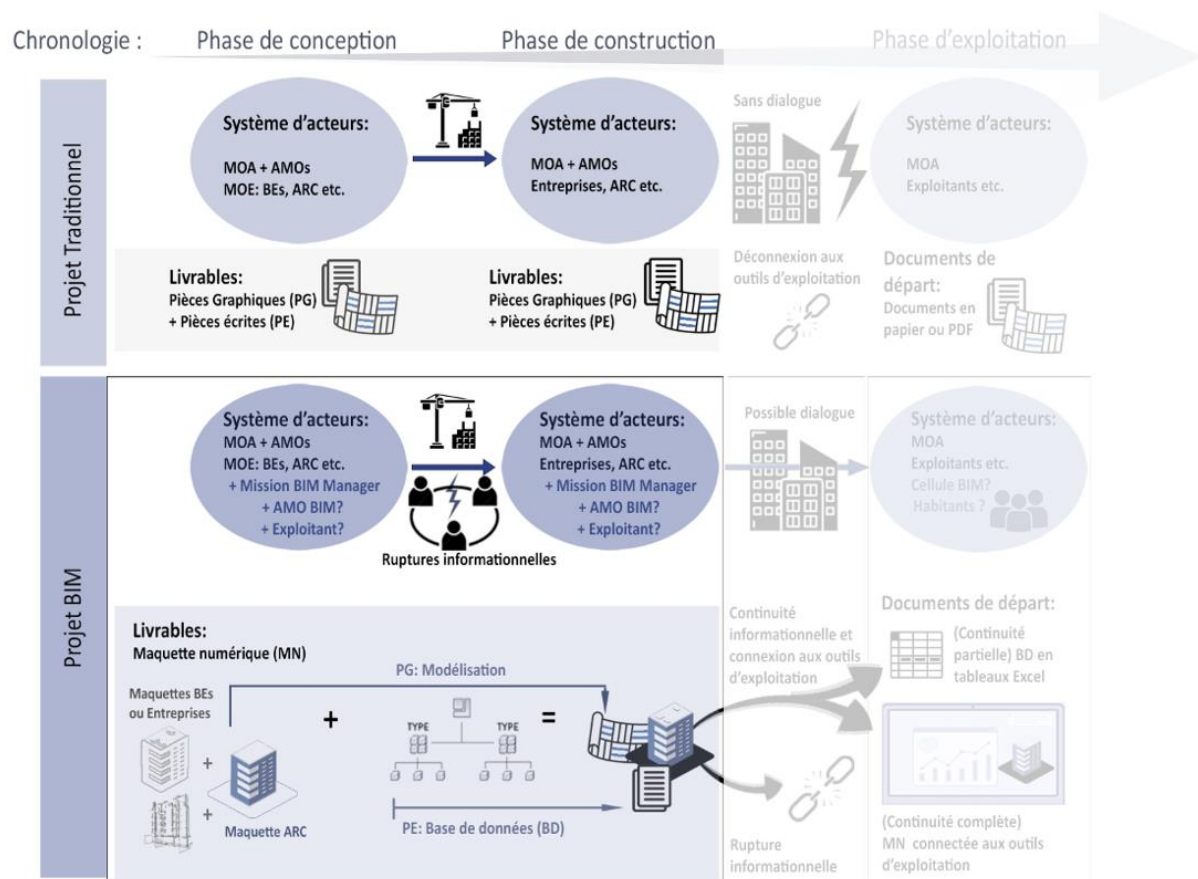


Figure 8 Comparaison du développement d'un projet BIM et d'un projet traditionnel pendant les phases de conception et de construction.

Traditionnellement, les techniques numériques préalables à l'arrivée du BIM étaient essentiellement basées sur la description géométrique du projet en 2D ou en 3D, mais sans y associer les données économiques, environnementales, etc. Aujourd'hui, comme le souligne J. Guéneau dans son travail sur le métier de l'architecte et le BIM, les architectes, et plus généralement tous les acteurs du secteur de la construction, doivent se former aux outils du BIM et intégrer de nouvelles tâches et missions liées à la gestion des données dans leur méthodologie de travail (Guéneau, 2019). Cette nouvelle façon de travailler a transformé les systèmes d'acteurs, les processus et les compétences des professionnels impliqués dans la fabrication de la ville ; ils doivent tous collaborer autour d'un même objet : la maquette numérique. Toutefois, comme nous le verrons dans cette première partie, ces transformations donnent lieu à des ruptures informationnelles au sein du projet qui mettent en évidence des difficultés de collaboration entre les acteurs. En phases de conception et de construction, nous avons constaté des ruptures informationnelles similaires et avons pu les identifier, sur des études

de cas, à partir de l'analyse documentaire, de l'analyse des entretiens et de maquettes numériques.

Ce travail s'appuie sur les recherches liées à l'interprofessionnalité et l'analyse sociologique des compétences, des métiers et des situations de travail dans les domaines de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, ainsi que sur une prise en compte des travaux sur les identités et les trajectoires professionnelles. Dans les deux premiers chapitres, deux projets sont analysés du point de vue informationnel à partir de l'étude du fonctionnement des systèmes d'acteurs et des maquettes numériques produites. L'analyse des bases des données a fait émerger de nombreuses thématiques informationnelles. Nous avons constaté des lacunes en matière d'information mais aussi des points communs entre les acteurs, leurs enjeux et les problématiques auxquelles ils sont confrontés. Nous avons compris que parmi d'autres, le niveau de compétences des acteurs et leur pouvoir décisionnel est source de ruptures et de tensions au sein du projet. En parallèle, nous avons observé que de nouvelles questions émergent dans les projets BIM, telles que les questions environnementales ou administratives, qui répondent à l'évolution du secteur de la construction ces dernières années vers des intérêts plus durables et managériaux. Enfin, nous considérons que ces points communs devraient permettre de faciliter éventuellement la continuité de l'information entre les acteurs et les phases du projet.

1. L'analyse du système d'acteurs autour des données du bâtiment

Le présent chapitre explore la place du Building Information Modeling (BIM) dans les technologies de l'information et de la communication (TIC), en examinant les points de vue de certains auteurs tels que B. Chaudet et R. Besson. Ainsi, nous suggérons que la transformation du système d'acteurs dans le cas du BIM répond aux mêmes dynamiques qui démontrent la capacité des nouvelles technologies de l'information à transformer les organisations. En adoptant l'approche interdisciplinaire de A. Coutant, qui examine les liens entre technologie et sociologie, il est constaté que le BIM devient un dispositif sociotechnique dans lequel la technologie est utilisée dans le but d'améliorer la collaboration entre les différents acteurs du projet, en particulier en ce qui concerne les aspects liés à l'information (Coutant, 2015).

L'objectif des projets BIM est de créer une base de données utilisable dès le début du projet qui conditionnera l'ensemble du processus de conception et de construction d'un point de vue technologique, avec la transformation des outils, et d'un point de vue sociologique, en impactant le système d'acteurs. Pendant les phases de conception et de construction, les acteurs vont choisir, créer, supprimer, partager et extraire des données. L'intégration, la fiabilité et la durabilité de l'information incorporée dans les projets BIM sont des facteurs essentiels, car ils facilitent le travail de tous les acteurs impliqués dans le projet en permettant une recherche et une extraction efficaces de cette information tout au long du processus. Un exemple pertinent est celui des données relatives aux matériaux utilisés, qui sont susceptibles d'évoluer au fil du temps. Ces données jouent un rôle-clé, par exemple, dans les analyses thermiques ou économiques, et doivent être prises en compte de manière appropriée. Dans ce contexte, les informations contenues dans les projets BIM poussent les acteurs à la collaboration, aux négociations mais aussi aux conflits qui découlent des disparités d'intérêts. Cette pluralité d'intérêts et l'importance de l'observer a été identifiée par M. Akrich après l'arrivée d'un objet innovant tel que la maquette numérique d'un projet BIM. Selon l'auteur, la notion d'intéressement « met en scène tous les acteurs qui se saisissent de l'objet ou s'en détournent et il souligne les points d'accrochage entre l'objet et les intérêts plus ou moins organisés qu'il

suscite » (Akrich et al., 1988). Une nouvelle méthodologie de travail relative à la gestion de l'information est mise en place dans les projets BIM. Toutes les négociations qui servent à identifier qui fait quoi, quand et comment, sont des moments de tension très intéressants. Dans ce contexte, nous nous appuyons également sur la théorie de la traduction de M. Callon, appliquée également dans le contexte des objets innovants, qui « montre l'importance des actions qui permettent à des acteurs venant d'horizons très différents de se coordonner, de coopérer soit pour défendre leurs intérêts, soit pour définir un projet exprimant des intérêts communs » (Callon et al., 1999). L'observation des négociations et des situations de traduction autour de la construction des maquette numériques permettent d'analyser comment s'organise la prise de décision dans chaque projet, quels sont les principaux enjeux des acteurs et comment ils impactent la continuité informationnelle au sein du projet.

Dans ce premier chapitre, les enjeux du BIM pour les principaux acteurs du monde de la construction sont analysés à travers deux cas d'étude : un bâtiment de bureaux et un établissement scolaire d'enseignement secondaire en France. Cette analyse s'appuie sur des entretiens semi-directifs avec les acteurs du projet (architecte, bureau d'études, maîtrise d'ouvrage etc.) et sur l'analyse documentaire des documents BIM (notices, protocole, cahier des charges, etc.).

Notre analyse est focalisée sur les interprofessionnalités qui émergent dans les systèmes d'acteurs des projets en BIM. Ainsi, le travail de T. Evette sur l'interprofessionnalité nous a permis de mieux comprendre la figure du BIM manager qui se caractérise par son rôle de coordinateur et de détenteur des compétences des autres corps de métier impliqués dans le projet (Evette, T., 2001). Dans l'analyse des cas d'étude, pendant les négociations et rapports de pouvoir, il est possible de trouver des alliances, des transmissions de compétences entre les acteurs, etc. Finalement, les conflits qui émergent pendant ces négociations ont été le moyen de mieux caractériser les vraies problématiques informationnelles qui ont lieu pendant la conception et la construction des projets BIM.

1.1. Un nouveau système d'acteurs dans les projets BIM

La loi MOP, loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, encadre le processus de construction, plus particulièrement les projets de commande publique, en prévoyant une intervention séquentielle et échelonnée des différents acteurs impliqués par phases successives¹⁵. Selon les travaux de recherche de V. Biau, il s'agit d'« un processus séquentiel qui déresponsabilise chacun d'entre eux par rapport à la finalité d'ensemble » (Biau, 2014). Même si, dans la commande privée, la structure par phases n'est pas imposée, elle est généralement incluse dans les cahiers des charges des projets privés, ou légèrement modifiée pour s'adapter aux délais exigés par le client. Cette séquentialité crée des ruptures naturelles entre les phases qui parfois font obstacle à l'utilisation avancée du BIM et à la mise en place de processus collaboratifs (E. Hochscheid & Halin, 2020).

Les projets BIM s'adaptent également à la loi MOP¹⁶ en faisant la différence entre BIM en conception, BIM en construction et BIM en exploitation (Chaudet, 2020a). Y. Tchana soutient que « le découpage en phases de la loi MOP a un impact significatif sur l'organisation des projets » et ajoute que ce découpage fait ressortir encore plus le fort besoin de collaboration dans les projets BIM (Tchana, 2021). Dans le livre « Le BIM sous l'angle du droit », plusieurs chercheurs proposent la modification de cette loi afin de l'adapter aux processus BIM, notamment en ce qui concerne l'intégration des besoins en exploitation dans les phases précédentes, la collaboration et l'introduction des nouveaux types de mission BIM (Bellenger & Blandin, 2019). L'impact de cette loi sur les projets BIM illustre de manière concrète l'influence du contexte dans l'introduction de nouvelles technologies, et met en évidence les limites du déterminisme technologique qui suppose que la mise en œuvre des technologies est indépendante du contexte et de la société. Cela souligne l'importance de prendre en compte les facteurs socioculturels, économiques et juridiques lors de l'adoption de nouvelles technologies

¹⁵ À savoir : Selon la loi MOP, le projet commence par l'esquisse, et continue avec avant-projet sommaire (APS), avant-projet définitif (APD) et le projet (PRO) pendant la phase conception. Ensuite, est envoyé un dossier de consultation aux entreprises (DCE) pendant la phase d'assistance pour la passation des contrats (ACT). Une fois choisies les entreprises de construction, commence la phase d'exécution (EXE), avec l'ordonnancement, pilotage et coordination (OPC) et finalement, les opérations préalables à la réception (OPR) et la livraison du DOE (Dossier des ouvrages exécutés). (Bertrand, 2005).

¹⁶ Voir 1.2 Contexte de l'introduction. La loi MOP articule le phasage des projets de construction (de commande publique) en France.

dans un contexte donné. L'ouvrage de G. Valenduc sur la technologie comme « jeu de société » explique très bien le double impact existant dans la mise en œuvre des technologies de l'information, puisque la société est impactée par la technologie mais aussi la technologie par la société et son cadre réglementaire (Valenduc, 2022). Ainsi, avec le cadre réglementaire de la loi MOP, les projets BIM nécessitent plus de coopération et de communication entre les acteurs de toutes les phases. Or cette loi – qui impose un phasage très découpé – crée un écart plus important entre les différentes phases et les acteurs impliqués, ce qui a pour conséquence de compromettre la continuité de l'information et la qualité de la collaboration.

En outre, les nouveaux rôles ou missions qui apparaissent dans un projet BIM, à savoir : assistant à la maîtrise d'ouvrage BIM, BIM manager, coordinateur BIM et producteur ou modelleur BIM¹⁷ (Boutemadja, 2017; BuildingSmart France, Mediaconstruct, 2021) vont influencer la hiérarchie et les rapports de force dans ces projets. Dans la hiérarchie traditionnelle d'un projet de construction, l'entité qui a le plus de pouvoir de décision est la maîtrise d'ouvrage (MOA) (Blanc, 2010; Courdurier & Tapie, 2003). Cependant, dans ce type de projets, le pouvoir décisionnel au sein du système d'acteurs est organisé différemment. J. Guéneau explique la transformation organisationnelle au sein des projets BIM à la suite de l'apparition de ces nouvelles missions (Guéneau, 2019). La notion de « mission » nous semble mieux appropriée que celle de « métier » dans les démarches BIM. Cette distinction est faite aussi dans d'autres secteurs. Ainsi, dans le domaine de la santé, P. Peyré souligne que « la relation mission-métier-compétences n'est pas qu'un simple problème de catégorisation des personnels, elle relève du management le plus profond ». Il définit les missions comme un ordre de fonction plutôt qu'une qualification qui englobe les activités principales et les rôles des acteurs dans le projet (Peyré, 2006). Similairement, les acteurs du BIM englobent un ensemble de tâches qui dépendent du projet et du rôle défini au sein de l'entreprise. Le statut du rôle de BIM manager dans l'industrie de la construction est souvent ambigu, voire incertain, et son manque de reconnaissance peut parfois en faire une simple mission, telle que définie par M. Fornerino et A. Godener, à savoir un ensemble d'activités liées à une poste spécifique (Fornerino & Godener, 2006; Guéneau, 2019).

¹⁷ Voir « **La sociologie des groupes professionnels dans le cadre des projets BIM** », dans l'introduction.

Par ailleurs, la complexité du système d'acteurs dans les projets BIM est également liée à chaque profession et à leur formation. Les difficultés rencontrées par les acteurs seront liées aux contraintes de leur domaine de travail ; des contraintes différentes ont été identifiées entre les architectes, les ingénieurs, les gestionnaires d'installations, les économistes, etc. Dans le domaine de l'architecture, il est possible que les craintes des architectes vis-à-vis du BIM soient enracinées dans le contexte historique de la profession et son lien avec le dessin à la main (Guéneau, 2019) (Picon, 2010). Néanmoins, ces pratiques évoluent, et actuellement, la plupart des cabinets d'architectes, quelle que soit leur taille, mettent en œuvre des processus de travail BIM, comme le montre l'enquête¹⁸ sur l'adoption du BIM en France menée par E. Hochscheid et G. Halin (E. Hochscheid & Halin, 2020). Le sociologue Guy Tapie (2000) a observé que les jeunes architectes étaient le véritable moteur des débuts de l'informatisation de la conception assistée par ordinateur dans les cabinets d'architectes. Dans le cas du BIM, E. Hochscheid et G. Halin suggèrent également que « comme dans d'autres domaines, la numérisation généralisée de la profession se traduit par un passage de génération accéléré » et que les jeunes architectes avec ces nouvelles compétences jouent donc un rôle important dans le processus de transformation des agences (E. Hochscheid & Halin, 2020). Nous postulons que cet effet, associé à la relative jeunesse des personnes impliquées dans le projet, pourrait également se retrouver dans la transition des bureaux d'études d'ingénierie vers l'adoption du BIM en tant que méthode de travail, dans le contexte spécifique de la profession d'ingénieur.

¹⁸ Ainsi les résultats de cette enquête indiquent que : « Le pourcentage d'agences au niveau 2 (moyen) est constant, qu'elles comptent 6 personnes ou plus de 20. Le niveau 1 (bas) est donc peu dépendant de la taille des agences, même s'il est un peu plus présent dans celles de 11 à 20 personnes que les autres. Plus marquant encore, les agences de plus de 20 personnes sont plus souvent en BIM 0 que les agences de 6 à 10 personnes. Si le coût du BIM est difficile à supporter pour les petites entreprises, les plus grandes font quant à elles face à une très forte inertie qui rend tout changement complexe. » (E. Hochscheid & Halin, 2020)

1.2. L'approche méthodologique

L'analyse en triangulation de chaque projet (Figure 9) a débuté par l'analyse documentaire des protocoles et cahiers des charges qui donnent le contexte du renseignement des données au niveau « contractuel ». Ensuite, les entretiens semi-directifs menés avec les principaux acteurs de chaque projet fournissent les représentations mentales des acteurs et de leurs expériences. Enfin, l'étude des maquettes numériques nous a permis d'observer la cristallisation et concrétisation des enjeux informationnels décrits dans les documents contractuels et dans les discours des acteurs. L'analyse des maquettes numériques comprend l'étude des données introduites par chaque acteur dans la base de données. Cette analyse est expliquée en détail dans le chapitre 2. L'approche méthodologique comprend une combinaison de méthodes d'analyse qualitative et quantitative.

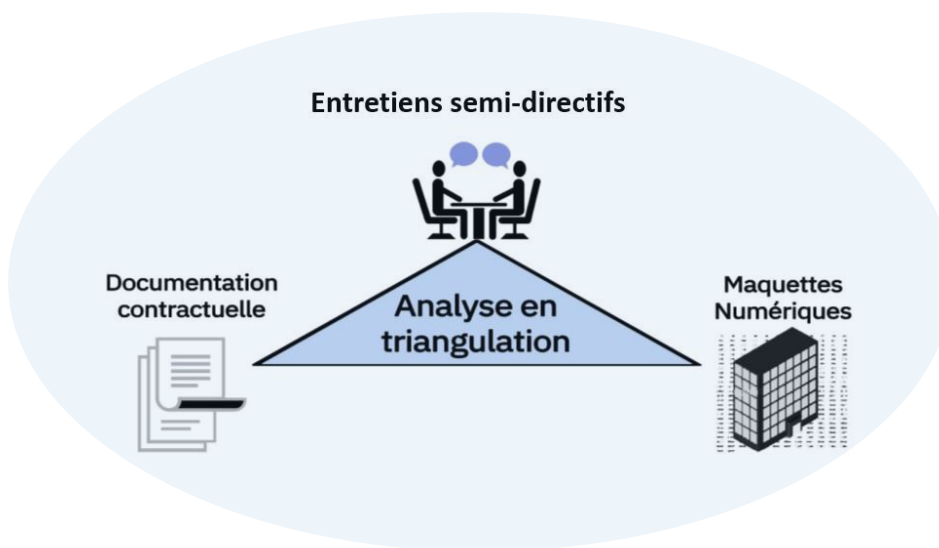


Figure 9 Méthodologie de travail. (Source : Auteur.)

Pour l'analyse documentaire des cas d'étude, il a été développé une fiche pour chaque projet. La fiche était composée de 5 parties : description de l'opération, liste des intervenants et référents BIM du projet, liste de documents BIM du projet, usages BIM pour chaque phase et problématiques informationnelles identifiées lors de l'analyse des documents BIM et des premières réunions. La liste des intervenants BIM du projet a été essentielle dans l'identification

des acteurs à contacter pour les entretiens. La fiche de chaque projet, avec un premier graphe décrivant le système d'acteurs, a été utilisée comme support pour les entretiens et complétée par la suite avec l'aide des acteurs du projet.

L'analyse documentaire a été développée de manière parallèle aux entretiens semi-directifs avec les principaux acteurs de chaque projet. Dans l'analyse documentaire ont été pris en compte des documents tels que le cahier des charges BIM, le protocole BIM, la charte BIM Exploitation, la notice BIM de géoréférencement et le cahier des charges BIM ACV¹⁹ (Analyse du Cycle de Vie) dans le cas de la première étude. Ce dernier a été élaboré par le bureau d'études environnement et intègre un tableau avec toutes les caractéristiques à renseigner par type d'élément. L'analyse documentaire nous a donc permis de repérer les acteurs BIM de chaque projet ainsi que les documents BIM rédigés par chacun. Sur la base de l'analyse documentaire, nous avons produit des diagrammes pour guider les entretiens avec les principaux acteurs de chaque projet comme le présente la Figure 10 :

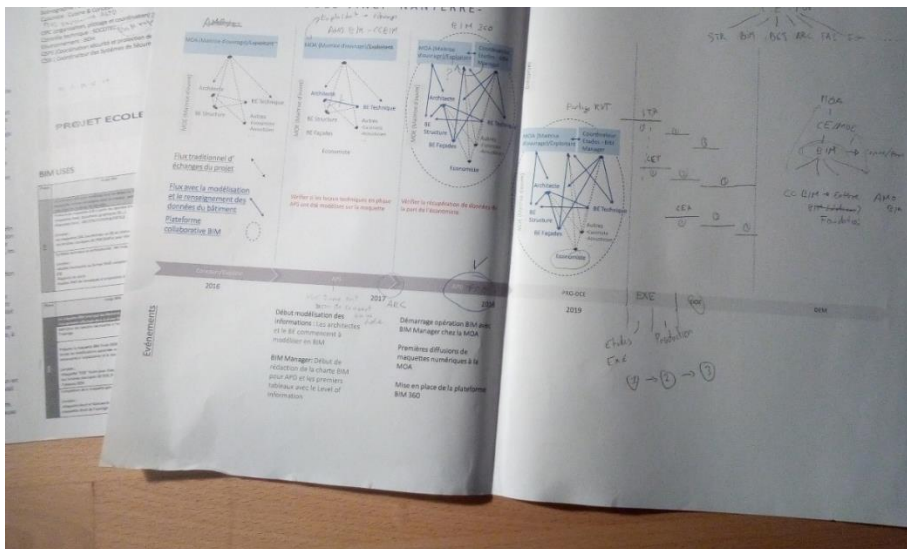


Figure 10 Exemple des documents utilisés pendant un entretien : une fiche de format A3 avec les notes au crayon de la personne interviewée.

Les entretiens ont été réalisés avec le BIM manager, la maîtrise d'ouvrage (MOA), le chargé d'études du bureau d'études environnement, le chef de projet du bureau d'études techniques

¹⁹ L'ACV ou Analyse du Cycle de Vie est l'outil le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Cette méthode normalisée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement. (Transport, distribution, fabrication, mise en place, fin de vie, etc.) (Conseil national du Numérique, 2020).

(BET), et l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage²⁰ (AMO BIM) pour le premier cas d'étude. Pour le deuxième, ont été interviewés le BIM manager, un responsable de la cellule de synthèse²¹, le chef de projet de l'agence d'architecture, le chef de projet du BET et la personne en charge des OPR (opérations préalables à la réception des travaux) dans l'agence d'architecture.

Par ailleurs, dans les études de cas analysées dans ce chapitre, le niveau d'implication de la recherche-action dans les deux projets au sein de l'entreprise n'était pas le même. Dans la première étude de cas, j'ai participé à plusieurs réunions en tant que coordinatrice BIM du projet, ce qui m'a permis d'accéder avec beaucoup de détails aux problématiques plus techniques du projet. Pour la deuxième étude de cas en revanche, même si j'avais également accès à toute la documentation du projet, je ne suis jamais intervenue dans ce projet, qui était plus confidentiel : il s'agissait du siège social d'une grande entreprise française et l'accès aux données et aux intervenants a été plus difficile que dans les autres projets. En conséquence, mon implication en tant qu'observatrice participante a été possible uniquement dans le premier cas d'étude, même si l'accès aux données et aux acteurs était favorisé dans les deux cas par ma position au sein d'un bureau d'études qui faisait partie des intervenants de la maîtrise d'œuvre dans les deux projets.

1.3. Un bâtiment scolaire et un immeuble de bureaux

Les deux cas d'étude choisis pour les phases de conception et de construction ont été un équipement scolaire (un lycée en Île-de-France) et un immeuble de bureaux (siège social d'une grande entreprise). Ces projets présentent les caractéristiques listées dans le Tableau 1 :

²⁰ Intervenant externe, consultant BIM contracté par la MOA.

²¹ La cellule de synthèse est un sous-traitant de l'entreprise générale.

Tableau 1 Description des cas d'étude

	Etude de cas 1	Etude de cas 2
Type de Projet	Public	Privé
Fonction :	Lycée	Bureaux
Surface :	13.450 m ²	74.000 m ²
Emplacement :	Île-de-France	Île-de-France
Date début et fin :	Date début et fin : 2018- en cours	2016- 2022
Système de classification des données :	UNIFORMAT II	UNIFORMAT II
Phase début du BIM :	Phase concours/ phase APS	Phase APD/APS
Mission BIM de l'entreprise ALTO Ingénierie :	Production des maquettes et BE Environnement	Production des maquettes et AMO Environnement

Afin de mieux comprendre ces projets, nous avons analysé les usages BIM définis par le client dans chaque cas d'étude. Selon C.E. Tolmer, les usages BIM sont la manière d'atteindre le niveau de détail géométrique et informationnel requis dans un projet (Tolmer et al., 2017). La taxonomie établie par l'Université de Penn State – école référente dans les recherches en BIM – a défini la notion d'« usage BIM » comme « une méthode d'application de la modélisation des données du bâtiment pendant le cycle de vie d'une installation pour atteindre un ou plusieurs objectifs spécifiques » (Kreider & Messner, 2013). En d'autres termes, les usages BIM sont la manière de gérer les informations du bâtiment dans chaque projet pour atteindre certains résultats. Tel que souligné par E. Vaast, l'avènement des nouvelles technologies offre de nouveaux types de collecte de données (Vaast, 2003), ce qui implique la nécessité de trouver des méthodes permettant de repérer et d'analyser ces données, par exemple dans le cas des projets BIM à travers l'étude des usages.

Les premières différences rencontrées entre les usages demandés par la MOA publique et privée de ces deux projets sont que, dans l'étude de cas 1, les usages BIM sont directement extraits des directives de Mediaconstruct et Building Smart France²², tandis que dans le deuxième, ils ont été développés par le client et correspondent plus à ses demandes spécifiques. Les usages

²² Building SMART France – Mediaconstruct est une association qui accompagne la transformation digitale de la construction à l'échelle nationale, en charge du développement des bonnes pratiques de travail en BIM.

BIM communs aux deux projets portent sur les critères de modélisation des maquettes et le détail géométrique, ainsi que sur la création d'une maquette servant à la communication à partir des vues 3D ou vidéos. Plusieurs usages portent également sur des questions informationnelles, comme le type de classification informationnelle à appliquer aux objets modélisés, le besoin d'extraire les quantitatifs du projet de la maquette intégrant l'estimation des coûts, ou la création d'une maquette qui inclut les informations nécessaires afin de fournir un dossier des ouvrages exécutés (DOE) complet. Par ailleurs, chaque projet a ses particularités : par exemple, le cas du lycée inclut l'objectif de « service à l'occupant pendant l'exploitation » intégrant les besoins des usagers du bâtiment. Dans ce cas d'étude, il existe également un fort intérêt pour l'analyse énergétique et environnementale basée sur la maquette numérique. Pourtant, dans le cas des bureaux, ces objectifs soulignent l'importance du BIM dans la gestion du chantier en mettant l'accent sur la bonne saisie des informations dans les maquettes (voir Annexe 3). La liste des usages BIM peut également servir à vérifier la mise en œuvre effective des pratiques d'utilisation du BIM auprès des acteurs du projet. Cette liste s'est révélée très pertinente lors des entretiens, car elle a fourni des éléments objectifs pour alimenter les discussions avec les acteurs impliqués dans le projet.

En résumé, nous partons de l'analyse de deux projets : le premier est un lycée dont le propriétaire public se concentre sur des aspects tels que l'environnement, la communication et les usagers finaux, et le second est un immeuble de bureaux dont le propriétaire privé se concentre davantage sur la bonne saisie de l'information et la gestion du chantier. Chacun des enjeux identifiés sollicite la collecte d'informations distinctes et, dans les sections suivantes, nous examinerons si les demandes informationnelles initiales ont été satisfaites et quelles difficultés se manifestent dans le cadre du système d'acteurs. Cette liste d'usages est imposée par la MOA, ce qui témoigne de son pouvoir au sein du projet BIM. Selon les propos de C. Dupuy, un acteur peut être considéré comme dominant s'il s'impose de manière spontanée en raison de son avantage technologique, économique ou de sa position dans la hiérarchie (Dupuy et al., 2003). Cependant, ces impositions au sein du système d'acteurs peuvent générer des conflits, comme le souligne J. Jouët dans ses travaux de recherche sur les nouvelles technologies : l'imposition d'intérêts peut produire des formes de micro-résistance (Jouët, 2000). Dans ces cas, les usages BIM en tant qu'intérêts imposés pourraient donner lieu à ces micro-résistances. A minima, ces conflits pourront être gérés grâce aux négociations afin de faire émerger une convergence provisoire entre les différents intérêts au sein du projet. Enfin, la liste

des usages BIM représente la liste des enjeux du client ou, selon la définition d'enjeu de J. Itoua, les choix du client entre certaines tendances plutôt que d'autres (Itoua, 2016).

1.4. Le système d'acteurs des projets BIM : sa configuration et l'analyse documentaire

En nous appuyant sur les travaux de recherche de C. Tourmen sur la différence entre poste et métier, nous avons remarqué dans nos cas d'étude que l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage est le seul qui développe réellement un nouveau métier car l'acteur appartient à une entreprise dédiée uniquement à l'accompagnement BIM des projets (Tourmen, 2007). Ainsi, pour les BIM managers, dans le cas de l'immeuble de bureaux, c'est un ingénieur BIM manager qui accomplit la liste de tâches associées à ce poste, lesquelles ont été décidées par l'entreprise. Dans le cas du lycée, il n'y a pas de poste spécifique au BIM manager car c'est un architecte, sur un poste d'architecte, qui développe les missions de BIM manager. Les autres fonctions impliquées dans les projets de coordination ou de production BIM sont des tâches ou des missions qui s'ajoutent aux postes conventionnels de conception, tels que chefs de projet ou projeteurs.

Nous avons pu mesurer précédemment l'importance des enjeux du client qui sont listés dans les usages BIM du projet du cahier des charges. Toutefois, comme le propose A. Siala, les exigences du projet, tant géométriques que non géométriques, de toutes les parties prenantes et pas seulement du client, doivent être clarifiées au début du projet et intégrées dans le protocole BIM (Siala et al., 2020). Les principaux documents contractuels BIM sont le cahier des charges et le protocole ou la convention de l'opération. B. Chaudet soutient que la rédaction de ces documents, et notamment du cahier des charges, nécessite la coopération des équipes de conception et de gestion du projet (Chaudet, 2020a). Les spécifications BIM sont établies par le maître d'ouvrage au début du projet par son BIM manager interne ou par un assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage (AMO BIM), un tiers qui les supervisera tout au long du projet, comme présenté dans « Le BIM sous l'angle du droit » (Bellenger & Blandin, 2019). Dans nos cas d'étude, le cahier des charges est défini par les assistants BIM à la maîtrise d'ouvrage. Dans le

cas du lycée, figure également une charte BIM pour l'exploitation. Cette charte est rédigée par les développeurs du logiciel d'exploitation au début du projet de conception afin de clarifier leurs besoins en informations pour la gestion finale du bâtiment. De nouvelles spécifications et chartes BIM peuvent être ajoutées en annexe au cahier des charges du client si elles sont validées par celui-ci, comme c'est le cas du cahier des charges BIM pour l'analyse du cycle de vie du lycée, qui regroupe les besoins informationnels du bureau d'études environnementales. Les documents sont apparus dans l'ordre chronologique pour chaque projet, tel qu'illustré dans la Figure 11 :

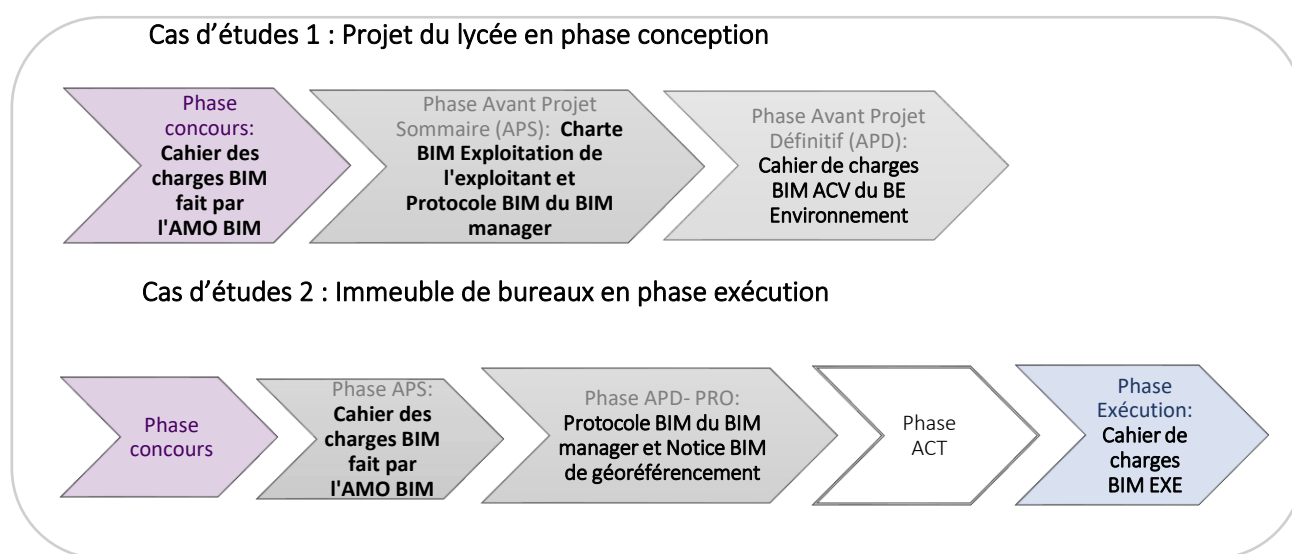


Figure 11 Documents produits par phase selon la chronologie du projet établie par la loi MOP

Dans les deux cas, le protocole BIM arrive dans un deuxième temps, une fois que la maîtrise d'œuvre est désignée et que le BIM manager a rejoint l'équipe de projet. Ce dernier est chargé de rédiger un protocole BIM qui tient compte des besoins du client, comme indiqué dans « Management et collaboration en BIM » (Levan, 2016). Le BIM manager doit traduire les objectifs et usages BIM demandés par le client et expliquer dans le protocole quelles procédures de travail vont se mettre en place pour les atteindre. Dans la définition du protocole BIM de référence en Belgique, C. Euben et S. Boeykens incluent toutes les questions techniques et les meilleures pratiques à mettre en œuvre dans le projet, en termes d'interopérabilité, de géoréférencement²³ des maquettes numériques, de mise en œuvre de la plateforme de collaboration pour tous les acteurs, etc. (Euben & Boeykens, 2018). L'analyse documentaire a

²³ Le géoréférencement est une question essentielle dans les projets BIM car il permet de s'assurer que le bâtiment a été modélisé virtuellement dans les bonnes coordonnées géographiques et qu'il pourrait s'intégrer correctement dans le territoire virtuel.

donc permis d'observer quels acteurs ont préparé ces documents, quand, et ce qu'ils contenaient. Certains documents, tels que le cahier des charges pour l'analyse du cycle de vie ou la notice d'information sur le géoréférencement, soulèvent les questions émergentes dans chaque projet et nous ont permis de mieux orienter les entretiens et les analyses ultérieures.

Même si la plupart des méthodologies de travail sont déjà bien clarifiées dans ces documents, de nouvelles questions informationnelles émergent tout au long du projet. Les compétences traditionnelles des métiers de la construction ne semblent pas suffisantes pour la gestion de la nouvelle perspective informationnelle des projets BIM parce que les acteurs doivent se former aux nouveaux outils et aux classifications des données. C. Botton et D. Forgues expliquent que la capture progressive des informations requises et la nécessité de repenser la collaboration autour de la maquette numérique changent radicalement les processus du projet de construction (Botton & Forgues, 2018). Dans ce contexte, le BIM manager a pour tâche d'effectuer une sorte d'arbitrage « informationnel » et décide qui doit intégrer quelle information, pourquoi, pour qui, quand et comment. Le rôle d'arbitrage du BIM manager met l'organisation dont ce BIM manager relève en position de domination sur la gestion des données. Ainsi, A. Akintola souligne une modification des dynamiques du pouvoir au sein du projet après l'arrivée du BIM manager (A. Akintola et al., 2017; A. A. Akintola et al., 2021). Bien que A. Akintola soutienne que la position dominante des nouveaux rôles BIM soit due au manque de connaissances et de compétences BIM chez les acteurs du projet, elle affirme également que cette autorité est temporaire et non durable. Ce qui signifierait que, théoriquement, lorsque tous les acteurs auront une bonne maîtrise du BIM, le BIM manager ne sera plus nécessaire.

D'un point de vue informationnel, les tâches du BIM manager, du coordinateur BIM et du modelleur ou producteur BIM comprennent les tâches de décision sur la structuration des données pour le BIM manager, la saisie et la structuration des données pour les coordinateurs BIM, ainsi que la modélisation et la saisie d'informations déjà structurées pour les modelleurs BIM. Cependant, les missions informationnelles relatives au choix des données et de la classification correspondent plutôt à l'assistant BIM qui doit veiller aux intérêts informationnels du client. Il est alors établi une hiérarchie informationnelle dans les missions BIM qui donne plus de pouvoir à l'assistant BIM du client, puis au BIM manager, et enfin aux coordinateurs BIM de chaque entité. Dans les sections suivantes, nous créerons des diagrammes illustrant les

tâches d'information de chaque acteur et leur influence dans les négociations sur les données à intégrer dans les maquettes numériques.

1.4.1. Observation du système d'acteurs de l'étude de cas 1 – Bâtiment scolaire (lycée)

Le premier projet a été analysé en phase conception (2018-2019) avec un système d'acteurs composé des concepteurs, de la maîtrise d'ouvrage (MOA) et des assistants à la maîtrise d'ouvrage (AMO BIM). Dans le diagramme suivant, nous avons schématisé la hiérarchie informationnelle au sein du projet :

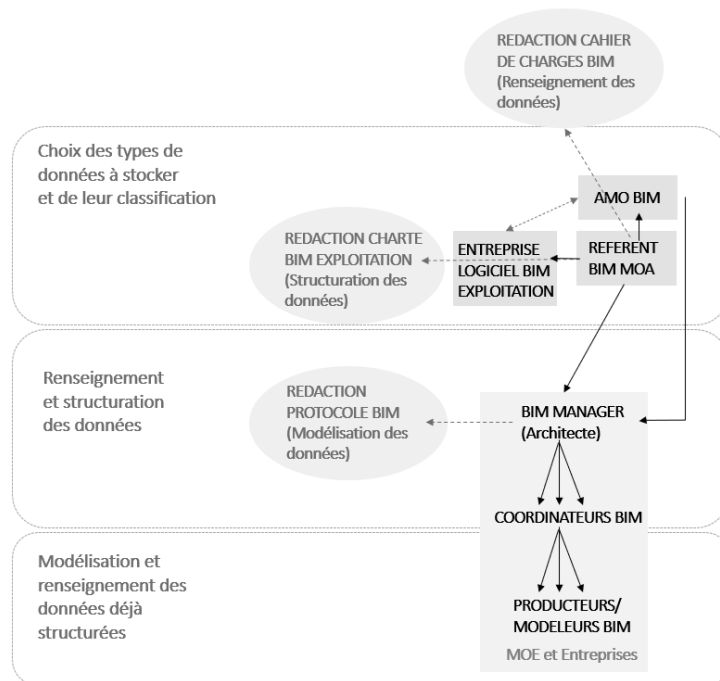


Figure 12 : Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet. (Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse de l'étude de cas 1)

Dans ce projet, le BIM manager est l'architecte, mais dans d'autres projets, la mission de BIM manager peut être développée, par exemple, par les économistes ou un des bureaux d'études techniques. Par ailleurs, dans ce projet, l'assistance BIM à la maîtrise d'ouvrage est assurée par l'assistant BIM manager et le fournisseur du logiciel d'exploitation BIM, dans un registre purement informatique (voir Figure 12).

Le premier assistant porte la mission de BIM manager conseiller du client qui a fourni un cahier des charges BIM. De manière complémentaire, le fournisseur spécialiste en logiciels d'exploitation, en tant qu'assistant, a rédigé le premier cahier des charges du projet uniquement avec les informations nécessaires pour l'exploitation du bâtiment. Par ailleurs, dans ce projet, il y a également un cahier des charges BIM pour l'analyse du cycle de vie (ACV) rédigé par le bureau d'études environnement avec l'enjeu de fournir aux architectes une procédure pour que les données des matériaux de la maquette soient exploitables pour une étude d'ACV. Ce cahier des charges rassemble les informations particulières et générales à introduire dans la maquette numérique, soit dans les paramètres de l'élément, soit dans les paramètres physiques ou thermiques du matériau.

Pour mettre en évidence les interactions informationnelles entre les différents acteurs impliqués dans le projet de construction, nous avons créé un diagramme de système d'acteurs par phase, où les flèches représentent les interactions entre les acteurs. Au cours des entretiens, nous avons interrogé les acteurs pour savoir avec qui ils communiquaient habituellement dans le cadre du projet, ainsi que s'ils échangeaient des données BIM avec ces personnes²⁴ – flèches bleues – ou s'ils effectuaient des échanges traditionnels basés sur des documents écrits et des plans PDF, indiqués par des flèches noires en pointillé dans la Figure 13. Nous avons également identifié dans cette figure – encadrés en bleu – les entités qui travaillent directement pour le client et qui sont ainsi plus éloignées des concepteurs :

²⁴ Échanges BIM : soit des échanges de la maquette numérique ou des extraits informationnels sous forme de tableur de ces maquettes.

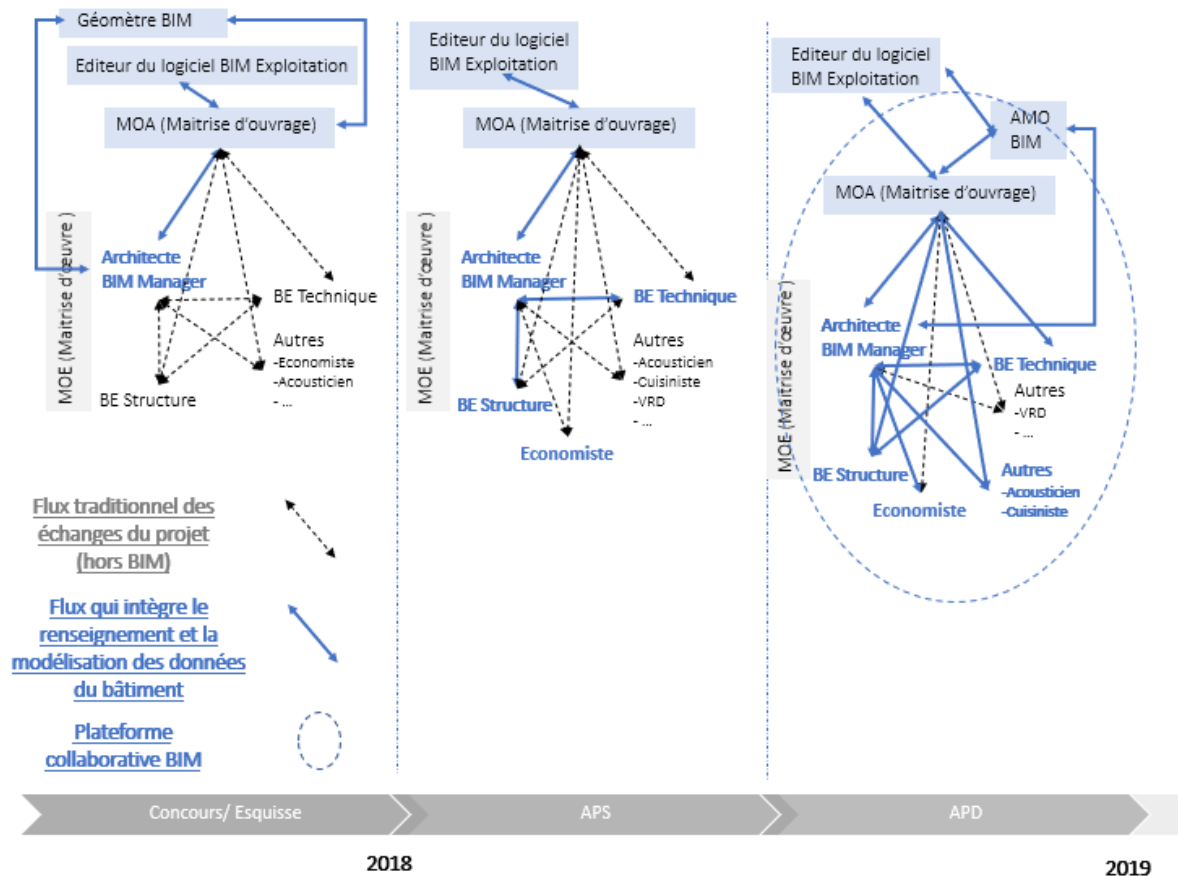


Figure 13 Fiche du projet de rénovation et extension d'un lycée. Extrait de l'ensemble des fiches réalisées par projet à propos des flux de communication au sein du système d'acteurs. (Source : Graphique préparé par l'auteur).

Un troisième type de communication d'information, moins directe entre les acteurs car elle n'a pas lieu entre deux entités spécifiques, s'effectue via la plateforme collaborative BIM, ou l'environnement commun de données, qui permet à tous les acteurs du projet d'accéder aux documents BIM et non BIM du projet. La Figure 13 présente une séparation des systèmes d'acteurs par phase car les personnes qui travaillent sur les données du bâtiment changent au cours du projet. Dans ce cas d'étude, les acteurs n'ont pas varié parce que nous sommes encore en phase conception ; on voit pourtant dans le diagramme que la plupart des acteurs ne commencent à travailler en BIM qu'à partir de la phase avant-projet définitif (APD). En prenant en compte les concepts mobilisés par la *Social Network Analysis*, tels que la centralité et la connectivité au sein d'un réseau d'acteurs²⁵, nous observons que le BIM manager, surtout dans la phase APD, devient l'acteur le plus connecté et le plus central (Borgatti et al., 2009).

²⁵ Selon C. Ni, en général, la centralité est mesurée par le degré d'un nœud dans le réseau, qui est calculé à partir du nombre de nœuds connectés à ce nœud (Ni et al., 2011).

Selon les recherches d'A. Anggraini, le rôle d'un nœud peut être plus ou moins central en fonction de son nombre d'interactions avec le reste du réseau, et la centralité d'un nœud est donc un indicateur de son importance (Anggraini, 2015). Nous observons également qu'au début du projet, le BIM manager a moins de connexions, mais qu'au cours du projet et avec l'utilisation des technologies BIM, il est finalement plus connecté au reste des acteurs que le client. Le rôle du BIM manager au sein du réseau est également confronté à la figure de l'architecte traditionnel définie par M. Blanc comme le « chef d'orchestre », celui qui centralise et coordonne le savoir-faire des autres disciplines (Blanc, 2010). Cependant, dans le projet analysé, l'agence d'architecture est l'entité qui porte la mission de BIM manager et par conséquent, elle ne perd pas cette position centrale dans le projet.

Dans le schéma précédent, il a été constaté que l'utilisation du BIM fait irruption dans le système d'acteurs pendant la phase APD. Ceci est dû à deux événements importants : l'arrivée de l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage, et la mise en place d'une plateforme collaborative qui donne accès aux maquettes numériques à tous les acteurs. Par ailleurs, le développement BIM exponentiel pendant cette phase est dû à la maturité du projet. Par exemple, en phase avant-projet sommaire (APS), les bureaux d'études ont modélisé les locaux techniques et quelques gaines verticales. C'est en phase avant-projet définitif, avec l'élaboration de maquettes des bureaux d'études techniques, que la collaboration entre maquettes et le besoin de trouver une cohérence entre la structure, les réseaux techniques et l'architecture du bâtiment ont accéléré la mise en place du BIM. En outre, c'est également dans la phase d'APD que les économistes commencent à extraire des informations des données quantitatives afin de réaliser les analyses économiques et que l'ingénieur environnemental demande les données nécessaires pour l'ACV. En conséquence, l'APD est identifiée comme un moment-clé où l'implication de tous les acteurs s'intensifie. Même si habituellement la phase d'avant-projet définitif est déjà un état avancé de la conception, B. Chaudet suggère que l'augmentation des échanges autour de la maquette accélère également le niveau de détail des maquettes numériques, qui invite souvent à dépasser les phases et à aborder des discussions qui se tenaient auparavant plus tard (Chaudet, 2020a).

Dans ce projet, un total de sept entités porte des enjeux informationnels et participent à la saisie des informations, à l'extraction de ces informations ou au paramétrage et à la sélection

des principales données du projet (voir tableau récapitulatif Annexe 4). Cette pluralité d'acteurs et de besoins a eu pour résultat l'apparition de négociations et de discussions qui mettent en valeur l'importance de l'information dans les projets BIM. Les situations de négociation seront analysées dans les points suivants, elles ont permis de mieux caractériser les interactions entre les acteurs et les ruptures informationnelles qui émergent.

1.4.2. Observation du système d'acteurs de l'étude de cas 2 – Immeuble de bureaux

Le deuxième projet a été analysé pendant les années 2018 et 2019. À ce moment-là, le projet en était à la fin de la phase de conception et au début de la phase de construction. Le système d'acteurs était composé des concepteurs, de la maîtrise d'ouvrage et des assistants à maîtrise d'ouvrage, ainsi que des entreprises d'exécution déjà désignées, ainsi que l'expose la Figure 14.

L'analyse du projet a été réalisée à la fin de la phase conception et au début de la phase exécution. Dans la Figure 14, la position du BIM manager est associée à la structure du maître d'ouvrage, malgré le fait qu'il ait été recruté pour l'opération par le coordinateur de la conception et que, sur le plan théorique, il fasse partie de l'équipe de conception. Cependant, en réalité, le BIM manager est un employé du maître d'ouvrage. En outre, la maîtrise d'ouvrage est assistée par un assistant BIM externe qui veille à la prise en compte des objectifs BIM du client et analyse les documents produits par le BIM manager. Les travaux d'exécution ont été divisés en deux macro-lots attribués à deux entreprises générales appartenant également à la maîtrise d'ouvrage²⁶. Ainsi, dans ce projet, à l'exception des concepteurs et des bureaux de contrôle, la plupart des intervenants font partie de la maîtrise d'ouvrage :

²⁶ Les entreprises d'exécutions sont divisées par lots et chaque lot est géré par une entreprise spécifique (gros œuvre, façade, plomberie, faux-plafonds, etc.). Parfois les entreprises ont les compétences pour gérer plusieurs lots et ceux-ci sont alors regroupés en macro-lots.

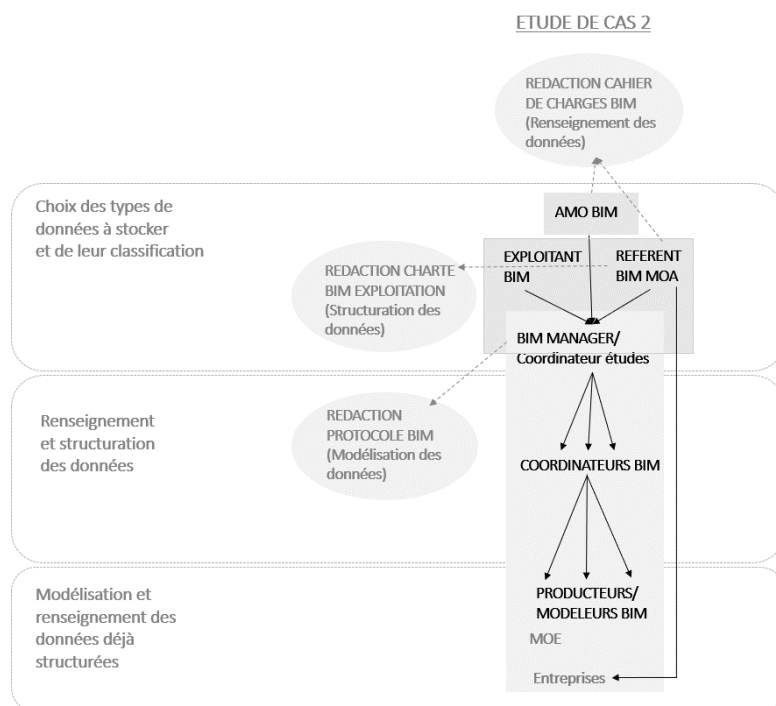


Figure 14 Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet. (Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse des projets).

La première version du cahier des charges BIM est rédigée par la maîtrise d'ouvrage, son assistant BIM et sa cellule d'exploitation, à partir de projets BIM dans lesquels ils sont intervenus précédemment (Figure 14). L'assistant BIM, figure dépendante de la maîtrise d'ouvrage, mais qui n'appartient pas à cette structure, n'a pas eu un grand poids décisionnel en termes d'information. Cependant, il a pu donner des conseils sur l'organisation de la totalité du processus BIM en phase de conception et sur la manière de structurer les données imposées par le client. En général, les assistants BIM ont plus de poids informationnel quand la maîtrise d'ouvrage ne sait pas quelles données elle veut utiliser en exploitation, ou quand les objectifs BIM ne sont pas établis au début du projet. Les études actuelles sur l'adoption du BIM mettent en évidence une insuffisance de compétences et d'intérêt pour le BIM parmi les clients en raison des coûts d'investissement associés, du manque de savoir-faire pour son utilisation, de la difficulté à identifier ses avantages, ou de la réticence à ce que leur bâtiment devienne un projet expérimental (Eadie et al., 2013; Georgiadou, 2019; Mehran, 2016). Néanmoins, dans ce projet, le client a présenté dès le début des objectifs BIM très précis et organisés.

Il s'agit d'un projet pour lequel les données ont été assez structurées dès le départ, car les exigences de l'employeur en matière d'information – en anglais *employer's information requirements (EIR)* – sont bien décrites dans les spécifications BIM. Dans ce contexte, S. Ashworth affirme que la définition correcte de ces exigences est un facteur de réussite essentiel pour la gestion ultérieure des bâtiments (Ashworth et al., 2018). La collaboration avec les exploitants dès le début de ce projet, en travaillant avec le maître d'ouvrage, a permis d'intégrer les objectifs d'exploitation dès les premières phases de conception. Par conséquent, dès la phase de conception, les maquettes incluent les exigences du client. Le cahier des charges élaboré en 2017 comprend une annexe « Tableau de Classification des Paramètres ». Tous les modèles, depuis les phases de conception, intègrent tous les paramètres partagés imposés par le MOA qui visent entre autres à extraire des informations relatives aux matériaux (exemple : nature et épaisseurs), aux usages (exemple : usage et discipline technique), et aux questions administratives (exemple : émetteur et phase), parmi d'autres. Le projet inclut aussi en 2019 un cahier des charges BIM dédié au dossier des ouvrages exécutés qui établit le contenu des maquettes pour l'exploitation du bâtiment, le niveau de détail des informations à introduire (quels paramètres par objet) et la classification des objets. Tous ces documents permettent de comprendre les informations nécessaires pour la future gestion et maintenance du bâtiment.

Afin de mieux caractériser les principaux acteurs impliqués dans ce projet, un tableau a été créé, similaire à celui présenté dans la première étude de cas, étant donné que l'organigramme BIM est très spécifiques à chaque projet (voir annexe 4). Afin de dévoiler les interactions informationnelles entre les acteurs du projet, nous avons élaboré, comme dans le cas d'étude du lycée, le diagramme du système d'acteurs par phase avec les flèches qui représentent les interactions entre les acteurs (voir Figure 15). Pendant les entretiens, les diagrammes ont été élaborés en interrogeant les acteurs sur leurs interactions avec les autres parties prenantes. Plus précisément, on leur a demandé s'ils communiquaient avec leurs pairs en utilisant des documents PDF ou des dessins en 2D (flèches en pointillé), ou s'ils utilisaient plutôt des maquettes numériques et leurs bases de données pour les échanges (flèches bleues) :

complètement son rôle de chef d'orchestre tel que défini par M. Blanc, du moins en ce qui concerne les échanges entre acteurs (Blanc, 2010). Les diagrammes de réseau nous ont également permis d'observer différemment certains problèmes qui apparaissent dans les projets : par exemple, dans ce cas d'étude, le BIM manager dans la phase de conception était assez absent selon les acteurs interviewés. Les travaux de recherche de A. Anggraini sur le *Social Network Analysis* dans un système d'acteurs ont montré qu'« un réseau social est une structure dynamique où les nœuds et les liens peuvent apparaître et disparaître pour de nombreuses raisons ». Il est donc évident que la disparition d'un nœud central n'a pas les mêmes effets que la disparition d'un nœud marginal. Par exemple, la disparition d'un nœud central peut créer un effet de cascade et conduire à une désintégration du réseau ou à une lenteur dans la diffusion de l'information (Anggraini, 2015). Ceci nous aidera à expliquer par la suite pourquoi la disparition ou le manque de présence du BIM manager dans le projet en phase conception a engendré une cascade de problèmes au sein du projet. Nous examinerons ultérieurement que les conflits qui ont émergé ont été résolus en phase de construction en raison du changement de BIM manager qui était à nouveau connecté au système d'acteurs.

Par ailleurs, pendant la phase EXE, les entreprises d'exécution qui appartiennent au cluster d'entreprises de la maîtrise d'ouvrage arrivent dans le projet sous la forme de deux groupements : macro-lot 1 (structure, façade, charpente et architecture) et macro-lot 2 (électricité, plomberie, chauffage-ventilation-climatisation (CVC) et *sprinklage*²⁷). Les deux macro-lots travaillant en BIM, la maîtrise d'œuvre poursuit le projet pour les accompagner et vérifier que le déroulement du chantier respecte la conception réalisée pendant les phases précédentes. Pendant la phase de chantier, apparaît un nouvel acteur : la cellule de synthèse BIM qui a pour objectif la résolution des conflits techniques entre les différents corps de métier. Ainsi, dans ce projet, la plupart des acteurs appartiennent au groupe d'entreprises de la maîtrise d'ouvrage (ils sont encadrés dans un rectangle bleu dans la Figure 15). Toutefois, ce type de « monopole » exercé par le client a également causé des conflits en raison de l'écart entre les acteurs de la maîtrise d'ouvrage (encadrés en bleu) et l'équipe de conception. Plusieurs travaux de recherche sur la gestion de projet, comme ceux de J. Gabay ou de S. Carton et A. Farastier, montrent la relation délicate entre le maître d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre et soulèvent des

²⁷ Une installation de *sprinklage* est un système automatique qui permet de disperser de l'eau sur tout début d'incendie dans un bâtiment en utilisant des têtes situées dans le plafond des locaux.

conflits d'intérêts entre les deux qui doivent également être pris en compte dans nos analyses des projets BIM (Carton & Farastier, 2012; Gabay, 2014).

1.5. Les rapports de pouvoir pendant la négociation BIM

Le concept de « négociation » peut être défini comme la dynamique émergeant lors de la résolution d'un conflit causé par des différences d'intérêts entre les acteurs – l'une des sources de conflits identifiées par J. Freund (Freund, 1983). Comme le souligne C. Dupuy, après le conflit, les négociations peuvent conduire à une convergence des intérêts des acteurs (Dupuy et al., 2003). Pour faciliter cette convergence, les acteurs impliqués dans le projet peuvent se référer au concept de « traduction » de M. Callon, qui permet de créer un espace commun d'échanges entre différentes disciplines (Callon, 1986; Dupuy et al., 2003). C. Thuderoz a défini comme éléments nécessaires et suffisants d'une négociation : « la présence d'une *divergence* à propos de divers cours d'action possibles », « la *nécessité* d'adopter un cours commun d'action », « l'*interdépendance* des parties », « un *souci mutuel* de régler et d'ajuster leurs conduites sans se soumettre immédiatement à la volonté de l'autre », et finalement, « un *effort*, libre et volontaire, pour ce règlement commun des conduites » (Thuderoz, 2009). À l'exception de l'*effort* final, la *divergence*, la *nécessité*, l'*interdépendance* et les *soucis mutuels* sont présents dans la totalité des situations analysées dans ces cas d'études.

Les négociations au sein du projet BIM sont un résultat évident des rapports de forces qui se développent autour de la création et de la gestion des données du bâtiment dans les projets de construction en BIM. Les rapports de forces ont été considérés dans ce travail de recherche comme l'ensemble des relations de pouvoir ou de domination qui essaient de s'imposer dans les négociations entre les acteurs. Selon G. Tinlot, les modes d'organisation de la coopération et les alliances au sein des projets reflètent le niveau de pouvoir de chaque intervenant (Tinlot, 2005). Dans le contexte du BIM, ces négociations ont lieu au sein d'un processus de coordination mené par le BIM manager. Comme l'explique J. Guéneau, le BIM manager est responsable de l'éligibilité et de la priorisation au sein du projet, et agira en évaluant ce qui est éligible et ce qui ne l'est pas en ayant toujours le dernier mot (Guéneau, 2019). Dans le projet BIM, il y a donc un ensemble de tâches qui sont distribuées et un « coordinateur global », le BIM manager,

qui valide et vérifie le bon déroulement du projet (Kouider et al., 2019) (Tulke & Schumann, 2018). Ainsi, la position centrale du BIM manager dans les schémas d'échanges BIM entre acteurs que nous avons présentés au point précédent obéit à son rôle de coordinateur global au sein du projet. En conséquence, un lien s'établit entre la centralité des acteurs au sein des échanges et sa position de pouvoir. Nous avons observé qu'au cours des négociations, le BIM manager et l'entreprise dans laquelle il travaille sont dominants par rapport aux autres acteurs.

L'analyse des cas d'étude a révélé que tous les acteurs ne prennent pas en compte les besoins des autres dans leurs démarches parce que cela implique souvent une surcharge de travail. En général, dans les projets BIM, l'introduction des informations dans la maquette numérique peut entraîner une surcharge de travail pour l'acteur impliqué, et sans rémunération pour cet effort supplémentaire non prévu. Dans ce contexte, les négociations acquièrent une dimension marchande basée sur des questions économiques, comme le soutient M.N. Schurmans qui défend le lien historique entre *negociatio* et commerce (Schurmans, 2013). Ces tâches deviennent généralement une charge de travail supplémentaire qui crée des problèmes, des discussions, une modification des méthodologies de travail traditionnelles, et qui, si elle n'est pas traitée, entraîne des ruptures d'information entre les acteurs.

Par conséquent, les projets BIM reposent sur une négociation constante, arbitrée par le BIM manager, et dans laquelle un acteur demande à un autre de modéliser de telle ou telle manière, ou de fournir telle information, comme c'est le cas des informations de matériaux, de puissances des équipements, etc. Puisque ces tâches ont un impact sur la charge de travail des acteurs, dans ce contexte émerge le concept de « coordination », défendu par R. Gulati comme nécessaire et complémentaire aux besoins de coopération entre acteurs, afin de mieux gérer les temps et les échanges entre eux (Gulati et al., 2012). Une coordination des demandes et des extractions d'informations des maquettes est également nécessaire, afin de ne pas influencer les plannings de travail des acteurs. Ainsi, la coordination, la coopération et le partage des enjeux et des besoins des acteurs sont importants pour mener à bien la collaboration. Nous adoptons la perspective co-constructiviste de P. Bernoux et Y. Gagno qui insiste sur la nécessité de coopération entre les acteurs, tout en incluant une logique de coordination pour tenir compte des contraintes temporelles de chacun des acteurs (Bernoux & Gagnon, 2008).

Dans les sections suivantes, nous examinerons les situations de négociations et les conflits associés observés dans les cas d'étude ; et comment le rôle du BIM manager, en tant qu'acteur central du projet, impacte la collaboration au sein du projet et peut entraîner des ruptures informationnelles.

1.5.1. Le rôle du BIM manager face aux problèmes informationnels et organisationnels rencontrés

La publication sur la fabrication de la ville de V. Biau et P. Godier suggère que les relations interprofessionnelles qui émergent au sein de la maîtrise d'œuvre dans un projet de construction sont un point d'observation privilégié pour analyser et comprendre les frontières professionnelles et les processus complexes de négociation au sein du projet (Godier et al., 2019). La planification d'un projet BIM est extrêmement complexe en raison de la fragmentation du processus de construction en plusieurs phases et acteurs, ce qui rend chaque projet BIM, selon les auteurs B. Gilligan et J. Kunz, unique et non répliquable (Gilligan & Kunz, 2007). En outre, les auteurs suggèrent que la fragmentation et les difficultés de répliquabilité sont parmi les raisons majeures pour lesquelles une proportion importante d'utilisateurs hésite à considérer le BIM comme une solution bénéfique. Ils ne sont pas certains que l'utilisation de cette nouvelle technologie leur permettra de résoudre des conflits qui n'auraient pas pu être identifiés dans un processus traditionnel. Ainsi, C. Sun souligne que les difficultés rencontrées dans les projets BIM sont causées par des facteurs technologiques, économiques mais aussi managériaux, personnels ou réglementaires (Sun et al., 2017). Par ailleurs, nos constatations concordent avec les études menées par S. Tribout et A. Margier quant à la capacité de certains logiciels d'aide à la conception à favoriser ou entraver les collaborations interprofessionnelles (Tribout & Margier, 2019). Dans les deux cas d'étude, les différents métiers ont des exigences et des intérêts divergents, et dans ce contexte, le BIM manager joue un rôle central en encourageant la convergence. L'étude des rôles et des actions des BIM managers dans ces projets a permis d'analyser plus en détail deux situations dans ces cas d'étude. Dans les situations que nous avons analysées, les facteurs limitant le projet sont de nature managériale, même si les facteurs personnels liés à la maturité BIM des acteurs ou les facteurs économiques en lien avec la rentabilité des missions BIM ont pu avoir une influence dans les négociations. Dans la première

étude de cas, nous avons identifié un manque d'arbitrage ou de coordination de la part du BIM manager, et dans la seconde, un manque de présence du BIM manager pendant la phase de conception, résolu dans la phase d'exécution.

1.5.1.1. Le rôle d'arbitrage du BIM manager dans la première étude de cas

L'analyse documentaire du projet de construction du lycée a mis en évidence l'importance des enjeux environnementaux associés au projet, du fait d'un cahier des charges préparé par le bureau d'études environnement pour la réalisation de l'analyse du cycle de vie. Celle-ci prend en compte les matériaux utilisés dans la construction du bâtiment afin de calculer son impact environnemental. Cependant, lors des entretiens semi-directifs, nous avons constaté que cette démarche avait été bloquée par le BIM manager :

Dans le contexte d'une analyse du cycle de vie environnemental (ACV), le chef de projet du bureau d'études (BE) environnement cherche à obtenir des informations sur les matériaux de construction à partir de la maquette numérique. Cependant, la description des matériaux de construction est insuffisante et le paramétrage informationnel de la maquette a été conçu pour la gestion et la maintenance des équipements. Dans ce contexte, le chef de projet du BE environnement établit un cahier des charges pour les données sur les matériaux.

Le BIM manager ne répond pas de manière favorable à ce besoin informationnel du BE car cela impacte le travail des architectes. Le BIM manager travaille pour le cabinet d'architectes qui est censé inclure les caractéristiques des matériaux, ce qui entraînerait une charge de travail supplémentaire pour son cabinet.

Tableau 2 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 1

Des processus de négociation sont souvent nécessaires pour la mise en place d'informations car les acteurs impliqués dans l'introduction de données ne sont pas toujours ceux qui les utiliseront. Par exemple, dans le projet examiné, le bureau d'études environnementales requiert des informations sur les matériaux, saisies par les architectes. En théorie, le BIM manager, en tant que coordinateur global du projet, devrait être en mesure de faire aboutir ces négociations. Cependant, étant donné qu'il appartient à l'agence d'architecture, qui est chargée d'introduire

ces informations, le processus est considérablement plus complexe. L'attribution de la mission du BIM manager renforce le pouvoir de l'agence d'architecture qui décide de ne pas satisfaire la demande du bureau d'études environnementales. Finalement, le bureau d'études fait appel à la maîtrise d'ouvrage afin de communiquer ses « besoins informationnels » et d'obtenir, par son soutien, davantage de poids dans la négociation.

Afin de mieux illustrer la situation décrite ci-dessus, nous avons produit un diagramme qui présente le processus de négociation dans la première étude de cas entre le BIM manager, le client et le bureau d'études environnement (cf. Figure 16).

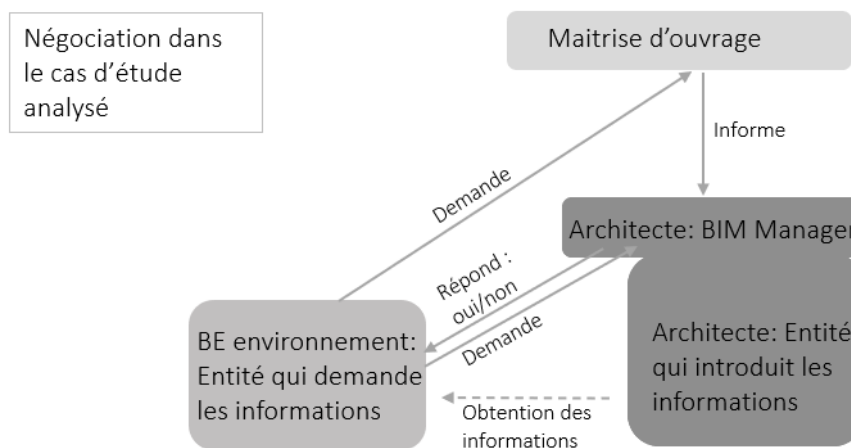


Figure 16 Situation de négociation dans l'étude de cas 1

Ce diagramme illustre les rapports de forces au sein du projet BIM, qui basculent en faveur de l'entité à laquelle appartient le BIM manager. La mission de BIM manager a donné plus de pouvoir à l'agence d'architecture dans l'arbitrage entre les intérêts de l'agence d'architecture et ceux du bureau d'études. Bien que les projets BIM soient souvent présentés comme un modèle de collaboration et d'intégration des démarches de co-construction entre les parties prenantes, comme décrit par E. Forgues, nous avons constaté que la nature hiérarchique du processus BIM freine le partage du pouvoir décisionnel proposé par C. Leyrie et S. Boivin dans les démarches de co-construction, car il revient toujours au BIM manager ou au client de prendre les décisions finales (E.-C. Forgues et al., 2016; Leyrie & Boivin, 2017). Et en effet, le chef de projet du bureau d'études a dû insister plusieurs fois auprès du BIM manager afin

d'obtenir les informations nécessaires pour les calculs de l'analyse du cycle de vie, comme l'illustrent les échanges de courriels ci-dessous :

Etude de cas 1	Phase conception	Extraits des courriels échangés entre BE Environnement et BIM manager :	02/ 2019- 05 / 2019
Mars 2019 (Demande) : Bonjour, Sauf erreur de ma part, nous n'avons pas eu à notre disposition la maquette numérique, intégrant les informations requises dans le cahier des charges BIM ACV. Pourriez-vous s'il vous plaît nous la faire parvenir, afin que je puisse réaliser une première Analyse du Cycle de Vie ? L'objectif initial étant de vérifier l'atteinte du niveau C1 pour les parties en construction neuve, avant la réunion du 08/03. Mai 2019 (Réponse) : Excusez-moi de vous répondre si tard, j'étais pris par d'autres affaires. Les maquettes n'ont pas avancé sur le niveau d'informations, tout le monde était pris sur la préparation du permis de construire.			

Nous constatons donc que le rôle d'arbitrage n'existe pas quand le BIM manager est impliqué directement par la négociation : rester impartial dans ce type de négociation devient très compliqué pour lui, même si, lors de l'entretien, il reconnaît l'importance des informations matérielles demandées par le bureau d'études. En tant qu'architecte de la maîtrise d'œuvre, le BIM manager met l'accent sur l'addition de ces nouvelles tâches de renseignement de données qui représente, pour lui, une surcharge de travail qui réduit le temps de production de plans et qui modifie les méthodologies de travail :

Étude de cas 1	Phase conception	Entretien avec le BIM manager	05/2019
La principale contrainte dans cette démarche est le niveau d'information, en fait, ça demande un travail en plus qui est très intéressant mais... Il s'agit aussi d'une nouvelle manière de travailler ou au lieu de mettre quelques textes sur les plans, on met l'information dans les objets. En fait, c'est une manière de travailler très différente, c'est très compliqué de tout renseigner et d'organiser les données en amont du projet. [...] On a tendance à se concentrer pendant ces phases sur la modélisation sans avoir accès aux informations, dans ces projets on se retrouve à devoir travailler à l'inverse et c'est assez fastidieux. En plus, on se retrouve à devoir renseigner des informations et le projet n'est pas encore assez avancé pour détailler tout. On aurait aussi besoin de temps pour organiser et introduire les informations et on ne l'a pas. [...] Pour ce type de bâtiment, je pense qu'il est très important de renseigner les informations des locaux techniques et des matériaux.			

Dans cette situation, nous pouvons identifier, selon les définitions de C. Tourment de « poste » et de « métier », que le métier spécifique de la personne interviewée et les tâches qu'il développe sont celles d'architecte, et que dans ce cas, son rôle de BIM manager devient une mission supplémentaire qui lui ajoute des intérêts contradictoires par rapport à ceux de son métier (Tourmen, 2007). Pour le BIM manager, son métier et ses intérêts d'architecte restent plus importants que la mission au sein du projet, peut-être en raison du caractère identitaire associé, d'après C. Tourmen, à la notion de « métier ». Par ailleurs, les facteurs organisationnels qui influent sur ce projet sont également conditionnés par des aspects économiques, puisque les architectes ne bénéficient pas d'une rémunération supplémentaire pour la surcharge de travail. Dans ce contexte, M.N. Schurmans met en évidence que la gestion du projet et les négociations sont très souvent confrontées à une combinaison d'incertitudes organisationnelles influencées par des indéterminations économiques (Schurmans, 2013).

L'analyse de la maquette numérique montre que son paramétrage a été préparé en prenant en compte l'exploitation et la maintenance des équipements. Cependant, le cahier des charges BIM, document contractuel et obligatoire, inclut la réalisation des analyses environnementales dans les objectifs BIM du projet (voir Annexe 3). Pourtant, ces analyses n'ont pas été prises en compte par le BIM manager. La demande du bureau d'études environnement est arrivée pendant la phase de conception, contretemps qui l'a obligé à convaincre le BIM manager et le client de l'intérêt de sa demande. Les demandes « informationnelles » qui ne sont pas identifiées ou mises en valeur en phase programmation créent des problèmes pendant le développement du projet, parce que les acteurs ne peuvent faire face à la surcharge de travail occasionnée par les nouvelles demandes, comme c'est le cas de l'agence de l'architecture dans l'exemple analysé. Par ailleurs, cette surcharge, qui n'est pas accompagnée d'un budget supplémentaire, risque d'impacter également la phase exécution, selon les affirmations de l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage au cours de l'entretien : *« les architectes vont insérer une partie des informations pour les lots qu'ils ne modélisent pas en BIM mais c'est compliqué parce qu'à la base, il n'était pas prévu que ce travail soit fait par l'architecte et il n'a pas été chiffré »²⁸.*

Les contraintes mentionnées mettent en évidence l'importance des processus de gestion intégrée, tels que ceux explorés dans les travaux de F. Farias et A. Zimmerman. Ces processus

²⁸ Étude de cas 1- Phase de conception- Entretien avec l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage en juin 2019.

préconisent une approche holistique de la conception, impliquant toutes les parties prenantes dès le début du projet afin de minimiser les risques d'incidents imprévus, les surcharges de travail ou les budgets supplémentaires (Farias, 2013; Zimmerman, 2001).

Au-delà du rôle d'arbitrage du BIM manager, une deuxième contrainte identifiée concerne les limites des acteurs à spécifier les matériaux dès la phase de conception : ainsi, le bureau d'études n'avait pas encore déterminé le type de béton à utiliser en phase chantier au moment de la réalisation des calculs finaux. C. Sun, dans ses études sur les limites de l'applicabilité du BIM, nous alerte sur les problèmes liés à la fiabilité des informations, car elles sont incomplètes pour la réalisation de mesures et de simulations (Sun et al., 2017). Les parties prenantes attribuent souvent le manque d'informations au fait que les décisions n'ont pas encore été prises dans le cadre du projet. Et pourtant, de la même façon que les pièces écrites suivent toutes les étapes de la conception et s'y adaptent, le renseignement des informations de la maquette numérique peut également évoluer, ce qui permettrait au reste des intervenants de réaliser leurs calculs et d'obtenir leurs quantitatifs tout au long du projet.

Il a été observé que le développement informationnel du processus de conception est également conditionné par la temporalité des phases de construction du bâtiment (programmation, conception, construction, exploitation et démolition). S. Levan, dans « Management et collaboration BIM », explique que les données initiales sont exigées par le client en phase de programmation pour permettre un suivi en phase de conception (surfaces, fonctionnalités, ...) (Levan, 2016). Cependant, d'autres données telles que les données économiques ou celles relatives aux matériaux sont produites en phase de conception. Toutes les données ne sont pas immuables dans le projet : par exemple, celles faisant référence à l'emplacement des équipements, ou des éléments structurels pendant la phase de construction, ne seront pas utiles pendant la phase d'exploitation et disparaîtront à la fin de la phase pour laquelle elles ont été conçues. Cette recherche souligne donc la nécessité d'identifier la temporalité et le cycle de vie des données dans toutes les phases afin de mieux comprendre leur création et leur évolution tout au long du projet de construction. Ainsi, A. Roxin soutient l'importance du cycle de vie des données du bâtiment dans les nouvelles perspectives de recherche dans les projets BIM (Roxin, 2021).

Aujourd'hui, cette culture d'introduction des informations dans les projets n'existe pas, les missions ne sont pas bien définies. R. Ren et J. Zhang ont montré que le manque d'introduction d'informations entrave l'interopérabilité au sein du projet d'un point de vue technique et procédural (Ren & Zhang, 2021). Dans le projet analysé, l'introduction de données apparaît comme une surcharge de travail que les acteurs préfèrent décaler à la phase chantier, où l'obtention du dossier des ouvrages exécutés numérique devient un vrai enjeu pour le client.

1.5.1.2. La présence du BIM manager dans le deuxième cas d'étude

Dans le second projet, un problème organisationnel distinct de celui évoqué dans l'étude de cas précédente a été identifié. Lors de l'analyse documentaire, nous avons constaté une notice BIM à la fin de la phase conception portant sur le géoréférencement des maquettes numériques. Comme l'explique S. Jaud, le paramétrage du géoréférencement dans le modèle numérique est important car il contient les données relatives à l'emplacement du bâtiment et à son orientation géographique et il est établi au début du projet (Jaud et al., 2020). Par conséquent, ce paramétrage est imposé et vérifié par le BIM manager dès le début du projet. Ainsi, la rédaction d'une notice BIM à ce sujet à la fin de la conception suggère des problèmes lors de la gestion du projet. Au cours des entretiens, un manque de communication entre le BIM manager et les autres parties prenantes a été identifié comme la source du problème :

Tableau 3 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 2

Au début de la phase de conception du projet, le client a établi un tableau qui structure les données pour la gestion ultérieure du bâtiment. Un paramétrage exhaustif est intégré dès le début de la conception dans les maquettes qui devraient permettre l'extraction des quantitatifs. Cependant, les concepteurs décrivent la maquette comme peu fiable et soulignent le manque des données ainsi que des problèmes liés au géoréférencement des maquettes numériques.

Pendant la phase de conception, le BIM manager est « externe » à l'équipe des concepteurs parce qu'il fait partie de l'équipe de la MOA. Il a été décrit par les intervenants et lui-même comme un acteur éloigné du projet pendant cette phase. Cet éloignement a été résolu pendant la phase de construction, une fois que le système des acteurs a changé, et la mission de BIM manager réalisée par une des entreprises d'exécution.

Dans cette étude de cas, le retour d'expérience a été plus négatif pendant les phases de conception que pendant les phases d'exécution. L'absence du BIM manager pendant les phases de conception peut avoir un impact sur l'introduction des informations et le développement correct des maquettes numériques. En tant que gestionnaire du projet tel que défini par les auteurs C. Botton et D. Forgues, le rôle du BIM manager est de garantir le déroulement optimal de l'opération (Botton & Forgues, 2018). Comme gestionnaire du projet, il occupe une position très importante dans la transmission des informations au reste des acteurs. Tel qu'il est présenté dans la littérature sur les fonctions des managers (Desmarais & Chatillon, 2010), son rôle est également important pour la traduction et l'articulation des attentes de chacun des acteurs vis-à-vis des réalités du terrain et des éventuelles problématiques du projet. En cas d'absence de cet acteur, des difficultés potentielles en matière de géométrie et d'information pourraient émerger, tels que les problèmes liés au géoréférencement ou à la qualité des données du modèle identifiés par les acteurs interviewés. En outre, en ce qui concerne la qualité des données, il est envisageable que les attentes des concepteurs pour un projet avec une spécification aussi avancée dès le début aient été excessives. Le détachement du BIM manager du processus de conception d'un projet avec de nombreuses exigences en matière d'information a entraîné une base de données plus basique que prévu. Pour prévenir cette situation, C. Wu montre que de nombreux outils d'évaluation de la maturité et des connaissances BIM des acteurs du projet existent actuellement (C. Wu et al., 2017). Ces outils visent à améliorer la mise en œuvre du BIM en considérant les forces et les faiblesses de chaque intervenant.

Dans les diagrammes de négociation de la deuxième étude de cas, nous observons que le schéma est différent du projet précédent, mais qu'il a en outre changé entre les phases de conception et de construction, comme l'illustre la Figure 17 suivante :

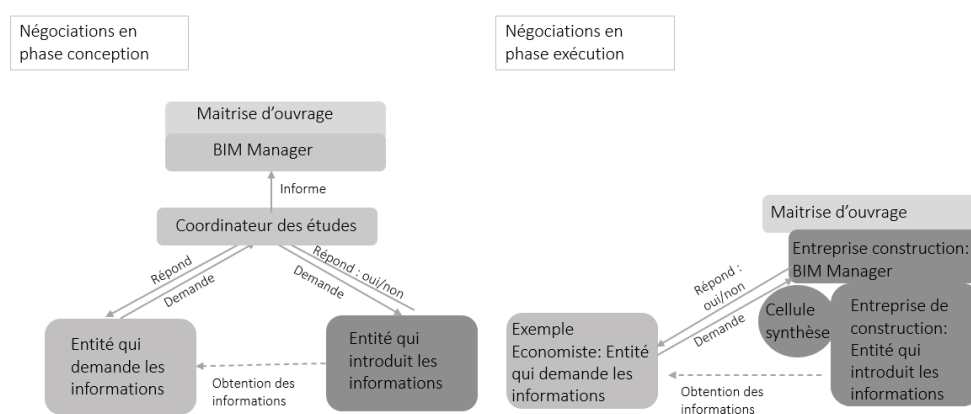


Figure 17 Situations de négociations pendant les phases de conception et exécution de l'étude de cas 2

Les diagrammes montrent des différences importantes dans le fonctionnement du système d'acteurs pendant les phases de conception et de construction. Tel que nous l'avons vu dans le diagramme du système d'acteurs du point 1.4.2, A. Anggraini soutient que la disparition d'un acteur central dans les échanges du projet, comme c'est le cas du BIM manager, provoque des problèmes en cascade au sein du projet (Anggraini, 2015). De plus, le fait que le BIM manager soit l'interlocuteur privilégié du client en matière de BIM a pour conséquence la non-transmission au client des problèmes survenus au cours du processus de conception si le BIM manager est absent. Dans la phase construction, nous observons en revanche un diagramme beaucoup plus compact dans lequel les acteurs sont plus fortement connectés, ce qui se traduit par des négociations et des échanges contribuant au bon déroulement du projet. Au cours des entretiens menés avec les chefs de projet, il a été observé que les opinions sur le rôle du BIM manager pendant la phase de conception ne sont pas positives, comme en témoignent ces extraits :

Étude de cas 2	Phase conception	Entretien avec le BIM coordinateur de l'agence d'architecture	06/2019
Dans ce projet nous avons moins de relation directe avec la MOA, c'est comme si les bureaux d'études et l'architecte du projet étions devenus des exécutants et on se sent perdus [...]. Dans ce projet, le BIM manager n'est plus indépendant, il n'a pas un poids décisionnel séparé du groupement, pour taper les acteurs s'ils ne travaillent pas bien. [...] En plus, les délais ne sont pas cohérents, on nous demande de tout donner sans avoir tout fini. [...] Je ne vois pas le lien avec les exploitants... Pour moi personne ne connaît actuellement les enjeux de la MOA, rien n'est officiel...			

Etude de cas 2	Phase conception	Entretien avec le chef de projet du BET	05/2019
On n'a pas fait d'échanges avec le BIM manager au-delà du démarrage du projet, on a fait des mises au point de synthèse et présynthèse et je crois qu'il était là mais pas de points spécifiques BIM... Pour moi la problématique que je trouve dans ce projet par rapport au BIM est qu'il nous manque un retour d'information de la part du BIM manager. [...] Nous avons discuté avec l'économiste et il a dit que la maquette en phase APD n'est pas chiffrable et n'est pas bien détaillée.			

En phase exécution, le BIM manager fait partie d'une des entreprises de construction qui réalisent le chantier : dès lors, les retours des intervenants par rapport au déroulement de l'opération en BIM deviennent beaucoup plus positifs. Par ailleurs, la cellule de synthèse externe, sous-traitée par la maîtrise d'ouvrage, a pris un rôle très important en tant que lien

entre la maîtrise d'œuvre et les entreprises pendant la phase d'exécution. Cette entité a fonctionné comme une charnière (voir Figure 17) entre les concepteurs et les entreprises car elle est arrivée à pacifier les négociations et les interactions. Un bon travail de synthèse réduit les problèmes en cours de chantier. Nous avons interviewé la cellule de synthèse car elle devient un point-clé dans la compréhension des dynamiques des acteurs dans un projet BIM pendant la phase d'exécution. Le travail de recherche d'E. Cristia sur les réunions de chantier dans un projet BIM le confirme (Cristia, 2020). Durant la phase de construction, le BIM manager et la maîtrise d'ouvrage partageaient les mêmes enjeux étant donné qu'ils faisaient partie de la même organisation. Les extraits des entretiens menés sur la phase de construction indiquent que ce changement de situation a permis de résoudre une grande partie des conflits survenus lors de la phase de conception :

Étude de cas 2	Phase construction	Entretien avec un intervenant de la cellule de synthèse	03/2022
C'est un projet qui a eu des problèmes de synthèse comme tous les autres, mais il n'a pas été spécialement problématique surtout par rapport au BIM. Je sais qu'il y a eu des problèmes de géoréférencement pendant la conception mais en exécution tout marchait plutôt bien, je n'ai pas de mauvais souvenirs, les projets sur lesquels j'ai travaillé après ont été tous bien pires... les maquettes étaient toutes très bien modélisées aussi dans tous les niveaux, j'ai vu des maquettes qui n'avaient pas tous les niveaux modélisés dans d'autres projets mais pour ce projet, les maquettes étaient complètes.			

Étude de cas 2	Phase construction	Entretien avec le responsable des opérations préalables à la réception de l'agence d'architecture	03/2022
Je ne me souviens plus très bien quand le changement de BIM manager a eu lieu, car je me consacrais uniquement au chantier. Il est vrai que lorsque je suis arrivée, tout était déjà bien au carré sur le chantier et il y avait peu de problèmes de BIM. D'autre part, dans ce projet, je parlais beaucoup avec ceux qui faisaient la synthèse technique parce que je faisais partie de la synthèse architecturale, ils recevaient et compilaient les modèles et les plans de tout le monde. J'ai assisté aux réunions et je dois dire que tout était très bien compilé et organisé.			

Enfin, un aspect intéressant lié à l'absence du BIM manager dans la phase de conception est qu'il nous a lui-même confié lors des entretiens qu'il se sentait déconnecté de la maîtrise d'œuvre :

Étude de cas 2	Phase conception	Entretien avec le BIM manager	04/2019
Les principales problématiques étaient plutôt liées au fonctionnement des équipes. Normalement, on était censés faire des points ensemble, le coordinateur d'études qui avait la mission de présynthèse avec moi, BIM manager. Mais finalement nous n'avons pas fait trop d'échanges alors que normalement ça aurait dû nous rapprocher. Ce que j'ai constaté après c'est que, comme on n'était pas dans le même bureau, il y avait un éloignement physique. On s'appelait de temps en temps mais c'était assez déconnecté, et cela engendrait des problèmes : je n'étais pas au courant des sujets et des problématiques du projet, ni de la présynthèse, et parfois je ne comprenais pas les échanges entre l'architecte et le BE structure par exemple, parce que je n'étais pas forcément au courant. La présynthèse était faite par eux mais je n'étais pas physiquement avec eux, j'étais externe. Si c'était à refaire je ne le ferais pas comme ça. Pour moi, j'aurais mis dans le même paquet les deux missions ou bien travailler tous sur un même plateau. Je l'ai fait une fois et cela marchait bien parce que les gens se parlent même s'ils viennent d'entités différentes [...]. Dans d'autres projets tout le monde est sur le même plateau et cela marche bien, en revanche ici les concepteurs sont séparés du BIM manager et il y a moins d'échanges.			

Ce dernier extrait d'entretien montre que le BIM manager se sent détaché du projet et évoque une situation idéale dans laquelle tous les intervenants travaillent sur le projet sur un même plateau. Dans ce cas-là, son absence n'est pas volontaire à l'origine, mais la configuration du système d'acteurs pendant cette phase a provoqué un éloignement du BIM manager de l'équipe de concepteurs. Cette problématique a été attribuée par le BIM manager au « fonctionnement des équipes ». Cette notion de fonctionnement et d'organisation des équipes se rapproche des sciences de gestion et des critiques de L. Garreau sur le manque de sens dans le fonctionnement des équipes de construction (Garreau, 2010) ; un mauvais choix de l'entité portant le rôle de BIM manager a eu finalement des conséquences sur les relations entre les acteurs et l'introduction des informations. Ce n'est pas une coïncidence que le positionnement du BIM manager au sein du projet soit devenu un sujet récurrent dans les entretiens. Cependant, même si tous les acteurs se posent la question, personne n'a vraiment de réponse fixe : cela relève du projet et de la personne en charge de la mission BIM manager. L'hétérogénéité des systèmes d'acteurs qui émergent de chaque projet de construction rend difficile la standardisation des organigrammes de projet, et illustre encore une fois la nature unique et non reproductible de ce type de projets expliquée par B. Gilligan et J. Kunz (Gilligan & Kunz, 2007).

1.5.2. Facteurs conditionnant les rapports de pouvoir dans les études de cas

À partir de l'analyse des systèmes d'acteurs des deux études de cas, ont été identifiées deux questions qui conditionnent les rapports de pouvoir dans les processus de négociation dans chaque projet de construction BIM : qui est l'entité qui porte la mission du BIM manager ? De quelle entité viennent les demandes informationnelles ?

L'organisme dans lequel le BIM manager opère va conditionner l'introduction de l'information de la maquette. Dans la première étude de cas, le BIM manager a fait de la surcharge de travail des architectes une question centrale, parce qu'il est personnellement concerné. Nous avons observé que si la demande de saisie d'un type de données vient du maître d'ouvrage ou du BIM manager, et non des autres concepteurs, la démarche sera facilitée par le fait que les principaux arbitrages sont effectués par le BIM manager et par le maître d'ouvrage. Dans ce contexte, B. Abbasnejad soutient que le BIM manager, en tant que leader organisationnel officiel dans la démarche de mise en œuvre du processus BIM, aura la possibilité d'exploiter son pouvoir et ses mécanismes de contrôle pour surveiller et ajuster les structures organisationnelles selon ses intérêts (Abbasnejad et al., 2021).

Par ailleurs, le rôle et le pouvoir du BIM manager sont aussi en lien avec ses compétences. Les compétences BIM et les compétences par métier sont aussi déterminantes dans les rapports de pouvoir : cet aspect est mis en valeur par les travaux de recherche qui portent sur le BIM et l'enseignement qui cherchent à établir les compétences BIM des acteurs (Botton & Forgues, 2017) (Boutros & Ireman, 2017). Détenir ces compétences détermine la capacité de décision et la prise de responsabilité au sein d'un projet BIM. Les compétences BIM de chaque acteur déterminent aussi qui porte le rôle de BIM modelleur et de BIM coordinateur au sein de chaque entité.

Il est possible que le type de formation ou le métier d'origine du BIM manager exerce également une influence sur sa façon de gérer les enjeux informationnels du projet. Dans ce contexte, R. Teulier met en avant l'émergence d'une « confrontation de compétences » qui offre aux acteurs du projet la possibilité d'observer les négociations et les échanges sous différents angles (Teulier,

2017). La spécialisation des métiers de la construction conduit à l'émergence de solutions variées mais aussi à des divergences qui soulignent l'importance des relations interprofessionnelles et des compétences en coordination pour le BIM manager désireux de gérer efficacement le projet (Biau, 2018 ; Evette, T., 2001). Ces compétences sont nécessaires pour comprendre les besoins de l'ensemble des acteurs et créer un dialogue accessible à tous les intervenants du projet visant la collaboration.

1.5.3. Coordination, coopération ou collaboration ?

Bien que les documents de lancement de projet BIM, tels que le cahier des charges ou le protocole, aient pour objectif d'établir un processus de collaboration, nous avons constaté que la configuration du système d'acteurs est complexe et spécifique à chaque projet, et que la communication entre les acteurs n'est pas toujours garantie dans la pratique. Dans les projets analysés, il s'avère que la négociation par rapport aux questions informationnelles n'est plus de l'ordre de la coopération, mais de la coordination non coopérative. Dans ces études de cas, ainsi que dans la plupart des projets dans lesquels nous avons intégré l'observation participante, l'équipe globale d'acteurs du projet (maîtrise d'ouvrage, économistes, architectes, bureaux d'études techniques, exploitants, etc.) n'envisage pas un même but, même si les objectifs et cas d'usage décrits dans le cahier des charges sont à respecter par tous les intervenants. Dans le cas du lycée par exemple, il a été constaté que pour l'agence d'architecture, la demande du bureau d'études environnement n'était pas prioritaire. C'est une situation de coordination non coopérative qui apparaît souvent dans les projets de construction en BIM analysés. T.W. Malone et K. Crowston expliquent la nécessité d'associer la coopération aux études sur la coordination interdisciplinaire (T. W. Malone & Crowston, 1994). Dans la coopération, tous les acteurs intègrent dans leur problématique les besoins des autres (T. Malone & Crowston, 2003). Pourtant, dans les situations analysées, les enjeux et les besoins des différents concepteurs divergent et cela soulève des obstacles dans un processus basé, en théorie, sur la collaboration. En effet, puisque la collaboration représente un processus de coordination d'une action coopérative, comme l'indique S. Levan dans « Management et collaboration BIM » (Levan, 2016), si les acteurs ne parviennent pas à travailler de façon cohérente par la mise en commun de leurs enjeux, la collaboration n'est pas atteinte.

Le niveau de collaboration dans un projet en BIM dépend de la mise en commun des besoins et intérêts informationnels de l'ensemble des acteurs. M. Pastracu, dans son article sur la propagation du collaboratif en tant qu'« idiologie », explique comment cette collaboration n'est pas toujours atteinte dans les projets BIM (Patrascu & Hémont, 2019). L. Sattler partage également ce point de vue en soulignant un manque de collaboration satisfaisant dans les projets BIM, et préconise l'utilisation de requêtes comme moyen de liaison entre les parties prenantes pour améliorer leurs échanges (Sattler et al., 2020).

Un projet BIM représente une démarche de coopération plus collaborative quand chaque acteur du projet fait l'effort de mutualiser ses propres enjeux et besoins informationnels avec ceux du reste des intervenants, afin de favoriser le bon déroulement du projet. Plusieurs recherches récentes portent sur l'analyse de la collaboration dans les projets BIM en France. C'est le cas de S. Ben Rajeb qui a développé la définition de ces termes pour le travail de conception en BIM à la suite de son travail avec le *Sharelab* (Ben Rajeb & Leclercq, 2019) (Calixte et al., 2019) (Tahrani et al., 2017). Dans ses publications, S. Ben Rajeb présente la collaboration comme un processus qui va au-delà de la mise en commun des enjeux. Il s'agit plutôt d'un processus de co-conception dans lequel les tâches et missions sont partagées et mutualisées parmi les acteurs. Cependant, la notion de « collaboration » présentée par d'autres chercheurs – comme S. Kubicki – est plus informelle et appuyée sur l'idée que celle-ci est plutôt le résultat d'une action collective contrainte par l'interdépendance des acteurs du projet (Botton & Kubicki, 2014). S. Kubicki introduit en 2006 la notion de « coordination flexible » de l'activité de construction (Kubicki, 2006). Par conséquent, la terminologie utilisée pour définir le degré de collaboration ou coopération dans un projet en BIM n'est pas fixée. Dans ce cadre, nous nous focalisons sur la mutualisation des enjeux en tant qu'action collaborative et qui se présente comme un aspect crucial à développer dans les projets en BIM qui visent la création d'une base de données exploitable.

D'autre part, dans la littérature scientifique, le BIM est souvent présenté comme une réponse pour optimiser les processus d'organisation, et il est censé réduire les risques associés à l'action humaine en tant que technologie qui facilite la collaboration au sein d'un projet (Chaudet, 2020a; Levan, 2016). Cependant, cette volonté de pousser le BIM vers la rationalisation et l'idéalisation organisationnelle est héritée, selon J.-L. Bouillon, des dynamiques contemporaines

des nouvelles technologies de l'information (Bouillon, 2015). Dans les projets BIM, cette rationalisation est cristallisée par des spécifications, des accords, des protocoles, etc. qui augmentent la charge de travail informationnelle et changent encore plus la méthodologie de travail. Néanmoins, actuellement, l'application effective de ces méthodes n'est pas entièrement accomplie et de nombreuses recherches soulignent les déficiences en termes de qualité de l'information dans les maquettes BIM ainsi que les défis liés à l'extraction de données de ces modèles pour les évaluations économiques et les simulations (Cann et al., 2022; Choi et al., 2020; Fang et al., 2022).

Les problèmes de qualité des informations ont un effet de cascade sur l'ensemble du système d'acteurs. Dans le cas d'étude du lycée, la problématique rencontrée par le bureau d'études est d'ailleurs partagée par l'économiste. Quand l'économiste a eu besoin d'extraire les quantitatifs des matériaux depuis la maquette numérique, il a dû combiner cette extraction avec l'obtention de quantitatifs et métrés faits à la main à partir des plans. Dans l'étude de cas des bureaux, il s'agit d'une problématique organisationnelle partagée par tous les intervenants de la phase conception qui ressentent un éloignement entre les acteurs et des difficultés de communication. Cela conduit à une méfiance vis-à-vis de la fiabilité des maquettes, alertant d'une absence de coordination en interne du projet. En conclusion, l'optimisation organisationnelle à travers l'utilisation du BIM ne peut pas être atteinte si les protocoles ne sont pas clairement définis et si chaque acteur, spécialement le BIM manager, ne réalise pas ses tâches associées.

Un autre problème qui émerge dans les problèmes de collaboration en BIM est celui de la propriété intellectuelle, analysé par M. Lefauconnier sous l'angle du droit dans la publication « Le BIM éclairé par la recherche » (Riss et al., 2017), qui traite le droit d'auteur mais aussi le droit des acteurs sur la base de données. Ainsi, M. Darabseh et J. Martins proposent d'approfondir les procédures et techniques de protection de la propriété intellectuelle, par exemple en utilisant les technologies de *blockchain*²⁹ (Darabseh & Martins, 2021). Lors de l'observation participante au sein de l'entreprise, ce sujet apparaît de manière récurrente, notamment du fait de la récupération par les entreprises de construction des fichiers natifs ou modifiables livrés par les bureaux d'études en phase conception. Le partage de fichiers modifiables est accepté entre les acteurs de la MOE tandis que le partage de documents natifs

²⁹ La *blockchain* est une des solutions actuelles les plus prometteuses pour une technologie de stockage et de transmission d'informations sécurisée (Nam Nguyen et al., 2021).

entre les phases de conception et de construction est souvent problématique. Un exemple des difficultés existantes sur le partage de documents est illustré dans l'extrait d'un compte rendu de réunion sur le positionnement vis-à-vis de la propriété intellectuelle, dans un projet géré avec BIM 360³⁰. Ce compte rendu intitulé : « *Protection de nos développements internes REVIT. Constat : Demande des BIM managers / MOA de communiquer nos fichiers natifs REVIT lors des rendus !* » décrit un problème concernant : « *Le fait de transmettre nos fichiers natifs REVIT partage également tous les développements réalisés ces dernières années*³¹. » Dans ce type de situations, les concepteurs ressentent qu'ils partagent non seulement la maquette numérique mais également leurs compétences, ce qui crée une atmosphère de concurrence envers les autres entreprises. Pourtant, comme l'explique F. Le Roy, les recherches actuelles montrent que plus une entreprise développe de relations de coopération et s'éloigne des dynamiques concurrentielles, plus elle augmente sa propension à l'innovation (Le Roy et al., 2013).

Étant donné que le développement de la modélisation des données du bâtiment (BIM) en est toujours à la « phase d'objet frontière », d'après la terminologie de P. Flichy qui désigne une période où une innovation est introduite dans la société mais pas encore stabilisée, les acteurs impliqués font face à un contexte réglementaire peu clair (Flichy, 2017). Les entretiens avec les architectes ont également révélé des inquiétudes concernant les responsabilités liées au modèle en tant que document contractuel. Pendant la phase de conception le BIM coordinateur de l'agence d'architecture du cas d'étude de l'immeuble de bureaux explique « *Le problème de la maquette c'est qu'elle n'est pas une pièce marchande et c'est parce qu'elle n'est pas modélisée et renseignée « partout*³² », n'est pas un objet fini ». Ensuite, le BIM manager de l'agence d'architecture du projet du lycée expliquait lors de l'entretien : « *en fait côté informationnel, l'agence d'architecture n'a pas trop de poids pour exiger*³³. »

L'ouvrage « Le BIM sous l'angle du droit » alerte sur l'absence de réglementation dans les projets BIM en France (Bellenger & Blandin, 2019). Cette absence est due en grande partie au fait que le gouvernement a choisi d'accompagner les acteurs du monde de la construction dans

³⁰ Plateforme de collaboration utilisée dans les projets en BIM développée par AUTODESK.

³¹ Extrait d'un compte rendu de réunion du Bureau d'études Techniques le 02/2022

³² Étude de cas 2- Phase de conception- Entretien avec le coordinateur BIM de l'agence d'architecture en mai 2019.

³³ Étude de cas 1- Phase de conception- Entretien avec le BIM manager en mai 2019.

cette transition avec le plan PTNB puis le Plan BIM 2022, au lieu de l'imposer par la voie législative. Pourtant, l'absence de cadre juridique est source d'incertitude et de confusion dans les équipes de conception, de sorte qu'elles se sentent obligées d'imposer et d'insister sur leur propre positionnement lors du démarrage de chaque projet. En conséquence, la collaboration au sein des projets en BIM présente actuellement des freins issus de carences réglementaires, de la modification des processus organisationnels, et de problèmes liés à la mise en commun des enjeux et besoins informationnels de tous les intervenants.

1.5.4. Les conflits informationnels qui émergent pendant les négociations

Les enjeux et besoins informationnels des acteurs du projet sont une question-clé à développer et à prendre en compte dans chaque démarche BIM. L'importance de l'information dans ce type de projets fait que sa réussite et son bon déroulement sont conditionnés par la mise en commun des enjeux de tous les acteurs, leur nature et leur temporalité.

Comme le souligne D. Susniené, les enjeux et besoins sont également importants et la compétitivité du système d'acteurs dépend de leur accomplissement (Susniené & Vanagas, 2007). Dans les cas d'études analysés, les besoins correspondent aux demandes concrètes qu'un acteur fait à un autre, comme la demande des quantitatifs pour l'économiste ou des matériaux du bureau d'études environnement. Les enjeux, en prenant en compte les travaux de recherche de M. Brugidou et J. Itoua, représentent les choix ou préférences des acteurs au sein du projet, un ensemble d'intérêts informationnels qui vont orienter le développement du projet dans une certaine direction (Brugidou, 1985; Itoua, 2016). Il arrive que les exigences du client soient converties en besoins en information pour les acteurs chargés de satisfaire ces exigences. Par exemple, l'enjeu du client d'obtenir une certification environnementale peut se traduire en un besoin d'informations sur les caractéristiques des matériaux utilisés pour le bâtiment de la part du bureau d'études environnementales. Selon J. Itoua, la simplification de cette distinction repose sur la différence entre les choix des acteurs pour promouvoir un changement motivé par un intérêt dans le cas des enjeux, et la nécessité de répondre à un besoin.

Nous analysons les usages BIM du projet comme des enjeux car, selon D. Courbet, les objectifs se traduisent par des enjeux sur des cibles particulières, de la même manière que les objectifs BIM du client se traduisent par des usages BIM particuliers (Courbet, 2004). La liste des usages BIM dans le projet est également un moyen d'évaluer la maturité du maître d'ouvrage en fonction de la complexité des objectifs énoncés dans la liste. Les usages BIM permettent d'évaluer la maturité ou l'expérience. C'est dans cet esprit que M.-J. Rojas a établi le *BIM Use Assessment (BUA)*, un outil pour l'évaluation des usages BIM qui permet de compléter les analyses de maturité BIM (Rojas et al., 2019). Par exemple, si dans les usages BIM du protocole a été introduite « la maintenance des équipements », celle-ci est considérée comme un enjeu du projet. L'importance de la nature des enjeux réside dans la capacité à élucider, lors de l'analyse des entretiens, les motivations sous-jacentes aux choix des acteurs.

Les entretiens et documents liés aux projets (voir Annexe 3) montrent également un décalage entre les enjeux exprimés par les acteurs interviewés et ceux listés dans les différents documents contractuels, notamment les cahiers des charges BIM. Le problème de l'absence d'exigences d'informations concrètes chez le client est considéré par A. Dakhil comme essentiel pour la réussite du projet du point de vue du client (Dakhil et al., 2019). Si les clients ne sont pas sûrs de la formulation de leurs enjeux informationnels, ils ne parviendront probablement pas à les atteindre, comme le souligne C. Lheureux dans « BIM pour le maître d'ouvrage » (Lheureux, 2017). Ainsi, lors de l'analyse des cas d'étude et lors de notre démarche d'observation participante au sein de l'entreprise, nous avons constaté que certains cahiers des charges restent vagues sur les objectifs ou établissent une liste qui n'est pas discutée avec le reste des acteurs du projet et dont les prérequis ne sont pas atteints à la fin du projet.

Dans la première étude de cas, la liste utilisée dans le projet du lycée pour les usages BIM inclut l'usage BIM 7 du guide de rédaction d'une convention BIM de *Mediaconstruct et Building Smart France* (voir Annexe 3). Cet usage correspond à la réalisation des analyses environnementales, notamment sur l'empreinte environnementale et les analyses du cycle de vie à partir de la maquette numérique. Et pourtant, pendant l'analyse des négociations au sein du projet, nous avons constaté que cet enjeu n'était pas pris en compte par le BIM manager même si c'était un usage déjà défini par l'assistant BIM à la maîtrise d'ouvrage dans la rédaction du cahier de charges. Nous avons également observé que toutes les parties prenantes

du projet n'étaient pas réellement intéressées par la connaissance des usages ou des enjeux BIM du client : « *Pour l'exploitation, rien n'est officiel mais c'est sûr qu'ils vont s'en servir de la maquette je crois, mais je ne sais pas*³⁴ », « *Pour les enjeux avec la maquette, nous ne voyons pas qu'il y ait actuellement des enjeux BIM dans l'ACV et encore moins pour l'exploitation*³⁵. »

Le commentaire sur l'absence d'enjeux est intéressant car il existe un cahier des charges BIM depuis le début du projet, auquel toutes les parties prenantes ont eu accès, et qui est un document contractuel. Dans la deuxième étude de cas, nous avons constaté également un manque d'intérêt du BIM manager pour la mise en œuvre de la totalité des enjeux BIM du projet :

Étude de cas 2	Phase conception	Entretien avec le BIM coordinateur de l'agence d'architecture	05/2019
Pour nous, les enjeux BIM sont clairs et en plus ils sont dans les usages BIM [...]. J'ai rédigé la convention BIM et le cahier des charges BIM. La MOA avait demandé à une entité externe de rédiger un petit cahier des charges. Cependant nous n'avons pas tout fait. Par exemple, nous n'avons pas fait la modélisation du site existant, même si c'est indiqué dans les usages BIM du projet [...]. Pour les études analytiques avec la maquette, côté architecte et BE structure, je pense qu'ils l'ont fait... après je n'ai pas d'interface... c'est-à-dire, chaque acteur est libre de faire ses études comme il veut. [...] Nous n'avons pas fait non plus d'études réglementaires de sécurité et d'accessibilité à l'aide de la maquette. [...] Et pour la réalité augmentée et virtuelle, si on la fait, ce sera plutôt après.			

Par ailleurs, les usages ont été aussi reformulés pour la phase exécution et quelques-uns, comme la mise en place de la réalité augmentée et virtuelle³⁶, ont été supprimés (voir Annexe 3). La modification des objectifs BIM à partir de la phase exécution par des usages BIM moins détaillés et moins ambitieux a probablement favorisé un meilleur déroulement du projet pendant la phase de construction. Pendant cette phase, les parties prenantes expriment une plus grande satisfaction à l'égard du projet.

³⁴ Étude de cas 2 - Phase de conception - Entretien avec le BIM coordinateur de l'agence d'architecture en mai 2019.

³⁵ Étude de cas 1 - Phase de conception - Entretien avec le chef de projet du bureau d'études techniques en mai 2019.

³⁶ La réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV) sont deux outils utilisés pour améliorer la visualisation architecturale. Dans la RA, les utilisateurs font directement l'expérience de l'environnement physique et des objets virtuels intégrés dans l'environnement réel, tandis que dans la RV, l'expérience de l'environnement visuel (et parfois d'autres sens) est complètement irréaliste (A. Tang et al., 2004; J. Wang et al., 2014).

Dans ces projets, durant la phase de programmation, les documents BIM analysés sont axés exclusivement sur les enjeux de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitant, car les besoins des concepteurs, des entreprises de construction et même des futurs habitants ne sont pas pris en compte étant donné qu'ils ne font pas encore partie intégrante du projet. Ce décalage est précurseur des conflits qui ont lieu dans le projet au moment où un acteur demande à prendre en compte ses besoins informationnels pour réaliser ses études. L'enjeu de commencer le processus BIM en phase programmation et d'identifier les rôles, les missions, et les besoins des intervenants du projet n'est ni nouveau, ni exclusif de ce type de projets car il est présent dans les processus de management intégré. Selon H. Mesa, ces processus sont *l'Integrated Design Project* développé par le Project Management Institute (PMI) et *l'Integrated Project Delivery* ; ils soutiennent l'idée que la gestion du projet démarre en phase de programmation et intègre la totalité des intervenants, leurs tâches et besoins (Farias, 2013; Mesa et al., 2019). Cependant, comme l'a observé D. Forgues, ces processus de conception intégrée sont parfois principalement axés sur des objectifs économiques et managériaux de réduction des coûts (D. Forgues et al., 2017). Ainsi, la création de la base de données du bâtiment à partir de ces processus de gestion peut mener à ce que sa structure et son contenu soient fondamentalement orientés vers des intérêts économiques focalisés sur une production efficiente.

De plus, dans le cas du lycée, ainsi que dans d'autres projets analysés lors de l'observation participante, nous constatons une tendance dans le contenu des usages BIM vers des questions environnementales. Dans son travail de recherche, E. André propose le BIM comme un agent facilitant les démarches de développement durable dans la construction (André et al., 2020). Il existe une tendance à associer le BIM avec le cycle de vie du bâtiment et la construction durable, puisque le côté informationnel de cette nouvelle façon de concevoir permet d'établir le lien entre toutes les phases de vie du bâtiment. Cependant, même si la prise en compte de la notion du cycle de vie permettrait une vision plus globale et plus durable de la continuité de l'information dans le projet, il a été constaté que le cycle de vie du bâtiment n'est pas toujours une priorité pour les acteurs. Lors de l'implémentation de processus de gestion, il est facile pour ces derniers de négliger la donnée qui est introduite et les implications informationnelles qui peuvent en découler. Il est crucial de considérer les enjeux du projet sous un angle sociologique et environnemental plutôt que purement managérial, en se posant des questions sur le type de

données à renseigner, les moments opportuns pour le faire, les raisons sous-jacentes, ainsi que les conséquences potentielles et les opportunités liées à la création de ces bases de données.

Dans le chapitre suivant, nous analyserons comment identifier les enjeux et les besoins informationnels du projet à partir de l'analyse de la base de données des maquettes qui selon leur nature (énergétiques, économiques, de maintenance, etc.) sont plus spécifiquement attachés à un ou plusieurs acteurs du projet. Ici, la maquette numérique fait l'objet d'une analyse documentaire spécifique, à partir des extraits en forme de tableurs des informations des objets du projet (équipements, portes, murs, espaces, etc.), qui sera développée dans le chapitre 2.

Conclusion

Bien que l'objectif des projets BIM soit généralement de favoriser un processus de collaboration, nos observations ont mis en évidence que la coopération entre les acteurs n'est pas toujours atteinte. Les études de cas ont montré que les manques de collaboration qui conduisent à des ruptures informationnelles sont souvent associés à des problèmes de communication entre les différentes parties prenantes. La communication des besoins, des enjeux et des conflits rencontrés par les acteurs du projet est tout aussi importante que la transmission des données des maquettes numériques. Ainsi, la qualité des rapports et des échanges entre les acteurs a une influence sur la précision et la fiabilité des informations incorporées dans les maquettes numériques. Nous avons identifié deux obstacles du contexte qui peuvent entraver la qualité des rapports entre les acteurs : le manque de compétences et la difficulté à standardiser les processus BIM. Ces deux aspects sont influencés par la situation actuelle du BIM dans la phase « d'objet-frontière », où la technologie est implantée mais pas encore stabilisée, où le cadre réglementaire n'est pas entièrement défini – par exemple en matière de propriété des données –, et où la réglementation existante n'est pas connue de tous les acteurs. En outre, certaines tâches peuvent devenir une surcharge de travail car elles ne sont pas prévues. Tous les projets ont des particularités substantielles et tous les acteurs ne maîtrisent pas encore la gestion temporelle liée à l'introduction d'informations dans les objets modélisés.

Pour les intervenants qui assurent la modélisation de la maquette numérique, il est indispensable de classer et de standardiser les données des éléments qu'ils modélisent et de saisir leurs données pour permettre aux autres acteurs de les récupérer et d'effectuer leurs analyses. La mutualisation des enjeux et besoins est devenue une nécessité pour appréhender les besoins des autres parties prenantes lors de l'élaboration de bases de données exploitables dès les phases de conception. Dans ce contexte, la mise en œuvre de projets qui adoptent des méthodologies de gestion intégrée répondrait simultanément aux besoins de création de bases de données exploitables dès la phase de conception, tout en répondant aux exigences économiques du client. L'identification précoce des enjeux faciliterait l'acquisition et le stockage des données du bâtiment, permettant la mise en place d'un processus plus structuré et efficient, réduisant ainsi potentiellement les risques d'erreurs lors de la phase de construction ultérieure. Afin de favoriser la continuité informationnelle entre les acteurs, la formation des collaborateurs qui ne modélisent pas directement la maquette numérique devient également un besoin dans les projets en BIM. La montée en compétences de tous les acteurs favorise la mise en place des négociations plus équilibrées car les acteurs qui ont intérêt à récupérer des informations de la maquette partent ainsi d'un niveau de connaissances plus uniforme. La compréhension des besoins des autres acteurs, du type d'informations qu'ils peuvent demander d'introduire, et du niveau de difficulté de ces renseignements, pourrait renforcer la communication parmi les acteurs du projet de construction. Par conséquent, l'élaboration de documents avec leurs besoins, tels que le cahier des charges BIM sur l'analyse de cycle de vie, serait bénéfique en permettant aux autres parties prenantes de comprendre ces besoins dès le début du projet. Les figures du BIM manager ou de l'assistant BIM au maître d'ouvrage sont souvent chargées de compenser ce manque de compétences, mais il est incertain de savoir comment leur mission évoluera et si elle sera toujours nécessaire une fois que tous les acteurs, y compris le client, auront acquis les compétences nécessaires. Actuellement, en raison de sa position au sein du réseau d'acteurs et de ses compétences, le BIM manager dispose d'un grand poids décisionnel. Du point de vue de la structure de réseau créée au sein du système d'acteurs, nous avons constaté que le BIM manager occupe actuellement une position centrale, étant connecté à presque tous les acteurs. Ainsi, les actions entreprises par le BIM manager ont toujours un impact majeur sur l'ensemble du réseau, et son absence peut déstabiliser tout le système. Bien que leur rôle ne soit pas défini de manière uniforme, nous avons observé que le BIM manager peut avoir un poste en tant que tel dans certains projets, tandis que dans d'autres cas, il s'agit

simplement d'une mission temporaire. Cette variabilité peut entraver l'établissement du rôle de BIM manager en tant que métier consolidé.

Finalement, dans ce chapitre, nous n'avons pas pu approfondir la nature des enjeux BIM des projets analysés. En théorie, les usages BIM du projet établis par le BIM manager devraient faciliter l'identification des enjeux informationnels. Cependant, dans l'analyse documentaire et les entretiens que nous avons menés lors de l'analyse des études de cas, nous avons pu constater que les usages du BIM ne sont pas enrichis par les parties prenantes et souvent, ne sont pas atteints. Nous faisons l'hypothèse que la mise en valeur et l'enrichissement des usages BIM permettrait d'améliorer la communication entre les acteurs, de faciliter les négociations et d'éviter une partie des ruptures informationnelles. Le chapitre suivant comportera une analyse de la nature des enjeux, ainsi que des informations prioritaires ou nécessaires pour les parties prenantes impliquées dans le projet.

2. La maquette numérique comme vecteur des enjeux et besoins des acteurs

Nous considérons que la compréhension des défis informationnels auxquels sont confrontés les acteurs peut favoriser la continuité de l'information entre les différentes phases, en permettant de relier les intervenants impliqués tout au long du projet. Ces défis peuvent être identifiés à travers des entretiens, mais aussi en analysant les maquettes numériques. Lors de l'analyse des entretiens et des processus de négociation informationnels qui se déroulent pendant la conception et la construction de projets BIM, nous avons observé que les enjeux des acteurs dépassent les seules questions techniques. Afin de vérifier si cette observation se reflète également dans l'élaboration de la base de données des maquettes numériques, ce chapitre a pour objectif d'étudier le type d'information introduit par chaque acteur, ainsi que les raisons qui motivent leurs choix.

Selon D. Hamani, « *les informations utiles à la mission d'un intervenant peuvent être extraites selon son profil adaptatif*³⁷ » (Hamani, 2005). Cette citation, extraite d'une thèse portant sur la création d'un modèle conceptuel de données pour les bâtiments, suggère que les différents acteurs impliqués dans le projet ont des missions spécifiques, chacune étant liée à des informations relatives à leur métier respectif. En conséquence, les acteurs ont des exigences et des intérêts informationnels diversifiés, qui se traduisent par la sémantique qu'ils emploient. Comme l'a décrit C. Eastman, « *une façon de comprendre la conception est de la traiter en termes d'information. Un concepteur transforme un problème de conception en une solution en appliquant des opérations, en utilisant des critères sémantiques pour le guider*³⁸. » (C. M. Eastman, 1980a). Nous supposons ainsi qu'en étudiant le traitement de l'information et les critères sémantiques des acteurs, il sera possible de mieux appréhender le processus de conception de ce type de bâtiments et les contraintes auxquelles il est soumis.

³⁷ Citation extraite de l'ouvrage : « Un système d'information pour le bâtiment - Élaboration d'un modèle conceptuel de données pour les ouvrages façonnés en place issus de la production de bâtiment » où l'auteur explique qu'un profil adaptatif est créé dans l'outil pour chaque type d'intervenant.

³⁸ Traduction d'un extrait de l'article *Information and databases in design : A survey of uses and issues in building design* (C. M. Eastman, 1980a)

Le deuxième chapitre est dédié à l'examen du processus d'intégration des données du bâtiment dans les maquettes numériques, ainsi qu'aux intérêts, besoins et préoccupations des différents acteurs qui se manifestent au cours de ce processus. Les résultats montrent que les enjeux et besoins des acteurs, qu'ils soient économiques, environnementaux, réglementaires ou autres, sont reflétés dans la création de la base de données de la maquette numérique. Cette analyse complémentaire à celle du premier chapitre permet de mieux comprendre les pratiques de construction du bâtiment avec des outils BIM et les enjeux des acteurs impliqués. Pour analyser la base de données du point de vue des acteurs, une grille de classification a été élaborée afin de caractériser l'information en fonction de leurs enjeux et besoins. La compréhension des intérêts des acteurs joue un rôle crucial dans la résolution des problèmes de discontinuité informationnelle entre les différentes phases et intervenants impliqués.

2.1. La classification de l'information dans les projets de construction

Ce chapitre commence par une analyse des classifications existantes et des travaux de recherche des années 1980/1990 sur la structuration des données du bâtiment, ceci dans l'objectif de trouver un moyen de classer, d'analyser et de qualifier les grandes quantités de données qui sont stockées dans les projets BIM, afin qu'elles puissent nous aider dans l'analyse des ruptures informationnelles rencontrées dans les études de cas.

2.1.1. La structuration de l'information dans le secteur de la construction en France et à l'étranger

Selon A. Picon, après la révolution industrielle, et en particulier après la Seconde Guerre mondiale, la quantité d'informations à gérer sur les produits était telle que la normalisation est devenue nécessaire (Picon, 2010, 2014). Ainsi, chaque secteur a développé et établi ses propres normes et classifications à partir des années 1950, conduisant à l'émergence des normes ISO et d'autres classifications des données du bâtiment.

Dans le domaine de la construction, la première norme ISO de référence sur la classification des données du bâtiments est la norme ISO 12006-3 (ISO, 2007). Pour Afsari et Eastman, cette norme ISO 12006-3 fonctionne comme un support pour les systèmes de classification les plus courants de nos jours : Unifomat, Uniclass et Omniclass (voir Figure 18) (Afsari & Eastman, 2016).

ISO 12006-2	UNICLASS 2015	OMNICLASS 2006/2018	UNIFORMAT II
A.2 – Information de construction	Information de forme	Table 36 – Information	-
A.3 – Produits de construction	Pr – Produits	Table 23 – Produits	-
-	-	Table 41 – Matériaux	-
A.4 – Agents de construction	-	Table 33 – Disciplines	-
-	-	Table 34 – Rôles organisationnels	-
A.5 – Aides à la construction	TE – Outils et équipement	Table 35 – Outils	-
A.6 – Gestion	Pm – Gestion de projet	Table 32 – Services	-
A.7 – Méthodes de construction	-	Table 31 – Phases	-
A.8 – Construction de complexes	Co – Complexes	-	-
A.9 – Entités de construction	En – Entités	Table 11 – Entités par fonction	-
-	-	Table 12 – Entités par forme	-
-	Ac – Activités	-	-
A.10 – Espaces construits	SL – Espaces/ Emplacement	Table 13 – Espaces par fonction	-
-	-	Table 14 – Espaces par forme	-
A.11 – Éléments de construction	EF – Éléments / Fonctions	Table 21 – Éléments	Substructure, Shell, Interiors, Services, Equipment and furnishing, special construction and demolition, building sitework
-	Ss – Systèmes	-	-
A.12 – Résultats des travaux	-	Table 22 – Résultats des travaux (MasterFormat)	-
A.13 – Propriétés de la construction	-	Table 49 – Propriétés	-

Figure 18 Catégories informationnelles dans les classifications internationales (Autodesk, 2016)

Cependant, les catégories de ces classifications sont focalisées sur des aspects purement techniques et organisationnels, et ne répondent pas aux intérêts et aux préoccupations des acteurs. De son côté, la norme ISO 23386 est issue du projet POBIM (propriétés des objets BIM) du PTNB (plan de transition numérique du bâtiment) porté par AFNOR. Il s'agit de l'un des plus importants travaux sur le BIM en France, réalisé avec 33 groupes de travail, et qui a produit un dictionnaire recensant les propriétés et modèles d'objets BIM³⁹. Cette norme est basée sur la norme française PPBIM/XP P07-150 (propriétés des produits BIM) de 2014, une norme expérimentale dont il n'existait pas d'équivalent à l'échelle internationale. L'objectif principal de ce projet était d'effectuer le recensement de toutes les propriétés nécessaires pour définir chaque objet, mais d'une manière purement technique, sans tenir compte de l'acteur qui l'a introduite. Cependant, dans la classification IFC, les classes IFC font référence à tout élément du projet et sont habituellement subdivisées par discipline (structure, électricité, plomberie, etc.), comme l'indique X. Wang dans son étude sur les échanges d'informations entre les disciplines (X. Wang et al., 2015). Néanmoins, la division par discipline est trop technique et ne prend pas en compte les enjeux ou les besoins des acteurs.

Dans le contexte réglementaire actuel, la norme ISO 19650 présente une approche commune de la gestion de l'information afin de garantir une norme de qualité pour les processus numériques, améliorer les méthodologies de travail et réduire les coûts et délais de construction. Cette norme est basée sur la question de l'information d'un point de vue organisationnel. Pourtant, la norme ISO 12006 est une norme spécifique sur les classifications. La norme ISO 12006 identifie un ensemble de catégories de classifications recommandées pour les paramètres des objets selon des points de vue particuliers : par exemple, par fonction ou par forme, similaires à celles de Omniclass ou Uniclass (Figure 18).

On observe que les travaux de recherche actuels sur le BIM sont basés sur les outils existants et que la classification des objets dans ces logiciels impose une structure aux données. Par conséquent, l'analyse du point de vue des acteurs ne semble pas être une priorité dans la classification des données du bâtiment aujourd'hui. Cependant, les travaux de recherche

³⁹ L'objectif de ce dictionnaire était de recenser les propriétés utiles pour définir chaque objet. Exemple : pour définir une porte, nous avons besoin de la largeur de passage, des propriétés du matériau, etc. Le projet a eu pour résultat la constitution d'une bibliothèque de 301 objets et 3100 propriétés.

antérieurs sur la modélisation des données du bâtiment pourraient fournir des informations précieuses.

2.1.2. Les travaux de recherche sur les données du bâtiment

Dans le point précédent, nous avons examiné les catégories de ces classifications pour identifier les classes qui répondent aux besoins ou aux préoccupations des parties prenantes du projet. Cependant, les recherches actuelles sur la classification des données portent sur les outils BIM existants, les normes internationales et les formats d'interopérabilité. Par conséquent, afin d'identifier la nature des données et de la mettre en relation avec les préoccupations et les intérêts des acteurs, il a fallu chercher les catégories qui structurent les classifications et qui ont été développées à l'origine de la conception assistée par ordinateur. Ces classifications plus primitives ont permis aux architectes et ingénieurs de développer les premiers outils en répondant aux besoins spécifiques des acteurs. La plupart des études sur la structuration des données du bâtiment en France et à l'étranger (C. M. Eastman, 1980b; Ferries et al., 1985 ; Ferries & al., 1991) ont été menées dans les années 1980 et 1990 par des chercheurs qui tentaient de développer des outils permettant le développement de la conception assistée par ordinateur. En 1991, B. Ferries développe une synthèse des modèles conceptuels de structuration des données développés en France ; et C. Eastman, aux États-Unis, un rapport en 1980 sur les applications des bases de données dans la conception et la notion de traitement de l'information. À partir de ces travaux, les chercheurs essayaient de structurer l'information des projets afin de développer des outils informatiques spécifiques pour chaque acteur. Pour développer les classifications nécessaires à la création de ces outils, ils devaient répondre aux questions suivantes : Quel type de données ? Qui va les utiliser ? Comment traiter ces données ? Etc. (Hamani, 2005) (Quintrand et al., 1985). Ce questionnement correspond aux interrogations de départ de cette thèse : Quel type de données trouvons-nous dans les projets en BIM ? Qui va les utiliser ? Comment et pourquoi ? C'est finalement à partir de ces travaux de recherche que nous avons pu trouver des exemples de manières de structurer l'information du point de vue des acteurs.

2.1.3. La relation entre l'information intégrée dans les maquettes numériques et les usages BIM

Les informations contenues dans les bases de données de construction proviennent souvent de sources multiples et hétérogènes et d'acteurs issus de domaines variés comme le démontrent les travaux de recherche de C. Eastman, pionnier dans les domaines de la cognition, de la conception et de la modélisation des informations du bâtiment (Afsari & Eastman, 2014) (C. M. Eastman, 1999). En conséquence, un même projet peut aboutir à différentes bases de données en fonction des intérêts et besoins des acteurs en charge. Grâce à la base de données du bâtiment, ces informations sont créées et reliées à la géométrie du bâtiment. Dans un projet traditionnel, un groupe d'acteurs produit un bâtiment alors que dans un projet BIM, les acteurs produisent deux extrants : le bâtiment lui-même, et une base de données liée à la géométrie numérique du bâtiment.

Par ailleurs, chacune des phases du projet (conception, construction et exploitation) peut inclure un ensemble différent d'acteurs qui ont besoin d'informations spécifiques. Par exemple, pendant la phase de construction, le code et l'emplacement de tous les éléments structurels sont extraits de la base de données. Cependant, ces informations deviennent moins pertinentes pendant la phase d'exploitation. En fait, à chaque étape du processus de construction, les acteurs changent et par conséquent, les besoins et les intérêts aussi. Nous verrons dans ce chapitre que la continuité informationnelle entre les phases est à remettre en cause, puis à quels moments les usages BIM et les bases de données changent.

Les usages BIM, comme nous l'avons observé dans les deux études de cas du chapitre 1, consistent en une liste incluse dans le protocole BIM. Comme présenté précédemment, ces usages définissent les principales raisons de travailler en BIM dans ce projet. Les usages sont très variés et en France, BuildingSmart France les a classés aussi par thématiques : usages de recueil, de génération ou modélisation, d'analyse, de communication ou de réalisation (BuildingSmart France, Mediaconstruct, 2021). Néanmoins, ces usages, encore une fois, ne répondent pas aux besoins de notre travail. Ils représentent les différentes tâches à accomplir tout au long du projet, selon le client, et indépendamment des enjeux des acteurs. Ces usages

ont tout de même été importants pendant l'analyse documentaire car ils révèlent les principales demandes du client.

Les usages BIM reflètent les exigences de la maîtrise d'ouvrage (MOA), cependant, dans certaines approches, la liste des cas d'utilisation est souvent standardisée avec peu de variations d'un projet à l'autre, car l'objectif principal est l'adoption du BIM en tant que nouvelle technologie tendance du marché. Cette dernière est étudiée par plusieurs chercheurs : H. Lindblad montre que la tendance du marché est promue par les clients comme des « acteurs de la transformation » qui veulent implémenter cette nouvelle technologie (Lindblad, 2019). Cet auteur demande aux clients d'établir des réseaux d'acteurs et essayer d'aligner leurs agendas en ce qui concerne les usages du BIM.

2.2. Une nouvelle classification de l'information selon les enjeux et besoins des acteurs

L'objectif de la nouvelle classification de l'information proposée dans ce chapitre est d'identifier les enjeux et besoins des différents acteurs impliqués dans un projet BIM. Dans le chapitre précédent, nous avons examiné la théorie de J. Itoua qui suggère que les enjeux sont liés aux choix effectués par les acteurs (Itoua, 2016), tandis que les besoins reflètent leurs exigences pour répondre aux attentes du projet. Au cours de l'analyse de la base de données, il peut être difficile de distinguer quelles informations sont liées aux enjeux ou aux besoins, mais même ces derniers, représentent des enjeux car ils visent à satisfaire les demandes du client. Dans ce cadre, nous cherchons à déterminer les informations d'intérêt pour chaque acteur impliqué, et en croisant ces données avec les résultats des entretiens semi-directifs, nous serons en mesure de mieux comprendre la nature de ces intérêts informationnels, et à quel acteur correspond chaque enjeu.

2.2.1. Une classification ancrée dans les origines de la Conception Assistée par Ordinateur

Dans le cadre de nos analyses, les catégories permettant de classer les enjeux et les besoins des acteurs ont été déterminées d'après une revue de la littérature des années 1980 et 1990, et plus précisément, le projet de B. Ferries⁴⁰: « Définition et validation d'un système de gestion de base de données spécifique au projet de conception-construction » (Ferries et al., 1985; Morand, 1994). Dans ce projet, B. Ferries – aujourd'hui, l'un des représentants de l'association internationale BuildingSmart France – et ses collègues ont proposé une catégorisation des caractéristiques des données dans les projets de construction. Après avoir mené des réunions avec les différents acteurs impliqués dans le projet, analysé leurs intérêts et besoins, ainsi que testé un logiciel de structuration des données du bâtiment, ce groupe de chercheurs a élaboré une méthode pour structurer l'information dans le contexte des projets de construction. Cette classification suggère que les informations se regroupent en caractéristiques dimensionnelles, fonctionnelles, économiques et techniques. Pour ces chercheurs, l'analyse des besoins des acteurs était essentielle pour leur fournir les outils logiciels les mieux adaptés à leurs tâches. La manière dont les chercheurs ont structuré les données du bâtiment peut s'adapter à l'analyse des projets BIM puisqu'elle est axée sur le flux d'informations nécessaire pour chaque type d'acteurs. Nous travaillons sur ce que ces projets produisent comme flux d'informations entre les acteurs, et ce type de classifications nous permet de caractériser les enjeux et besoins qui donnent lieu à ces échanges.

2.2.2. Les types de paramètres selon l'implication des acteurs

Dans les projets BIM, les informations associées aux objets de la maquette numérique peuvent être récupérées par le biais de paramètres attribués à ces objets. C. Eastman a défini les paramètres comme des constructions logiques qui peuvent être utilisés pour définir une classe de règles, qui peut ensuite être instanciée par une table (C. Eastman et al., 2009). Dans ce cadre, C. Park distingue deux types de paramètres : les « paramètres existants » et les «

⁴⁰ B. Ferries a également été membre du Groupe Structuration de Données (GSD), une équipe de chercheurs regroupant l'ensemble des personnes ayant travaillé entre 1985 et 1990 en France sur la création de modèles et de normes pour la structuration des données du bâtiment (Björk, 1992).

paramètres partagés », les seconds étant créés pour obtenir des informations particulières à chaque projet, et également appelées « paramètres spécifiques » dans son travail de recherche (C.-S. Park et al., 2017). De même, A. Deshpande, dans sa publication sur le système de gestion des connaissances fondé sur le BIM, explique qu'il faut faire la différence entre les informations correspondant aux paramètres par défaut et les informations des paramètres partagés (Deshpande et al., 2014).

Nous avons développé une méthode de catégorisation pour les données introduites dans les paramètres associés aux objets des maquettes numériques, dans le but de caractériser ces données. Cette catégorisation vise à caractériser les informations saisies par les acteurs selon leur niveau de difficulté d'introduction. Nous distinguons deux types d'informations groupées dans les paramètres « par défaut » ou « existants » du logiciel : les informations automatiques et les informations paramétrées. En outre, nous considérons un troisième type d'informations qui est intégré à partir des paramètres partagés – également appelés « paramètres spécifiques » par C. Park –, et qui doivent être introduits par les acteurs dans le projet. Nous appelons les informations contenues dans ces paramètres « informations spécifiques ».

- Les données automatiques sont produites mécaniquement par les logiciels BIM ; elles résultent de la modélisation et sont pour la plupart des données dimensionnelles, comme la longueur d'un mur ou la surface d'une chambre.
- Les données paramétrées sont constituées également des paramètres qui préexistent par défaut dans le logiciel BIM mais qui doivent être renseignés manuellement, comme le matériau d'un mur ou la fonction d'un espace.
- Pour le troisième type de données, à savoir les données « spécifiques », les paramètres ne sont pas préexistants dans le logiciel de modélisation (voir Figure 19). Les concepteurs les intègrent plutôt en utilisant des *plug-ins* ou en créant de nouveaux paramètres appelés « paramètres partagés ». Ceux-ci sont baptisés « *user-defined parameters* ou paramètres définis par l'utilisateur » par S. Kota dans ses études sur les données pour la simulation énergétique (Kota et al., 2014). Nous considérons que les données de ce dernier type mettent en évidence des problématiques pour lesquelles les acteurs investissent généralement plus de temps. Ces nouveaux paramètres sont accessibles à partir des documents réglementaires du projet BIM (protocole et cahier

des charges), en plus des « nomenclatures » (tables en format Excel structurant les données) qui ont été extraites du modèle d'information du bâtiment.

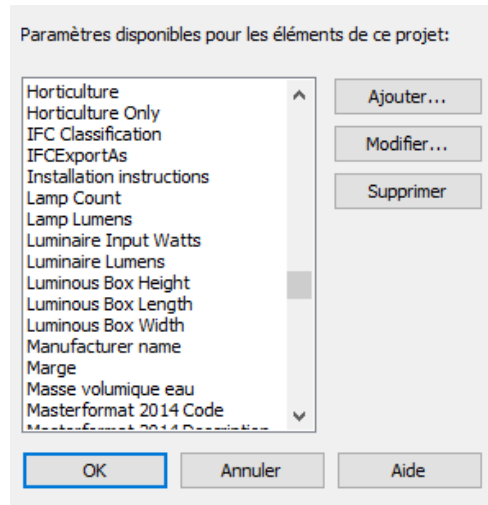


Figure 19 Liste de paramètres spécifiques à un projet concret dans la maquette de réseaux techniques

2.3. L'analyse des informations des maquettes numériques de 12 projets

Notre première analyse repose sur l'extraction de paramètres spécifiques de douze projets BIM afin d'étudier la base de données du bâtiment constituée par tous les acteurs pendant la phase de conception du projet de construction. Ces projets ont été choisis parmi les projets en BIM d'ALTO Ingénierie en phase conception et construction qui avaient produit au moins une maquette numérique architecturale, une maquette avec la structure, et une autre avec les réseaux techniques du bâtiment⁴¹. Au total, ont été extraits les paramètres spécifiques de plus de cinquante maquettes numériques. Les acteurs concernés par l'analyse sont les architectes, les bureaux d'études structure, les bureaux d'études techniques, les cuisinistes, les clients et les géomètres. La Figure 20 met en évidence les quatre paramètres spécifiques les plus fréquents dans les bases de données analysées, classés selon le type d'acteur :

⁴¹ Chaque projet BIM se compose de multiples maquettes numériques, chacune étant dédiée à un lot spécifique (comme l'architecture, l'électricité, la structure, le paysage, etc.). Ces maquettes peuvent être regroupées dans un même fichier ou à l'aide d'une plateforme collaborative ou d'un environnement commun des données.



Figure 20 Liste des quatre paramètres « spécifiques » les plus récurrents par acteur, extraite de l'analyse des maquettes numériques des douze projets

Cette analyse repose sur l'identification et la classification des paramètres spécifiques à chaque projet. Nous supposons que ces nouveaux paramètres reflètent les principaux enjeux du projet qui ne peuvent être pris en compte dans la maquette à l'aide des paramètres existants. Dans une première étape, les nouveaux paramètres ont été extraits et classés en fonction des catégories identifiées dans la revue de littérature des années 1980/1990, et notamment celles établies par B. Ferries : catégories technique, dimensionnelle, économique et fonctionnelle (Ferries et al., 1985). Les paramètres qui ne se conformaient pas à la catégorisation mentionnée précédemment ont également été pris en compte afin de la développer davantage et de proposer de nouvelles catégories. Par la suite, cette catégorisation a été employée pour identifier les enjeux et besoins des acteurs, en croisant les informations obtenues de l'analyse de la base de données des maquettes numériques avec celles issues de l'analyse des entretiens semi-directifs.

2.3.1. Une grille d'analyse de l'information et les nouvelles catégories d'information qui émergent

Pour réaliser l'étude de plus de quarante maquettes numériques, nous avons créé une grille d'analyse pour catégoriser les informations. Celle-ci permet de quantifier le nombre de paramètres spécifiques en fonction de la nature des enjeux et des besoins des acteurs. Comme la plupart des informations étaient de nature technique, cette catégorie a été divisée en trois sous-catégories comprenant les caractéristiques des éléments architecturaux, des matériaux, et des dispositifs et équipements.

Les informations qui n'entraient dans aucune des catégories de départ ont été regroupées, ce qui a conduit à la création de trois nouvelles catégories : informations réglementaires, informations administratives et informations géographiques, qui sont présentes aussi dans plusieurs publications sur les projets BIM :

- L'information réglementaire comprend toutes les informations relatives aux normes et règlements existants dans le domaine de la construction. Ce type d'information est étudiée par C. Preidel et A. Borrmann dans leurs travaux de recherche sur la vérification de la conformité à la réglementation dans les projets BIM (Preidel & Borrmann, 2018).
- Les informations administratives représentent toutes les informations relatives à l'organisation du projet, à l'identité et à l'organisation des intervenants et de leurs dossiers. I. Motawa dans ses publications sur le BIM en exploitation considère que ce type d'information est important car il contient des sections relatives aux processus BIM et aux informations du personnel et d'occupation (Motawa, 2015; Motawa & Almarshad, 2013). En conséquence, cette information qui est déjà présente pendant les phases de conception et construction semble également importante pour la gestion et l'exploitation des bâtiments.
- Enfin, les informations géographiques concernent l'emplacement, la topographie, ainsi que toute autre information relative au site et à la parcelle cadastrale où le bâtiment sera placé. Ce type d'information apparaît fréquemment dans les travaux de recherche qui essayent de connecter les projets BIM aux informations des quartiers ou à l'échelle du territoire (Kang & Hong, 2015; Ma & Ren, 2017).

Les résultats de l'étude des douze projets et de l'analyse des paramètres de plus d'une quarantaine de maquettes sont présentés ci-dessous dans la Figure 21:

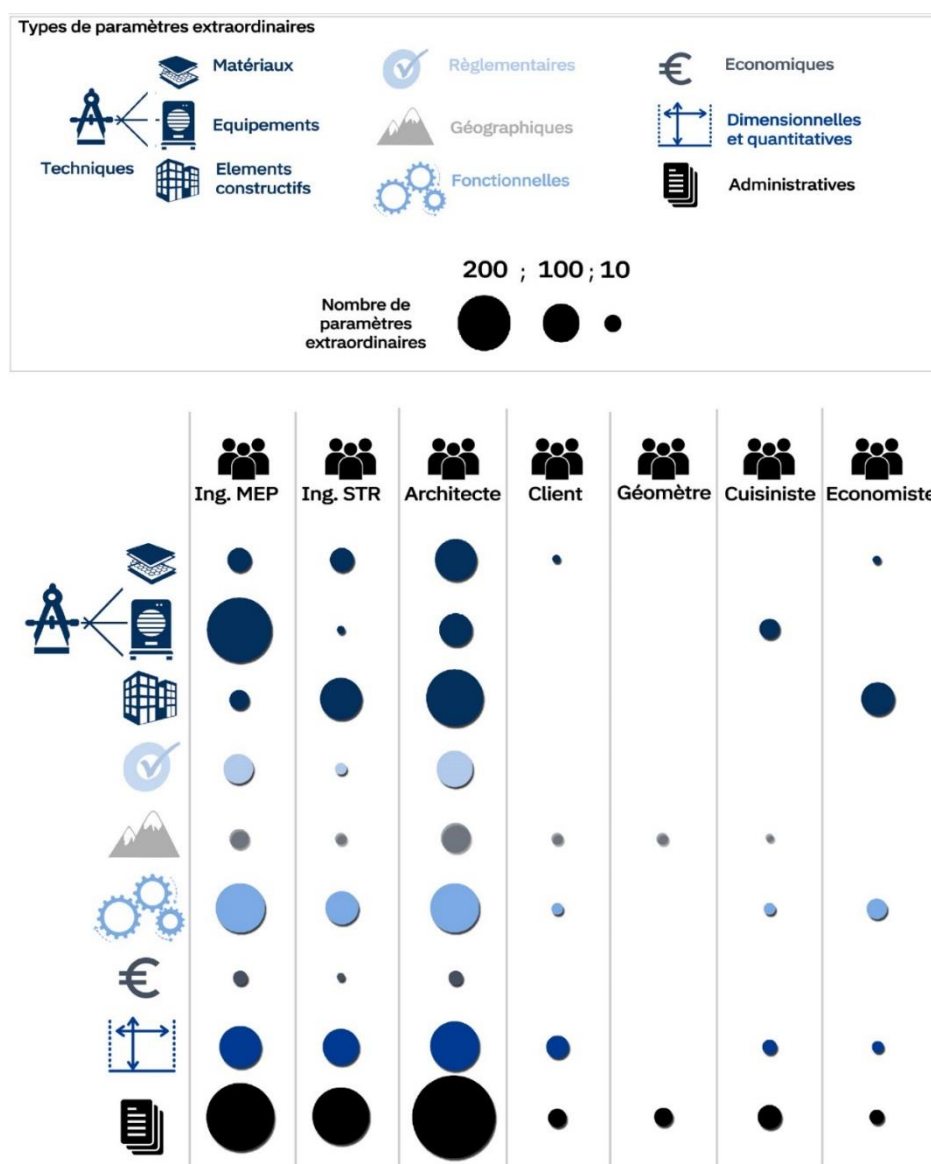


Figure 21 Grille d'analyse informationnelle des maquettes numériques de douze projets

Le tableau démontre en premier lieu l'importance presque équivalente des informations administratives et techniques, et met en évidence le rôle prépondérant des ingénieurs⁴² et des architectes dans l'introduction des informations dans les bases de données des maquettes numériques.

⁴² Les professions examinées sont les ingénieurs spécialisés dans les domaines de la mécanique, de l'électricité et de la plomberie (MEP) appartenant aux bureaux d'études en charge des réseaux techniques du bâtiment lors de la phase de conception et pour les entreprises spécialisées dans ces lots pendant la construction. Nous avons également examiné l'information introduite par les ingénieurs travaillant au sein des bureaux d'études en charge de la structure (STR) pendant la phase de conception et au sein des entreprises de gros-œuvre pendant la construction.

Même si ces projets incluent des économistes qui ont travaillé avec un logiciel BIM, on observe un manque d'informations économiques. Cependant, leur importance s'est révélée plus tard, lors des entretiens menés avec les acteurs du projet. Le BIM en tant qu'innovation participe de la concurrence sur les prix, les stratégies, ..., et les intérêts économiques, même s'ils ne sont pas présents lors de l'analyse des bases des données, émergent dans l'analyse des discours des acteurs.

2.3.2. La grille d'analyse et son rapport avec les classifications anglo-saxonnes

À la lumière de ces résultats, nous avons comparé nos catégories orientées vers les enjeux et besoins des acteurs à celles provenant de classifications internationales, afin de vérifier si nous avons inclus tous les types de données qu'elles considèrent comme importants dans un projet. La comparaison a été effectuée en s'appuyant sur le tableau élaboré par le Livre blanc d'Autodesk, lequel décrit la corrélation entre les normes ISO 12006, Uniclass et Omniclass (AUTODESK, 2016). D'après cette comparaison, nous avons réfléchi à la division de certaines catégories en sous-groupes afin de trouver des classifications plus précises et plus orientées vers les enjeux et besoins des acteurs en fonction des informations introduites dans la maquette. Par exemple, les catégories d'informations administratives comprennent des données sur les phases de construction, les parties prenantes, la gestion de projet et les logiciels, ainsi que les types de documents produits, leurs caractéristiques et leurs descriptions. Il est donc possible de subdiviser les informations administratives pour les classer plus précisément et déterminer, par exemple, s'il existe un enjeu lié à la gestion de chantier ou à la gestion des équipes. Toutefois, pour les données administratives, nous avons finalement décidé de ne pas établir de sous-groupes car il est difficile de déterminer clairement à quelle forme de gestion administrative chaque paramètre se réfère. En revanche, tel que nous l'avons expliqué précédemment, pour les données techniques, les paramètres étant très différents et spécifiques ont été divisés en matériaux, équipements techniques et éléments constructifs.

Dans la Figure 22Figure 22 Tableau comparatif : classifications internationales *versus* grille d'analyse développée, nous pouvons observer comment toutes nos catégories permettent de classer les informations proposées par les autres classifications :

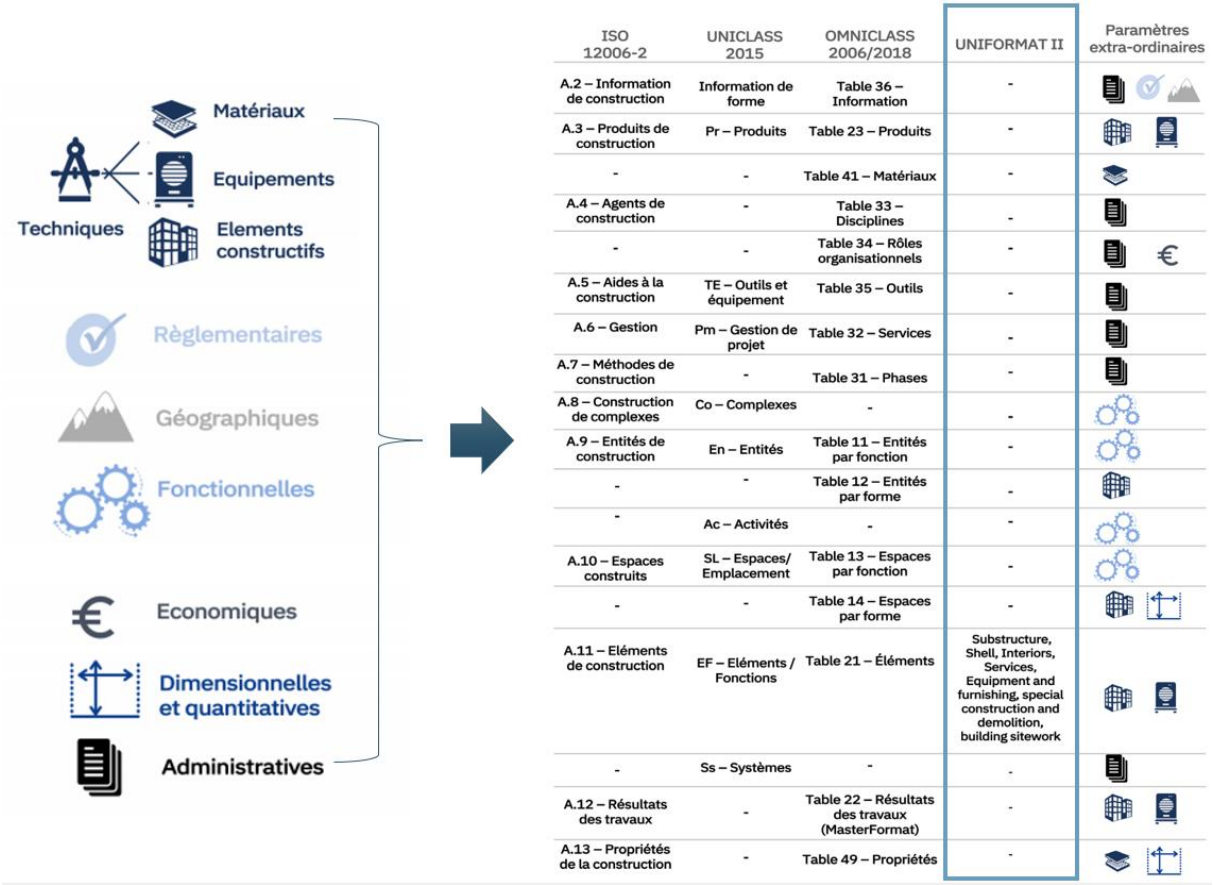


Figure 22 Tableau comparatif : classifications internationales *versus* grille d'analyse développée

Nous avons observé des différences significatives entre les classifications internationales et notre catégorisation. Les classifications internationales organisent les informations fonctionnelles selon l'échelle de l'objet concerné. Par exemple, Uniclass divise la fonction des pièces de celle de l'ensemble du bâtiment (AUTODESK, 2016). En revanche, notre grille considère une seule catégorie pour la fonction, sans tenir compte de l'échelle, car la taille de l'espace concerné n'affecte pas les enjeux des acteurs.

Parmi les classifications internationales, nous avons ajouté Uniformat II dans la Figure 22, tel qu'elle est intégrée aussi par C. Eastman et K. Afsari dans leur comparaison de classifications actuelles (Afsari & Eastman, 2016). Uniformat II est la classification la plus utilisée en France,

information soutenue par BuildingSMART France dans son article en ligne « Systèmes de classification » (BuildingSmart France, 2020). De plus, comme souligné par M. Alshabab, Autodesk Revit utilise Unifomat II par défaut avec le paramètre « code d'assemblage » (Alshabab et al., 2017). Étant l'un des logiciels les plus utilisés dans le domaine de la construction, cela pourrait contribuer également à la diffusion de cette classification. Par ailleurs, en analysant les documents contractuels des projets, nous constatons qu'Unifomat est la classification la plus utilisée également dans les projets d'ALTO Ingénierie. Selon nos résultats, il est évident que les informations techniques occupent une place importante dans les maquettes numériques analysées, ce qui est cohérent avec le fait qu'Unifomat se concentre principalement sur cette catégorie. Cependant, il est important de souligner que les acteurs impliqués dans un projet de construction s'intéressent également à d'autres aspects, notamment les informations administratives, comme en témoigne l'ajout de nouveaux paramètres dans ces catégories. Par conséquent, il ne faut pas considérer l'information technique comme la seule préoccupation des acteurs de la construction, mais plutôt comme l'une des principales préoccupations.

Les catégories proposées par notre grille d'analyse incluent toutes les informations classées dans les catégories d'Uniclass, Omniclass, ISO-12006 et Unifomat, ce qui assure qu'aucun type d'informations n'a été exclu de notre catégorisation. Cependant, elle n'est pas encore assez mature et doit être développée et étendue. D'autre part, cette grille a permis de connecter les classifications internationales existantes avec les enjeux et les besoins des acteurs des projets BIM.

2.4. L'analyse des informations de la maquette numérique et des discours des acteurs dans les études de cas

Après avoir étudié douze projets, nous avons appliqué la grille d'évaluation aux maquettes des deux cas d'étude présentés dans le chapitre précédent, à savoir le lycée et le bâtiment de bureaux. Cette démarche vient en complément de l'analyse documentaire et des entretiens décrits dans ce chapitre. Nous avons également tenu compte du fait qu'un des projets était en

phase de construction et l'autre en phase de conception dans le but d'évaluer la pertinence de la grille pour mesurer les aspects informationnels des maquettes à ces deux étapes du projet.

La méthodologie de travail est alors basée sur la triangulation : une façon de conceptualiser la recherche par méthodes mixtes proposée par N. Denzin (Denzin, 1978). La triangulation est réalisée entre trois méthodes, tel que nous l'avons exposé au point 1.2 L'approche méthodologique : l'analyse des documents contractuels (cahier des charges BIM, protocole BIM et notice BIM), la réalisation d'entretiens semi-directifs avec les acteurs du projet, et l'analyse des maquettes avec la grille d'analyse des paramètres. L'analyse des projets a débuté par l'analyse documentaire. En effet, les protocoles et les cahiers des charges donnent le contexte de la collecte des données au niveau « contractuel ». Ensuite, les entretiens soulèvent les représentations mentales des acteurs et leurs expériences. Enfin, l'étude des maquettes numériques a permis de vérifier la prise en compte dans les maquettes numériques des enjeux informationnels décrits dans les documents contractuels et dans les déclarations effectuées par les acteurs pendant les entretiens. Les résultats présentés dans la Figure 23 et la Figure 24 ci-après nous ont permis de recueillir des informations plus précises et contrastées sur les enjeux et besoins des acteurs. En parallèle, nous avons pu vérifier l'utilité de la grille de classification développée :

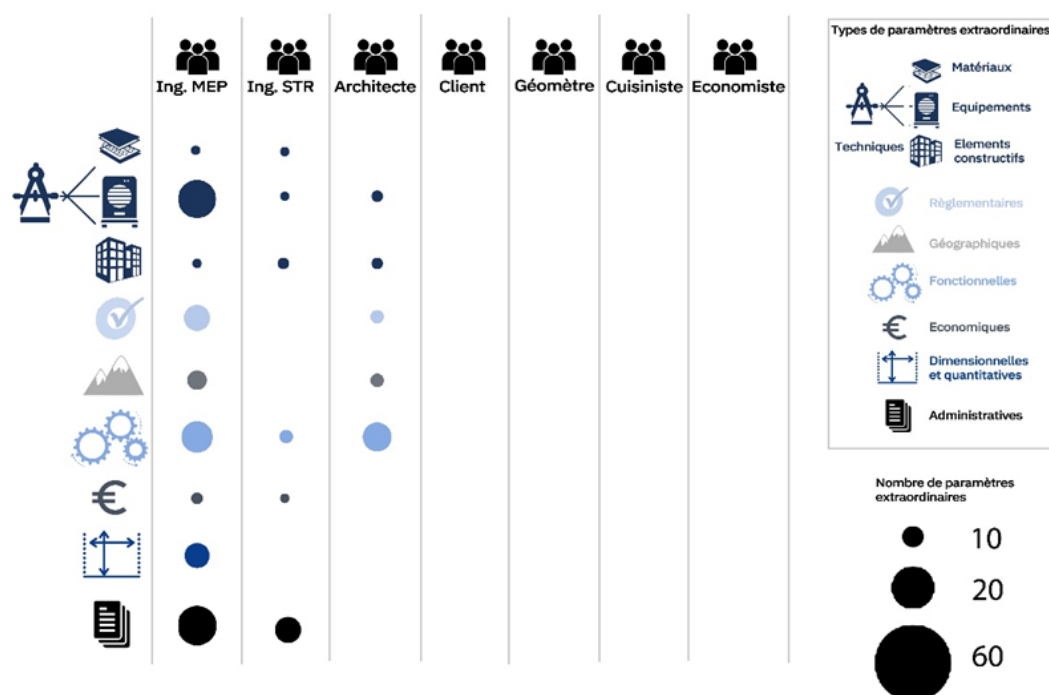


Figure 23 Grille d'analyse appliquée à l'étude de cas 1 – Projet du lycée

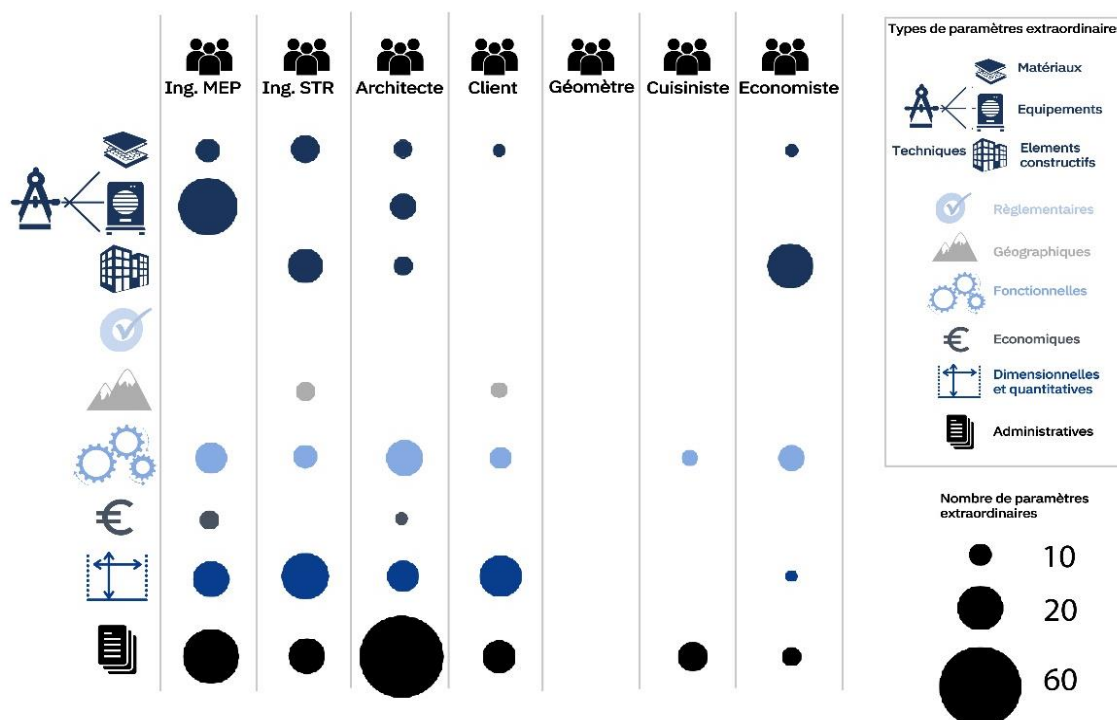


Figure 24 Grille d'analyse appliquée à l'étude de cas 2 – Projet de bureaux

En examinant cette analyse des paramètres contenus dans les maquettes numériques, nous avons constaté une grande disparité entre les deux projets, mettant ainsi en évidence la capacité de cette méthode d'analyse à révéler les particularités propres à chaque opération. Dans le cas d'étude du bâtiment de bureaux, les acteurs ont intégré presque deux fois plus de paramètres dans la maquette numérique, et un plus grand nombre d'acteurs ont été impliqués dans la saisie des informations. Par ailleurs, dans le cahier des charges BIM de ce cas d'étude, le renseignement des informations est imposé à la quasi-totalité des acteurs et il est plus succinct que celui du projet du lycée.

En outre, le projet du lycée intègre des paramètres plus variés que le projet de bureaux, et presque toutes les catégories ont une quantité d'informations similaire dans le bâtiment scolaire. Cela implique une plus grande variété d'enjeux dans le premier projet, tandis que dans les bureaux, il y a une polarisation vers les informations administratives et techniques. Dans le cas du lycée, il existe aussi une certaine prédominance des données réglementaires qui pourrait être liée aux demandes des certifications environnementales que le client souhaite atteindre dans ce projet. Les données géographiques sont plus prépondérantes dans le cas d'étude du lycée car il

s'agit d'un projet multi-bâtiments pour lequel les paramètres du site sont importants. Ainsi, l'échelle du projet peut également influencer le type de données intégrées, ce qui implique qu'un projet comportant plusieurs bâtiments présente des contraintes spécifiques au niveau de l'information.

Les résultats ont été comparés à ceux obtenus à partir de l'analyse des douze projets afin d'évaluer si les pourcentages représentant la nature des paramètres introduits présentaient une certaine similitude. Selon cette analyse, les enjeux les plus récurrents dans ces opérations, à savoir les aspects techniques et administratifs, ont été identifiés comme importants pour les deux études de cas ainsi que pour l'ensemble des douze projets, comme en témoigne la Figure 25 :

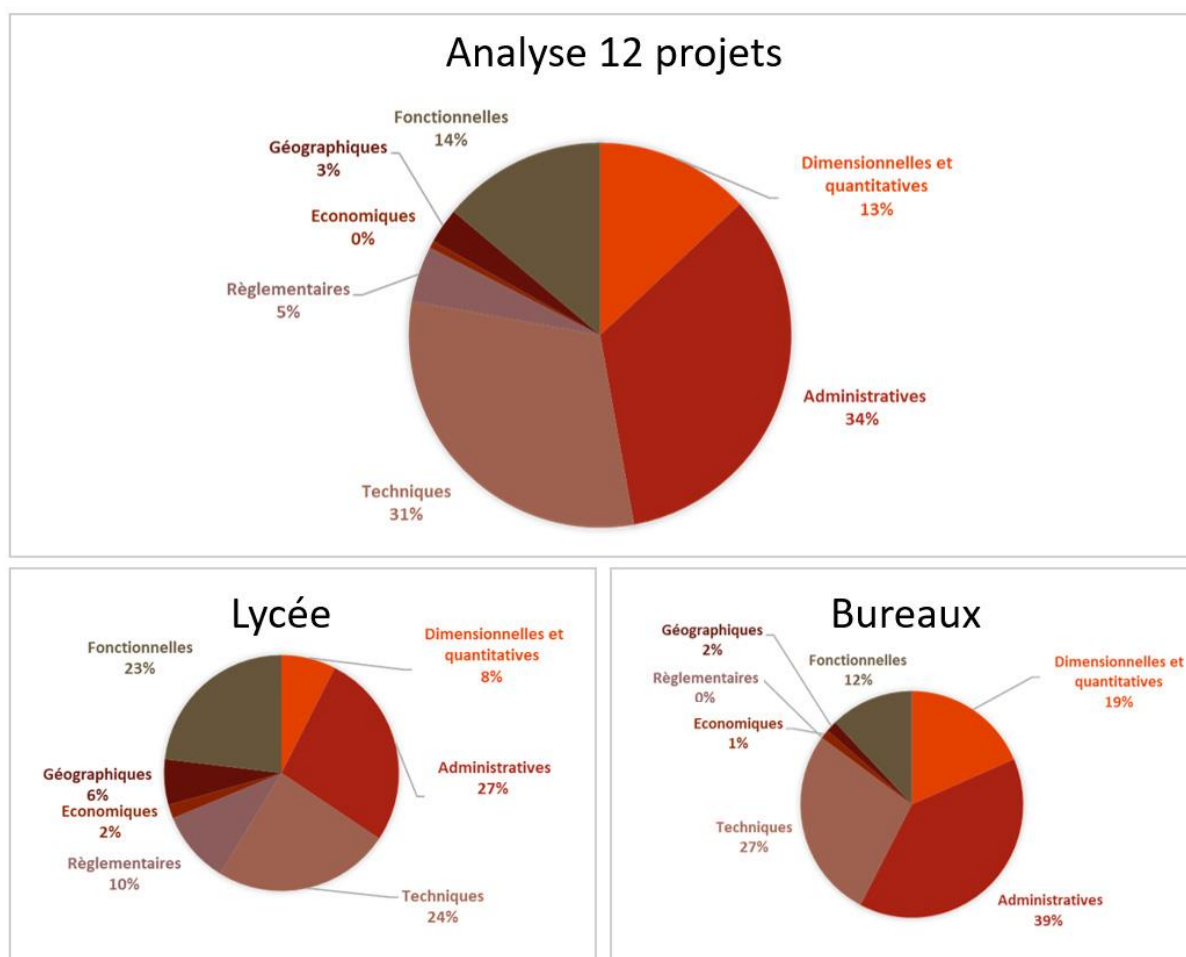


Figure 25 Diagramme de répartition des données dans les douze projets et dans les deux études de cas séparément

Il convient de noter que les paramètres contenant des données économiques et géographiques sont généralement peu présents dans ces analyses. Nous avons également remarqué lors des analyses précédentes la faible présence de données économiques dans les maquettes de projet. Malgré cela, nous avons pu comprendre à travers l'analyse des documents contractuels et les entretiens avec les acteurs des études de cas que les économistes obtiennent les quantitatifs de la maquette pour les intégrer dans leurs propres outils :

Étude de cas 2	Phase conception	Entretien avec le BIM manager	04/2019
« Les économistes travaillent avec des tableaux Excel issus de Revit, ils ont une énorme base de données Excel, après peut-être ils travaillent aussi avec d'autres logiciels mais moi, l'interface que j'ai avec eux ce sont les fichiers Excel extraits de Revit. Dans ce projet, à partir du premier jeu de l'architecte, l'économiste l'a rempli et moi je l'ai réinjecté dans la maquette. »			

De ce fait, les traces de leurs paramètres disparaissent, ce qui constitue une limite pour l'analyse des enjeux et besoins portés par les économistes. Il apparaît donc important d'accompagner l'analyse quantitative des maquettes numériques d'une analyse documentaire et d'entretiens.

Afin d'approfondir notre compréhension de la nature de ces paramètres, nous avons procédé à l'identification des quatre paramètres les plus courants dans l'ensemble des deux études de cas. Par exemple, les paramètres identifiés dans la catégorie administrative se concentrent principalement sur les informations relatives aux acteurs du projet et à l'organisation des livrables du projet, comme cela est présenté dans la Figure 26 et la Figure 27 :



Figure 26 Paramètres identifiés par catégorie dans le cas d'étude du lycée



Figure 27 Paramètres identifiées par catégorie dans le cas d'étude du bâtiment de bureaux

À la lecture des deux figures et du diagramme de répartition des données du bâtiment de bureaux (Figure 25), il apparaît une augmentation du nombre de données dimensionnelles dans le projet des bureaux, ce qui correspond à de nouveaux paramètres tels que : la surface, le linéaire, la hauteur, etc. Ces paramètres ont été intégrés par le client notamment afin d'obtenir de bons quantitatifs pour faire faire des estimations économiques et apparaissent dans le cahier des charges. Ainsi, on relève que les données classées comme « dimensionnelles » peuvent représenter des besoins d'acteurs très différents et qui répondent à des objectifs très variés : cette catégorie n'est pas donc représentative des enjeux ou besoins des acteurs. Cependant, elle peut fournir des informations spécifiques par rapport au reste de thématiques. Par exemple, le paramètre « épaisseur de béton » dans les maquettes de l'immeuble de bureaux, ou « hauteur de gaine » dans le projet du lycée, mettent l'accent sur les quantités de matériaux dans l'un et sur les mesures relatives aux réseaux techniques dans l'autre.

L'analyse de la nature de ces paramètres dans son croisement avec les entretiens des acteurs du projet a facilité la compréhension de leurs attentes vis-à-vis de ces maquettes. Par exemple, dans le cas de la rénovation-extension du lycée, la proportion des données réglementaires (10 %) a augmenté par rapport aux autres diagrammes de répartition des données (Figure 25). Ces paramètres introduits par les bureaux d'études et les architectes sont en lien avec les calculs de déperdition thermique et les certifications environnementales. Dans l'analyse des douze projets comme dans celle des paramètres des maquettes du lycée, nous avons noté également que le mot « certification » était l'un des plus répétés dans la catégorie réglementaire. D'ailleurs, l'importance des données réglementaires dans l'étude de cas 1 (exemples de

paramètres trouvés dans la maquette : Certification produit, G.EN12831- surface d'ouvertures, G.EN12831- charge thermique, G.EN12831- coefficient de déperdition, UNSPSC code) est justifiée par les enjeux environnementaux exprimés par les acteurs du projet lors des entretiens semi-directifs et leurs échanges par mails :

Étude de cas 1	Phase conception	Extrait du mail du BE Environnement	02/2019
« Pour les parties en construction neuve du lycée, afin de vérifier l'atteinte du niveau Carbone C1 du référentiel Energie-Carbone, il sera nécessaire que je réalise une Analyse en Cycle de Vie (ACV). Pour ce faire, j'aurai besoin de connaître les quantitatifs, ainsi qu'un certain nombre de caractéristiques des éléments qui constituent le projet. Pour recueillir ces informations, nous vous proposons d'utiliser la maquette numérique, comme évoqué au téléphone. »			

Ces observations permettent de mieux comprendre et de caractériser ce type d'enjeu. Dans l'article sur la pré-certification et le BIM de T. Biswas, nous observons que dans les projets BIM, les enjeux réglementaires liés aux certifications peuvent se confondre avec des enjeux environnementaux (Biswas et al., 2013). Il est difficile de savoir si les intentions réelles des acteurs sont environnementales ou simplement d'obtenir une certification. Quant aux paramètres liés aux matériaux et aux finitions, ils prennent de plus en plus d'importance dans les maquettes. Les entretiens rattachent cela aux enjeux environnementaux du projet : en effet, ces informations sont nécessaires à l'analyse du cycle de vie de bâtiment et aux autres démarches visant des certifications environnementales, comme nous l'avons déjà observé précédemment.

En outre, les nombreux paramètres administratifs présents dans ces études de cas représentent largement des enjeux de gestion pour les acteurs impliqués et prennent une importance accrue dans les projets de grande envergure qui sont plus difficiles à gérer. Les enjeux managériaux ont été identifiés par des auteurs comme B. Ilozor et D. Kelly qui expliquent que ce que l'on attend des nouvelles technologies, et dans ce cas-là du BIM, c'est d'apporter efficacité, économies et gains de productivité au secteur de la construction (Ilozor & Kelly, 2012). C. Bolton et S. Kubicki soutiennent quant à eux que les projets de grande échelle sont plus souvent conçus en BIM et sont amenés à introduire plus d'enjeux managériaux dans la maquette (Bolon & Kubicki, 2014a). Les enjeux managériaux apparaissent dans les maquettes avec des

paramètres qui permettent la gestion des phases, notamment pour la phase chantier : la gestion des temps, la gestion documentaire ou la gestion des équipes.

En résumé, la quantification du nombre de paramètres par thème et l'identification de ceux qui sont les plus fréquents nous ont aidée à mieux comprendre les enjeux du projet, en comparant ces analyses avec les résultats de l'analyse documentaire et des entretiens. Les enjeux administratifs, qui sont liés à la gestion, sont les plus fréquemment rencontrés, tandis que les économiques ne sont pas apparus car les économistes ont utilisé des outils qui n'incorporent pas de paramètres dans les maquettes. Les paramètres quantitatifs permettent de clarifier les autres catégories mais ne correspondent pas à un besoin ou enjeu concret, et les paramètres réglementaires identifiés font principalement référence à des certifications environnementales.

2.5. La présence de thématiques managériales, environnementales et de territoire dans l'analyse des paramètres

Cette étude a permis d'identifier un intérêt croissant des acteurs de la construction pour les informations administratives et organisationnelles relatives à la gestion de projet, en plus des informations réglementaires et géographiques qui sont encore absentes dans certains projets, mais qui commencent à prendre de l'importance dans les démarches BIM.

Dans ce cadre, la gestion de projet devient essentielle et les maquettes BIM reflètent son importance dans les paramètres qui y sont présents. La montée de cette préoccupation pour la gestion du projet existe déjà depuis les années 1980/1990, notamment dans les pays anglosaxons. Elle est mise en valeur par G. Winch et autres auteurs qui essaient de rapprocher les évolutions en matière de production dans le champs de l'industrie au monde de la construction (Winch, 2003). Une quantité importante de données administratives et organisationnelles a été récupérée dans les informations de type « particulier » des analyses précédentes. Dans les recherches menées dans les années 1980/1990 sur les logiciels de CAO,

ces données n'étaient pas prises en compte, et pourtant, actuellement, apparaissent des informations relatives à la périodicité des réunions et à l'évolution du projet. Aujourd'hui, les données relatives à la gestion de projet deviennent beaucoup plus courantes et sont introduites par toutes sortes d'acteurs. Dans la catégorie des « informations administratives », les démarches de management intégré, comme *l'Integrated Project Delivery* (IPD) proposé par l'American Institute of Architects (AIA, 2007), partent de l'idée que l'organisation de toutes les informations relatives à la gestion de projet, aux acteurs et à leurs tâches est cruciale pour le développement de tout projet de construction. Les projets BIM sont également concernés par ces besoins organisationnels et managériaux, tel que le présentent les travaux scientifiques de X. Brioso sur le BIM et le *lean management*, ou les travaux de S. Rokooei sur les avantages du BIM dans le management du projet (Brioso, 2015) (Rokooei, 2015). Cependant, ces projet sont axés sur les questions économiques de réduction des coûts (Becerik-Gerber & Kent, 2010). Par conséquent, si la base de données du bâtiment est incluse dans un projet qui intègre une démarche de ce type, sa structure pourrait principalement répondre à ces questions de type plus économique. Dans tous les cas, toutes les démarches de management intégré sont applicables dans un projet BIM et peuvent contribuer à la collaboration, à l'efficacité et à la gestion du cycle de vie des bâtiments.

Ensuite, l'information réglementaire dans le domaine de la construction a également gagné en importance au cours des dernières années. Même s'il n'y en avait pas beaucoup dans les projets que nous avons analysés, certains *plug-ins* ont commencé à inclure des paramètres pour mesurer la cohérence réglementaire des projets à travers des simulations énergétiques, comme Insight d'Autodesk ou Archiwizard de Graitec. En France, d'autres *plug-ins* sont en cours de développement, comme iCheck de Bureau Veritas pour l'autovérification de la conformité réglementaire des modèles BIM en matière de protection incendie et d'accessibilité. À noter que les informations liées aux normes ISO et de classification ont aussi été considérées comme faisant partie des informations réglementaires car elles tentent de structurer le projet selon les normes internationales (Afsari & Eastman, 2016).

Par ailleurs, le développement continu de nouvelles certifications de construction a accru les préoccupations des acteurs concernant les normes et réglementations principalement liées aux questions de construction verte et d'énergie, tel que l'illustrent les recherches sur l'écoconception (Biswas et al., 2013; Latortue et al., 2020; Menet & Gruescu, 2014). Par

conséquent, les informations réglementaires liées à la précertification sont aujourd'hui très demandées dans la phase de conception des projets de construction, y compris les projets BIM. La possibilité de certifier un bâtiment et de vérifier sa conformité avec les réglementations existantes suscite l'intérêt des parties prenantes.

Le lien entre le BIM et les enjeux environnementaux est assez controversé. Haentjens et Lemoine proposent l'éco-urbanisme (Haëntjens & Lemoine, 2015) comme une alternative au techno-solutionnisme (terme créé par Evgeny Morozov). Le techno-solutionnisme se définirait comme la tendance des acteurs à penser que le recours à des outils technologiques suffirait à résoudre les problèmes environnementaux (Morozov, 2013). Par exemple, en 2011, le gouvernement britannique a proposé l'imposition du BIM pour réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre (par rapport aux émissions en 1990). La réglementation sur le développement durable est aussi en train d'évoluer, et sur ce point, plusieurs travaux de recherche montrent que le BIM permet d'étudier les performances énergétiques et l'impact environnemental d'un bâtiment dans son emplacement (Beddiar & Imbault, 2017 ; Lange, 2012 ; Roxin, 2021).

Cependant, au-delà de ces débats, dans les entretiens et dans l'analyse de maquettes, quelques paramètres et discours font référence aux questions environnementales. Ces paramètres proviennent pour la plupart de la nécessité de réaliser des analyses environnementales dans les bâtiments dans le but d'obtenir une certification spécifique (BREEAM, HQE, etc.). Ces constatations nous ont amenée à envisager la possibilité de diviser les informations réglementaires en fonction de leur contenu, par exemple en les distinguant entre les informations environnementales (qui comprennent toutes les informations relatives aux certifications environnementales), et les informations de sécurité (réglementation relative à l'accessibilité et à la sécurité incendie), ou tout du moins d'identifier un sous-groupe important de paramètres réglementaires relatifs aux informations environnementales. Bien que les deux questions soient de nature réglementaire, les enjeux environnementaux sont très différents de ceux liés à la sûreté et à la sécurité, qui sont attachés depuis plus longtemps aux réglementations dans le domaine de la construction. Dans ce contexte, la question qui émerge est de savoir si les acteurs donnent vraiment une importance aux questions environnementales ou de sécurité, ou si l'enjeu est uniquement de satisfaire la réglementation et d'obtenir les certifications et la validation du projet.

Enfin, concernant les informations géographiques, il existe de nouveaux outils qui visent à relier les informations BIM aux systèmes d'information géographique (SIG), comme c'est le cas d'Autodesk et de son outil Autodesk Infraworks. Cette connexion permettrait de relier chaque bâtiment aux informations relatives à son terrain, c'est-à-dire les cotes, la nature du substrat géologique, la réglementation concernant la parcelle, etc., créant ainsi des projets CIM – *City Information Models* –, un projet BIM à l'échelle de la ville. Grâce à ces outils, les informations géographiques pourraient devenir beaucoup plus importantes pour la conception des bâtiments, et les informations du bâtiment pour les projets urbains. La combinaison des bases de données BIM et SIG s'est révélée utile pour plusieurs aspects tels que le suivi de la chaîne d'approvisionnement de la construction (Irizarry et al., 2013) ; ou la création de simulations pour la performance énergétique des bâtiments en temps réel grâce à un outil d'évaluation énergétique des installations virtuelles (VFEA) basé sur une approche BIM-SIG, tel que testé par W. Wu dans le cas concret de l'Université d'État de Californie à Fresno (W. Wu et al., 2014).

Les trois nouvelles catégories d'enjeux et besoins que nous avons intégrées dans la grille d'analyse des projets BIM sont la gestion du projet, les questions environnementales et la grande quantité de réglementation existante, et la planification territoriale et urbaine. Ces catégories apportent un point de vue contemporain aux enjeux et préoccupations des acteurs dans les projets de structuration des informations des années 1980.

2.6. Les freins et limites dans l'élaboration d'une grille d'analyse informationnelle

Dans ce chapitre, nous avons pu constater qu'il existe donc plusieurs classifications de données du bâtiment, mais leur approche purement technique rend ces systèmes de classification non adéquats pour ce travail de recherche. Bien que depuis les années 1950, plusieurs classifications sur les données du bâtiment aient été élaborées, les données du bâtiment sont très variées et

ne sont généralement pas facilement disponibles ; ou encore elles sont mal structurées et difficiles à analyser.

Ce chapitre a présenté le développement d'un système de classification des enjeux et besoins informationnels des acteurs dans un projet de construction BIM. Cette analyse est partie de la revue de littérature des classifications existantes dans les années 1980/90 en France. Ensuite, la classification finale a été utilisée pendant les entretiens avec des professionnels du champ de la construction afin de tester sa pertinence. Finalement, les résultats démontrent l'adéquation des catégories que l'on propose pour l'analyse des enjeux et besoins des acteurs. Sa validation a été faite à partir d'une analyse épistémologique de la classification, avec des questions basées sur les critères proposés par El-Diraby et Kashif dans leur développement d'une ontologie spécifique pour construire un modèle de connaissances qui décrit le développement des projets multi-acteurs, mais dans ce cas-là appliqué à notre catégorisation de paramètres (Macarulla et al., 2013) (El-Gohary & El-Diraby, 2010) (Aragao & El-Diraby, 2021) :

- Toutes les catégories présentées ont une signification claire et non équivoque quand nous les avons utilisées pendant les entretiens. Ces catégories ont de plus leur équivalence avec les différentes catégories des classifications plus importantes dans le monde de la construction : Uniclass, Omniclass, Unifomat et ISO 12006. Et tous les concepts sont pertinents à l'exception des données dimensionnelles.
- Les catégories traitées ne dépendent pas des tâches et des méthodes de construction utilisées dans d'autres pays.
- Les différentes catégories ne dépendent pas d'une seule typologie de bâtiment, elles s'adaptent à tous les types de programmes et l'analyse des douze projets témoigne du fait que nous avons analysé une grande variété de types de bâtiments : bureaux, écoles, musées, logements, etc.

L'objectif de cette discussion a été d'évaluer la fiabilité des catégories que nous avons proposées. Par ailleurs, pour éviter toute interférence avec les différences linguistiques, les catégories sont accompagnées de pictogrammes qui représentent leur contenu. Toutes les contraintes liées à la sémantique des données dans ces projets ont aussi été prises en compte.

2.6.1. La sémantique des données

La sémantique des données dans le domaine de la construction est un sujet abordé par plusieurs auteurs, notamment en ce qui concerne l'étude de la conception assistée par ordinateur. Ainsi, le BIM n'est pas une exception et la standardisation des terminologies devient un enjeu que certains chercheurs tels que A. Ejholm, L. Häggström ou F. Dinis tentent de résoudre dans leurs travaux de recherche (Dinis et al., 2022) (Ekholm & Häggström, 2011). Les travaux sur la sémantique portent sur la question des ontologies (Mendes de Farias et al., 2014). L. Obrst, dans son travail sur l'évaluation des ontologies, explique que les ontologies sont des modèles sémantiques destinés à capturer et à représenter des aspects des objets (Obrst et al., 2007). Les ontologies se composent d'un ensemble de concepts représentatifs dans un domaine, et des liens qui s'établissent entre ces concepts.

En ce qui concerne le BIM, dans les projets de construction internationaux et le commerce international des produits de construction, il a été nécessaire de traduire les systèmes de classification nationaux des données du bâtiment et de développer des systèmes de classification communs (Afsari & Eastman, 2016). A. Ekholm explique que le manque de standardisation et les différences notables entre la sémantique et la structure des systèmes de classification entraîne des problèmes dans la mise en place de l'IFC (*Industry Foundation Classes*)⁴³ et de l'interopérabilité (Ekholm, 2005). Les dernières normes ISO BIM, et plus spécialement l'ISO 12006-2, essayent de trouver un standard pour le nommage des éléments et attributs. D'ailleurs, la nouvelle norme ISO 23386 sur la sémantique utilisée en BIM correspond à la norme expérimentale française XP P07-150 (norme PPBIM). Cette norme devient un outil pour tous les acteurs et elle a permis d'uniformiser les données, avec un format standard et des libellés communs. Même si ces classifications des données du bâtiment ne s'adaptent pas à nos besoins pour l'analyse des enjeux et besoins des acteurs, toute cette problématique autour de la sémantique affecte également la création des nouvelles catégories.

En classant les paramètres à partir des enjeux et besoins des acteurs, nous avons observé que la sémantique du secteur de la construction est très variée, et que la signification de certains

⁴³ L'IFC ou Industry Foundation Classes, n'a pas une traduction en français, et fait référence à un type de format standardisé international ouvert pour l'échange de données du bâtiment.

termes peut diverger d'un métier à l'autre. En conséquence, la formulation des différentes catégories a été difficile, de même que l'interprétation des paramètres stockés dans les maquettes numériques. Le nom des paramètres introduits par chaque acteur correspond à chaque métier et à ses façons de faire. Nous avons donc pris en compte les spécificités du langage de chaque métier pour le classement des paramètres. Les difficultés de sémantique que nous avons observées dans les cas d'étude sont discutées par G. Gaglio, qui fait référence à l'affirmation de G. Simmel selon laquelle « *Si une porte représente principalement un symbole de clôture de l'espace domestique, elle est également une ouverture vers le monde extérieur* » (Gaglio, 2012). En conséquence, chaque métier, selon son point de vue, peut interpréter les données ou nommer les paramètres différemment.

Le fait d'interpréter à quelle catégorie appartient chaque paramètre présente un frein ou une limite dans cette recherche, parce que ces paramètres sont interprétés directement à partir de leur sémantique. Cependant, si un acteur souhaite introduire le paramètre « finition » avec des enjeux réglementaires au lieu de représenter un enjeu technique, ce paramètre va être placé dans la mauvaise catégorie. Dans d'autres cas, il a été important de regarder directement l'attribut du paramètre, et la maquette dans laquelle il a été renseigné, afin de comprendre la catégorie à laquelle il appartient. Par exemple, le paramètre « bâtiment » fait parfois référence aux questions administratives, parfois aux questions fonctionnelles, et parfois aux questions géographiques.

La question sémantique a aussi remis en question la catégorie des informations dimensionnelles, du fait que les surfaces, les longueurs, ... ne représentent pas un enjeu en elles-mêmes, puisqu'elles s'obtiennent pour atteindre fondamentalement les besoins économiques, techniques ou réglementaires. Cette catégorie était importante dans les premières classifications (Ferries et al., , 1985) parce que les chercheurs ont identifié un vrai besoin des acteurs d'extraire les quantitatifs et les mètres dans leurs dessins. Cependant, le besoin des dessinateurs d'extraire les quantités correspond souvent aux enjeux du client qui lui demande ces informations afin de mesurer un enjeu économique, réglementaire, ... Les réflexions sur la sémantique dans les analyses des maquettes sont importantes parce qu'elles permettent de mieux comprendre pourquoi et dans quel but certains paramètres ont été introduits dans le projet.

Pour tenter de répondre à ces problèmes de sémantique, des travaux de recherche sont en cours. Ils visent à utiliser des ontologies à la manière de ce qui est effectué dans le web sémantique (Seydoux et al., 2019). L'une des principales visions de l'avenir du web est celle du web sémantique, présentée par exemple par T. M. de Farias comme une vision qui permet aux machines de comprendre les données qu'elles manipulent, à travers des standards, et donne une définition formelle des ressources du web, au moyen d'ontologies (Mendes de Farias et al., 2014). Les problèmes de sémantique sont étendus à tout le cycle de vie du bâtiment et notamment pendant l'exploitation. Dans la gestion des bâtiments apparaît « l'Internet des Objets » (*Internet of Things* ou IoT en anglais) – une intégration des technologies du web sémantique aux réseaux d'objets connectés à l'intérieur du bâtiment. Cette intégration est désignée sous le nom de « Web Sémantique des Objets » (*Semantic Web of Things* ou SWoT en anglais).

Conclusion

Nous pouvons conclure que l'information stockée dans les maquettes numériques va nous informer des objectifs à atteindre par les acteurs en phases de conception et de construction. Grâce à ce travail, il a été démontré qu'un nombre important de nouveaux paramètres, qui se rapportent à différentes catégories et préoccupations, sont introduits dans la base des données du bâtiment pendant sa conception et sa construction. L'observation de cet effort de paramétrisation et d'insertion de nouvelles informations dans les maquettes est donc essentielle pour comprendre les principaux problèmes informationnels et les ruptures qui affectent aujourd'hui les projets de construction BIM.

Il est en outre indispensable d'élargir cette réflexion au-delà de l'échelle du bâtiment en considérant la pertinence des systèmes d'information géographique et en examinant la relation entre les données du bâtiment et celles de la ville. Il convient également de comprendre le processus de développement des bases de données ainsi que les différents acteurs impliqués dans ce processus, leurs intérêts et leurs besoins à l'échelle urbaine. Cette approche permettra une meilleure compréhension des types de bâtiments et de villes actuellement conçus en utilisant les outils BIM.

En conclusion, cette analyse a mis en évidence que les intérêts des acteurs impliqués dans les projets BIM évoluent et se diversifient pour englober des aspects réglementaires, managériaux et géographiques, en plus des aspects purement techniques et fonctionnels. La classification des données selon ces catégories s'avère être un nouvel outil permettant aux chercheurs de mesurer l'impact de ces types d'informations sur les projets BIM. Étant donné que les technologies BIM mettent l'accent sur l'importance de l'information dans les projets de construction, il est crucial d'évaluer le type d'informations introduit, les personnes qui l'introduisent et les raisons sous-tendant cette décision. Il est également possible que les projets qui n'utilisent pas d'outils BIM abordent actuellement des thématiques similaires ; et pourtant, l'absence d'une base de données permettant l'analyse des livrables produits par les acteurs rend difficile la vérification de leurs discours. Ainsi, l'utilisation de grilles de distribution de paramètres par catégorie et l'analyse des paramètres les plus fréquents par thème permettent de visualiser les spécificités informationnelles de chaque projet. Cependant, nous avons constaté que pour caractériser les enjeux informationnels de ces opérations, il est essentiel d'accompagner la grille d'analyse d'analyses documentaires et d'entretiens, étant donné que l'analyse des paramètres stockés dans les maquettes n'est pas suffisante pour atteindre cet objectif.

Par ailleurs, nous avons observé que la sémantique joue un rôle crucial dans les processus de standardisation et de structuration des données, et il a donc été important d'évaluer ces catégories afin d'obtenir une classification rigoureuse qui puisse s'appliquer à tous les types de projets BIM. La sémantique des données sera également abordée dans les chapitres suivants afin d'examiner son impact pendant la phase d'exploitation des bâtiments.

Enfin, la catégorisation élaborée s'est révélée utile pour déterminer de nouvelles approches pour les projets BIM. Toutefois, la recherche présentée dans les chapitres suivants complète cette analyse en examinant les phases d'exploitation et de maintenance où les classifications de données de conception et de construction ne sont pas encore largement utilisées, en raison de la perception que les données convoquées pour ces phases sont très différentes de celles des phases précédentes. L'objectif de cette démarche est de développer une classification plus complète qui permette de mieux comprendre les préoccupations des acteurs tout au long du cycle de vie du bâtiment. Cette analyse permettra de caractériser chaque phase en fonction des informations introduites dans la base de données de la maquette numérique et des échanges avec les acteurs du projet, ce qui offrira une meilleure compréhension des continuités et des

ruptures informationnelles, considérant que la satisfaction des enjeux des acteurs est à l'origine de ces phénomènes.

Conclusion de la première partie

En conclusion, les grilles d'analyse des paramètres stockés dans les maquettes numériques, ainsi que les diagrammes des systèmes d'acteurs représentant les négociations autour des informations, offrent une représentation visuelle et graphique des caractéristiques particulières des projets BIM pendant les phases de conception et de construction. Ces diagrammes, l'un étant plus technique ou technologique et l'autre plus sociologique, abordent d'un point de vue disciplinaire différent une même question, à savoir que l'information est un élément-clé permettant de comprendre les spécificités de chaque projet BIM.

L'analyse des maquettes, l'analyse documentaire et des entretiens deviennent complémentaires et nécessaires dans l'identification des sujets qui ont provoqué des ruptures informationnelles et tensions dans les phases de conception et de construction. Des éléments de rupture tels que la place du BIM manager, l'absence d'enjeux environnementaux et le manque de collaboration ou de compétences des acteurs, se révèlent être les principaux freins à la continuité informationnelle au sein de ces projets.

Les questions environnementales ont été incluses dans la catégorie des questions réglementaires car, dans les études de cas analysées, ces questions étaient toujours imposées par une certification à atteindre. Cette classification risque encore d'évoluer parce que le but est d'établir une grille d'analyse des enjeux et besoins des acteurs BIM pour toutes les phases du projet, y compris la phase exploitation qui n'a pas encore été analysée. Cependant, l'applicabilité de la grille d'analyse pour les phases de conception et construction a été déjà testée, et des problématiques similaires ont été identifiées dans l'analyse de ces deux phases. Le maintien de la présence de la maîtrise d'œuvre pendant la phase de construction, ainsi que d'autres acteurs tels que le BIM manager dans certains projets, aident à mieux connecter les maquettes entre les phases. Cela est dû en partie à une certaine continuité des outils de travail et des personnes impliquées entre la conception et la construction, ce qui facilite la transmission d'informations entre ces deux phases. Cependant, il peut y avoir des ruptures dans la communication entre les différents acteurs au sein de chaque phase en particulier. En résumé, la continuité informationnelle entre la conception et la construction ne garantit pas une absence

de ruptures informationnelles entre les acteurs de chaque phase, mais elle permet au moins d'utiliser une méthode d'analyse similaire pendant ces deux périodes.

En conclusion, l'élaboration d'une liste de catégories répondant aux enjeux et besoins des acteurs impliqués dans les projets BIM (chapitre 2) nous a permis d'analyser ces cas d'étude de manière plus approfondie et de mieux comprendre les raisons sous-jacentes à certains des problèmes ou ruptures observés entre les acteurs dans les situations de négociation autour des données (chapitre 1). Pour la phase exploitation, l'applicabilité de la grille sera testée dans les chapitres suivants. Pour autant, la modification de tout le système d'acteurs et des types d'outils utilisés, ainsi que les nouveaux besoins de gestion du bâtiment, risquent de complexifier la continuité informationnelle avec les phases précédentes. Au cours des chapitres suivants, nous observerons si les mêmes problèmes se répètent dans la phase exploitation et si une continuité informationnelle peut être atteinte. Nous examinerons également si les nouveaux sujets émergents dans les projets BIM pendant les phases de conception et de construction – tels que les questions en lien avec la gestion administrative, réglementaire et environnementale des projets, ainsi que celles relatives à l'échelle urbaine – sont aussi présents pendant la gestion BIM des bâtiments.

Deuxième partie

Les enjeux informationnels des
utilisateurs et usagers finaux du
bâtiment et leur impact sur la gestion
des bâtiments BIM

INTRODUCTION

De la même façon que pour les phases de conception et construction, pendant la phase d'exploitation, les travaux de recherche portant sur l'utilisation du BIM en exploitation soulignent que les processus et les méthodologies de travail peuvent être améliorées grâce aux technologies BIM en raison, notamment, du gain de temps et du stockage des données qu'il permet (Nicał & Wodyński, 2016) (Matarneh & Hamed, 2017). La Figure 28 montre la transformation du processus en ce qui concerne la continuité informationnelle avec les phases précédentes :

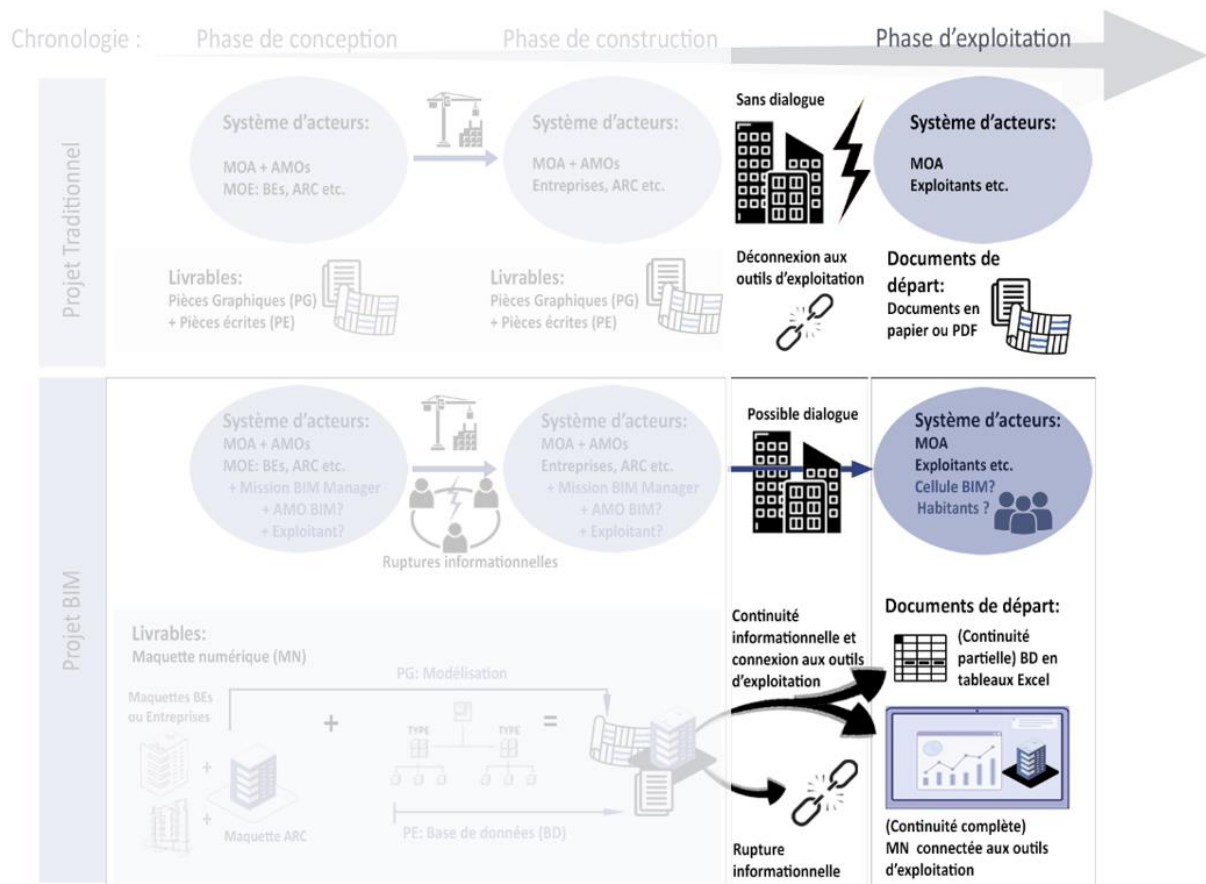


Figure 28 Comparaison du développement d'un projet BIM et d'un projet traditionnel en phase exploitation

En effet, cette figure indique que dans un processus d'exploitation traditionnel, il n'existe pas de lien entre les outils utilisés pour la construction du bâtiment et ceux utilisés pour

l'exploitation ultérieure, ce qui rend impossible le transfert de données d'une phase à l'autre car les documents fournis par l'exploitant sont sous forme de fichiers PDF et papier. Toutefois, dans un processus BIM, une continuité de l'information peut être établie grâce à l'utilisation de feuilles de calcul Excel intégrées dans les outils d'exploitation traditionnels, ou à l'aide d'une plateforme BIM dédiée à la gestion des bâtiments qui permet de récupérer la maquette numérique complète avec toutes les données stockées et de la connecter aux outils d'exploitation pour la gestion de la maintenance, des espaces, etc. Par ailleurs, pendant cette phase, le système d'acteurs est composé principalement du client, de l'exploitant et des occupants du bâtiment. Ainsi, dans cette deuxième partie, nous partons de l'hypothèse que :

« La façon dont les données du bâtiment sont prises en compte et la nature de ces données pourront déterminer les modalités d'exploitation. Par ailleurs, la façon de gérer les données du bâtiment après sa livraison dépendra du rôle des utilisateurs et « usagers » finaux du bâtiment pendant les phases de programmation, conception et construction. »

M. Dixit, dans ses travaux de recherche sur l'intégration du BIM en exploitation, a identifié que la collecte complète et précise de données avec le support de la maquette numérique peut favoriser les analyses de gestion et de maintenance (Dixit et al., 2016, 2019). Au cours de ces deux chapitres, nous examinerons comment l'implication des occupants et des exploitants peut contribuer à la collecte de données, ainsi que les enjeux et intérêts qui y sont liés. Nous analyserons également les problèmes et obstacles rencontrés dans ces démarches qui peuvent entraîner une rupture de l'information avec les phases précédentes. La seconde partie de cette thèse se concentre sur les enjeux informationnels liés à tous les acteurs impliqués dans le processus d'exploitation, y compris les occupants. La revue de l'état de l'art menée par J. Lai et C. Man sur la gestion du bâtiment souligne que les occupants jouent un rôle-clé dans ce processus, lequel vise à répondre à leurs besoins et à leurs demandes en termes de confort et de satisfaction (Lai & Man, 2017). Par conséquent, le suivi de la satisfaction des occupants devrait être une cible essentielle pour les exploitants, et les usagers finaux doivent faire partie du système d'acteurs puisqu'ils seront les futurs habitants du bâtiment.

Malgré l'importance des exploitants et des occupants dans la gestion du bâtiment, la plupart des recherches sur l'exploitation en BIM, en France et à l'étranger se concentrent aujourd'hui

sur des recherches techniques qui visent à trouver la meilleure façon de connecter les outils de gestion avec le modèle BIM. Une grande partie de ces recherches est également liée à la consommation d'énergie et aux économies de coûts (Abdellatif, 2019; Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Cependant, les acteurs qui participent à cette phase, leurs besoins et leurs enjeux sont très rarement présents dans ces recherches. Les enquêtes liées à la mise en place du BIM se sont multipliées ces dernières années et plusieurs études internationales sont régulièrement publiées sur l'adoption du BIM. C'est le cas du SmartMarket développé par Autodesk et Aecom sur la valeur commerciale du BIM pour la construction sur les principaux marchés mondiaux (Bernstein, 2014), et du rapport international du NBS⁴⁴ en 2019 sur les dernières informations sur l'état du BIM représentant les points de vue de près de mille professionnels de l'industrie. (Waterhouse, 2019). Malgré l'abondance de données dans ces études, il s'agit souvent d'analyser l'ensemble du secteur mais les exploitants et les usagers finaux ne font généralement pas l'objet d'observations.

Cette partie, composée de deux chapitres, apporte un éclairage sur les enjeux informationnels de gestion en BIM du point de vue des exploitants et des occupants. Dans le troisième chapitre, nous avons travaillé sur un cas d'étude en exploitation et avons mené plusieurs entretiens auprès de différents acteurs qui participent à la gestion en BIM des bâtiments. Dans le quatrième chapitre, nous analysons les intérêts et besoins des occupants à travers un questionnaire qui leur propose d'imaginer comment participer à la gestion du bâtiment de leur lieu de travail par le biais d'une plateforme BIM. Ces analyses ont révélé que les projets impliquant le BIM offrent une meilleure connectivité entre tous les acteurs impliqués dans la phase d'exploitation du bâtiment. Par ailleurs, les exploitants rencontrent des obstacles similaires à ceux identifiés en conception et en construction, tandis que les occupants sont désireux d'interagir avec le BIM pendant la phase d'exploitation et de prendre une part plus active dans ces démarches.

⁴⁴ Le NBS est le bureau national des standards et technologies aux États-Unis.

3. Usage du BIM et évolution des modes de gestion des bâtiments

Le BIM a eu un impact significatif sur la gestion des bâtiments. Les chercheurs travaillant sur l'intégration du BIM dans l'exploitation des bâtiments, tels que M. Dixit et M. Hosseini, ont souligné que les exploitants sont confrontés au même défi que les équipes de conception et les entreprises de construction lorsqu'il s'agit d'appliquer le BIM sur leurs outils et processus (Dixit et al., 2019; M. R. Hosseini et al., 2018). Comme pour les phases de conception et de construction, les méthodologies de travail des exploitants sont impactées par la technologie BIM qui transforme également leurs outils et les processus de gestion des bâtiments, notamment en ce qui concerne la transmission et le partage des informations.

La gestion des bâtiments représente actuellement plus de 60 % du cycle de vie d'un bâtiment en termes de coût et de temps (J. Wang et al., 2014). Les travaux de recherche de B. Becerik-Gerber ou A. Akcamete soulignent que pendant l'exploitation, les données opérationnelles sont considérées comme cruciales pour diminuer les dépenses et fournir des services tels que le confort et la sécurité, la surveillance et le contrôle à distance des installations (Akcamete et al., 2010; Becerik-Gerber et al., 2012). Dans ce contexte, la revue de littérature réalisé par R. Volk suggère que l'introduction des données sur les équipements dans la base de données des maquettes numériques, ainsi que la gestion des activités de maintenance à l'aide de la modélisation numérique, peut minimiser le temps d'intervention des équipes de maintenance et simplifier la gestion du bâtiment (Volk et al., 2014).

Malgré le large éventail d'avantages potentiels du BIM, un certain nombre d'obstacles ont été identifiés dans la littérature qui semblent contribuer substantiellement au manque d'application du BIM en exploitation. S. Liu, dans son analyse approfondie de l'industrie de la construction, a identifié les principaux défis à la mise en œuvre du BIM qui comprennent l'absence de réglementation nationale claire dans chaque pays, les coûts initiaux élevés des outils, le manque de compétences chez les professionnels, les problèmes organisationnels, ainsi que les questions réglementaires relatives à la propriété des données (Liu et al., 2015). D'après les recherches

menées par S. Durdyev sur l'adoption du BIM en exploitation, les obstacles les plus courants sont le coût élevé des logiciels, le manque de formation des employés, la question de la propriété des données, ainsi que l'absence de promotion et d'incitations réglementaires de la part des gouvernements (Durdyev et al., 2022). En France, E. Hochscheid, dans son analyse sur les principaux freins à l'adoption du BIM dans les agences d'architecture, a également identifié des obstacles très similaires à ceux de S. Durdyev et S. Lui : le coût associé aux logiciels, le manque de standards nationaux et de formation des acteurs, les problèmes techniques d'interopérabilité des outils, les problèmes organisationnels, et finalement, les facteurs culturels liés aux architectes et leur attachement aux méthodes traditionnelles (É. Hochscheid & Halin, 2018). En conséquence, les obstacles entravant l'adoption du BIM sont nombreux et similaires dans divers pays et professions de l'industrie de la construction. Par ailleurs, nous supposons que ces obstacles persistent tout au long du projet, de la conception à la maintenance et à l'exploitation. Ils seront notre point de départ pour examiner les défis et problèmes liés au BIM dans la phase d'exploitation et de maintenance, et examiner la continuité entre les différentes phases.

Ce chapitre étudie le point de vue des exploitants sur les projets BIM, ainsi que leurs besoins et enjeux, et les problématiques informationnelles auxquelles ils sont confrontés. Comme dans les chapitres précédents, l'analyse commence par un cas d'étude, et l'examen de sa documentation, de ses maquettes numériques et des discours des acteurs impliqués dans le projet. Toutefois, la méthodologie de travail, ainsi que les catégories d'analyse des enjeux et des besoins des acteurs, ont été modifiées pour s'adapter aux systèmes d'acteurs, aux outils, aux sémantiques et aux processus propres à la phase d'exploitation. Ensuite, plus de dix entretiens semi-directifs ont été menés avec des professionnels impliqués dans la gestion du bâtiment, afin de décrire la situation actuelle de leur métier face au BIM.

3.1. Les problèmes informationnels et organisationnels pendant la gestion et la maintenance d'un bâtiment universitaire

Dans cette section, nous abordons le cas d'étude d'un projet en phase exploitation qui a été confronté à des difficultés liées à l'utilisation de la maquette numérique pendant cette phase. Bien que dans ce projet, les données des équipements techniques aient finalement pu être

extraîtes vers les outils d'exploitation en forme de tableurs, la maquette n'a jamais été utilisée, causant ainsi une rupture informationnelle entre les phases de construction et d'exploitation. Nous examinons les circonstances qui ont entraîné cette rupture informationnelle et le défaut d'utilisation de la maquette numérique pendant la gestion du bâtiment.

3.1.1. Le cas d'étude d'un bâtiment universitaire

Parmi les projets pris en charge par l'entreprise qui a accueilli la convention CIFRE, le cas étudié est considéré comme le plus abouti en termes d'exploitation et de maintenance. Ce projet concerne un bâtiment universitaire qui a été nommé pour les BIM d'Or en 2017. Cette nomination témoigne de la qualité et de la sophistication des maquettes numériques réalisées, tant du point de vue de la géométrie que de l'information. Nous avons ainsi pu accéder aux dossiers de travaux exécutés et d'exploitation et maintenance associés à ce bâtiment. Ce projet présente les caractéristiques listées dans le Tableau 4 Description du cas d'étude 3

Tableau 4 Description du cas d'étude 3 - Bâtiment universitaire

	Etude de cas 1
Type de Projet	Public
Fonction :	Universitaire
Surface :	48.000 m ²
Emplacement :	Île-de-France
Date début et fin :	Date début et fin : 2012- 2017
Système de classification des données :	UNIFORMAT II
Phase début du BIM :	Fin APD-Phase Exécution
Mission BIM ALTO:	Production des maquettes : Plomberie, Chauffage, Ventilation Climatisation, Électricité et BIM management.

La consultation de documents et de maquettes, ainsi que les entretiens avec l'agence d'architecture, la cellule de BIM management et de synthèse, plusieurs bureaux d'études, l'exploitant final du bâtiment et la maîtrise d'ouvrage, ont permis une analyse approfondie de cette opération. De plus, ce projet a été sélectionné par l'Atelier de recherche de la Fondation

Bâtiment Énergie pour étudier l'économie circulaire des bâtiments. Ce travail de recherche a été coordonné par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Il nous a permis d'effectuer une analyse de l'information liée à l'économie circulaire des bâtiments. L'étude a mis en évidence les questions liées à l'économie circulaire, à l'interopérabilité informatique, à la capacité de stockage, aux compétences des acteurs et aux temporalités du projet qui ont provoqué des ruptures dans la chaîne d'information.

3.1.2. Observation du système d'acteurs de l'étude de cas 3: sa configuration et l'analyse documentaire

Similairement aux études de cas précédentes, le système d'acteurs du présent projet a été examiné. Toutefois, celui-ci s'est révélé encore différent des cas précédents, car la mission du BIM manager en phase d'exécution est alors confiée à un sous-traitant du bureau d'études techniques. Cela souligne la diversité des systèmes auxquels nous pouvons être confrontés dans un projet BIM.

Dans ce projet, la démarche BIM a été initiée dès la phase de l'avant-projet définitif. Bien que le client n'ait pas expressément demandé une réalisation en BIM, le bureau d'études a décidé de modéliser en BIM les locaux techniques en raison de la complexité de leur analyse en deux dimensions. Par la suite, l'agence d'architecture a proposé d'étendre la modélisation BIM à l'ensemble du projet. Il s'agit donc d'une initiative spontanée de la part des concepteurs, apparue à la fin de la phase de conception, afin de faciliter le travail de synthèse durant la construction, et diffère en cela des cas d'études du lycée et du bâtiment de bureaux dans lesquels les demandes de BIM provenaient du client ou de l'assistant à la maîtrise d'ouvrage BIM. Cette expérience montre qu'un projet BIM peut être demandé ou imposé par les concepteurs ou les réalisateurs. Ainsi, les travaux de recherche menés par I. Capdevila sur les approches entrepreneuriales dans l'innovation abordent la gouvernance à travers les approches *bottom-up*. Celles-ci privilégient les initiatives émanant naturellement des acteurs des niveaux inférieurs d'une structure hiérarchique, tel que le projet analysé, se propageant progressivement vers des niveaux supérieurs après acceptation et intégration de ces initiatives. Selon l'auteur,

cela favorise la motivation des membres à mener leur projet et à collaborer avec les autres (Capdevila, 2015).

La principale contrainte dans ce projet a été de travailler sans les objectifs BIM du client, sans cahier des charges ni convention BIM, et sans BIM manager pendant toute la phase de conception. Ainsi, la rédaction de ces documents a été prévue pour la phase d'exécution, comme illustré dans la Figure 29.

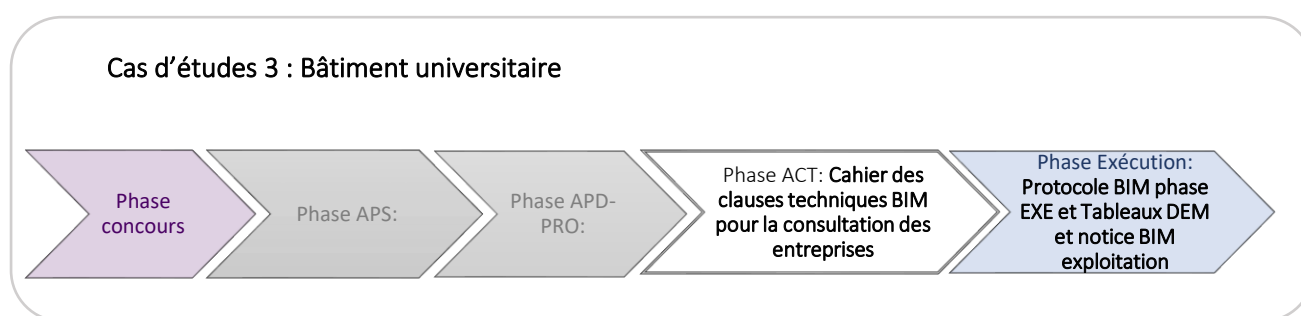


Figure 29 Documents produits par phase selon la chronologie du projet établie par la Loi MOP

L'élaboration de la documentation BIM a été initiée par un exploitant agissant en tant que sous-traitant du bureau d'études techniques qui a assisté à la mise en place du BIM pour l'exploitation et qui a travaillé à la rédaction de la charte BIM pendant la phase d'assistance pour la passation des contrats de travaux (ACT), juste avant le début du chantier, comme indiqué dans la Figure 29.

Avant le début de la phase de construction, la première convention BIM est établie lorsque le client est informé de l'approche BIM et décide d'intégrer une annexe ou une pré-convention BIM rédigée par le bureau d'études techniques dans le dossier de consultation des entreprises (DCE). En conséquence, certaines entreprises ont été contractuellement tenues d'utiliser le BIM avant le début des travaux. Cependant, le BIM n'est pas obligatoire dans les marchés publics, ce qui a limité le nombre d'entreprises travaillant avec cette technologie. Pour gérer l'ensemble du processus impliquant des entreprises utilisant ou non le BIM, ces projets nécessitent souvent une réunion préliminaire pour déterminer les entreprises qui utiliseront le BIM et celles qui travailleront de manière traditionnelle, ainsi que pour définir les procédures d'introduction des données des entreprises non-BIM, et les responsables de cette tâche.

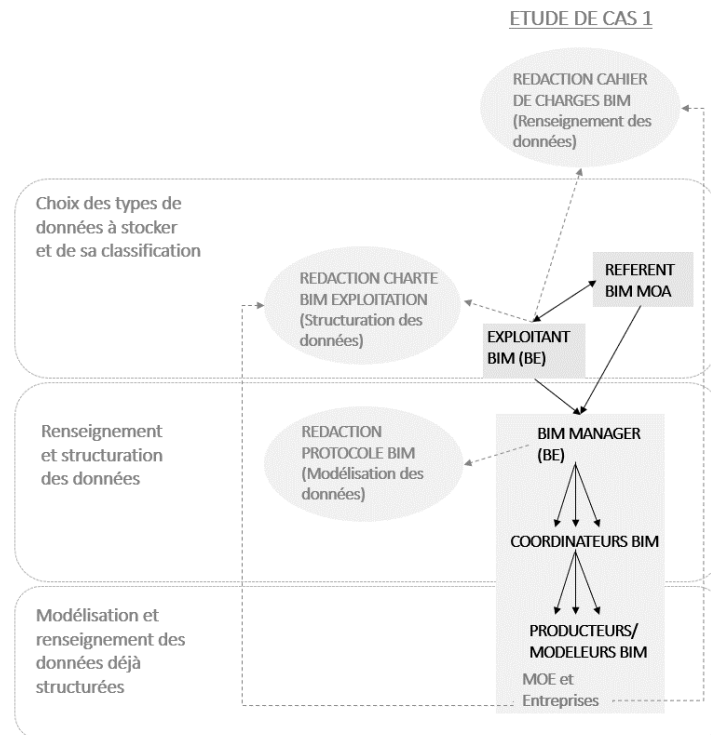


Figure 30 Diagramme de l'organigramme BIM selon les tâches informationnelles de chaque acteur du projet.
(Source : Graphique préparé par l'auteur à partir de l'analyse du cas d'étude 3)

Dans ce cas d'étude, étant donné que toutes les entreprises n'avaient pas de compétences BIM, certains lots, comme la façade, ont été inclus comme une mission complémentaire des architectes, tandis que le bureau d'études a accompagné l'entreprise de fluides spéciaux pendant la modélisation. Cette observation met en évidence la participation des concepteurs, en particulier des architectes, à la modélisation des maquettes d'entreprises qui manquent de compétences BIM. Ces situations favorisent les relations du point de vue interprofessionnel (Evette, 2001), ainsi que la juxtaposition de connaissances de disciplines différentes autour de la maquette numérique. En outre, dans la fusion des données des entreprises dans la maquette numérique de l'architecte, ce dernier endosse le rôle de « chef d'orchestre », tel que défini par L. Levy ou M. Blanc comme étant la figure traditionnelle de l'architecte (Blanc, 2010; Levy, 2005). Cela signifie que dans ce type de missions, l'architecte devient responsable de la centralisation des données du bâtiment. Nous avons pu observer que d'habitude, les architectes, grâce à leurs compétences informatiques, introduisent la majorité des informations et font même une partie de la modélisation des entreprises (tels que les paysagistes, les façadiers) pendant la conception ou la construction des bâtiments. Au moment d'introduire les données des

entreprises en phase de construction, ce phénomène se produit également pour une large partie des lots architecturaux qui incluent la menuiserie intérieure, la plâtrerie, les revêtements de sols et de murs, ainsi que le mobilier. Ces lots ne sont pas intégrés à la maquette numérique, ce qui oblige les architectes à entrer eux-mêmes les informations relatives aux finitions des matériaux et à leurs caractéristiques. Cependant, dans ce projet en particulier, ni les architectes ni les entreprises n'ont été chargés d'intégrer ces informations. Par conséquent, les données relatives aux matériaux introduites par les architectes à partir des informations des entreprises dans ce projet sont insuffisantes, non vérifiées et non organisées.

Dans le cadre de la phase d'exploitation, nous avons observé l'absence de tensions, de conflits ou de négociations, en comparaison avec les phases précédentes. Bien que des ruptures informationnelles aient été identifiées, celles-ci se produisent entre la phase de construction et la phase d'exploitation plutôt qu'à l'intérieur du système d'acteurs de la phase exploitation. De plus, l'analyse des échanges entre les acteurs indique un changement significatif du système d'acteurs entre la phase de construction et la phase d'exploitation, comme le montre la Figure 31:

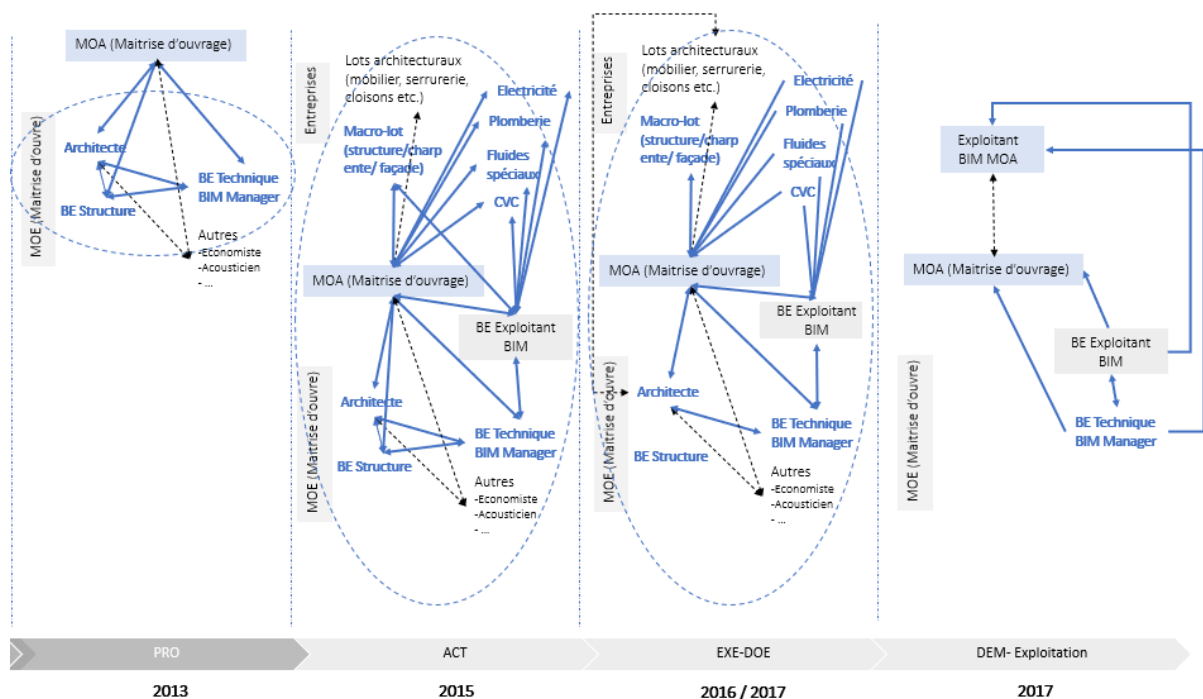


Figure 31 Fiche du projet du bâtiment universitaire dans les phases de conception, d'exécution et d'exploitation. Extrait de l'ensemble des fiches réalisées par projet à propos des flux de communication au sein du système d'acteurs.

La réduction des conflits entre les acteurs en phase d'exploitation peut être attribuée à la simplification du système d'acteurs. Cependant, les différences de configuration entre les phases d'exécution et d'exploitation peuvent également causer des divergences entre les acteurs de ces deux phases, conduisant à des ruptures informationnelles qui seront examinées plus en détail dans la section suivante. Lorsque nous avons interrogé les acteurs sur d'éventuelles frictions ou conflits informationnels survenus lors des phases précédant l'exploitation, aucun n'a été identifié. Il est possible que cela soit dû à l'oubli des dynamiques du projet de la part des acteurs, ou à la mise en place d'une démarche volontaire du système d'acteurs *bottom-up* qui a favorisé la collaboration et les démarches de co-conception entre eux, évitant ainsi l'apparition de conflits.

Dans ce projet, même si la démarche BIM en exploitation n'est finalement pas arrivée à son terme, nous observons que, pendant la phase exploitation, les ruptures informationnelles ne créent pas de conflits entre les acteurs. Ainsi, l'exploitant assistant à la maîtrise d'œuvre a affirmé lors de l'entretien : « *L'engagement et le soutien de la maîtrise d'ouvrage dans ce projet a été crucial pour le développement et mise en place du processus BIM*⁴⁵. »

En somme, bien qu'il y ait des ruptures informationnelles entre la phase de construction et la phase d'exploitation dans ce projet, il y a une réduction des conflits entre les acteurs à l'intérieur de chaque phase, notamment dans le système d'acteurs de la phase d'exploitation.

3.1.3. Causes des ruptures informationnelles identifiées lors de l'analyse des entretiens

Nous avons identifié trois situations dans ce projet où des ruptures informationnelles se produisent entre la phase de construction et la phase d'exploitation, en menant des entretiens semi-directifs avec plusieurs parties prenantes, notamment le responsable du bureau d'études d'exploitation, le BIM manager du projet en phase de construction, le chef de projet du bureau d'études techniques, un représentant de la maîtrise d'ouvrage, et le chef de projet de l'agence d'architecture. Contrairement aux deux études de cas précédentes qui se caractérisaient par un

⁴⁵ Étude de cas 3 - Phase d'exploitation - Entretien avec l'exploitant assistant à la maîtrise d'œuvre en septembre 2018.

seul problème d'information, dans ce projet, plusieurs difficultés ont été identifiées entre la fin de la construction et le début de l'exploitation du bâtiment, qui étaient liées à des problèmes tels que le choix managérial du BIM et le manque de compétences, les contraintes technologiques liées à l'interopérabilité des outils BIM, la participation tardive de l'exploitant dans le projet et le manque de prise en compte des considérations environnementales. Les situations identifiées ont mis en évidence une rupture d'information significative entre la phase d'exécution et celle d'exploitation.

3.1.3.1. Le BIM : un choix managérial et un problème de compétences

La première situation analysée lors des entretiens avec les acteurs du projet concerne l'impact du manque de compétences des exploitants résultant de la transformation des métiers due à l'adoption du BIM, ainsi que les choix managériaux de la maîtrise d'ouvrage pour la gestion de son bâtiment. Ce type de situation ne permet pas de négociation car il s'agit d'une décision du client qui est l'acteur le plus influent au sein du projet.

Tableau 5 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant le manque de compétences

Dans ce projet, la maquette préparée pour l'exploitation n'a jamais été utilisée par les techniciens en charge de la gestion et de la maintenance du bâtiment. Les changements effectués sur les équipements et distributions internes de l'immeuble ainsi que l'absence de mise à jour de la maquette numérique ont rendu celle-ci obsolète et incompatible avec le bâtiment construit.

Par ailleurs, la version de l'outil de modélisation utilisée était trop ancienne pour faire une mise à jour de la maquette numérique sans perte d'informations. Le manque de formation en compétences BIM de l'équipe en charge de la gestion du bâtiment a été le principal problème rencontré lors des entretiens. Ils n'ont pas considéré l'embauche d'un spécialiste BIM comme une priorité à ce moment.

Dans un premier temps, nous avons analysé le rôle plutôt passif de la maîtrise d'ouvrage dans la mise en place du BIM dans ce projet. Tel que nous l'avons observé dans le point précédent,

il s'agit d'une démarche BIM qui a été impulsée à l'origine par l'équipe de conception et non par le client. Pendant les phases de conception et de construction, le niveau de compétences BIM du système d'acteurs a impulsé le développement des technologies BIM au sein du projet et convaincu la maîtrise d'ouvrage de son intérêt :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec le chef de projet du BE	09/2018
« Argumentation du bureau d'études faite au maître d'ouvrage pour le convaincre de continuer la démarche en BIM : "On vous propose de mettre en place le BIM, d'animer les entreprises à travailler en BIM pour vous permettre à terme d'avoir une maquette avec plein d'informations qui vous aideront dans le cas de la maintenance." L'engagement et le soutien de la maîtrise d'ouvrage dans ce projet a été crucial pour le développement et la mise en place du processus BIM. »			

Cependant, de la même façon que les compétences des acteurs ont impulsé le BIM pendant la construction du bâtiment, le manque de compétences des exploitants pendant la gestion du bâtiment a freiné tout intérêt de la maîtrise d'ouvrage à continuer avec ce projet en BIM :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec la référente au sein de la MOA	02/2019
Pour le service technique interne de l'école, le passage n'était pas facile, notamment à cause des raisons humaines - organisationnelles - plutôt que des raisons techniques. Nous avons dû déménager ici parce que c'est la fusion de deux écoles avec un service technique qui est passé de la gestion de bâtiments des années 70 à des bâtiments construits en 2017 et donc dans le savoir-faire il y a des différences. Il y a des gens qui ont été formés aux nouveaux outils d'exploitation, mais en fait on n'avait personne en compétence pour gérer 48 000 m² en maquette BIM et du coup, finalement, on a choisi de faire autrement. Il s'agit d'un choix managérial et je sais que pour les personnes qui ont conçu les maquettes numériques c'est difficile à comprendre, mais pour que la maquette numérique soit aujourd'hui un outil d'exploitation, c'est très laborieux parce qu'il faut avoir quelqu'un qui maîtrise la maquette numérique en interne et qui arrive aussi à la mettre à jour de temps en temps et nous n'avons pas ça. En plus, on n'aurait pas pu engager quelqu'un à ne faire que ça parce que on avait tellement d'autres besoins. Cependant nous avons récupéré aussi toute l'information des composants dans le dossier d'exploitation et maintenance que nous avons extrait des maquettes numériques.			

Lors de cet entretien avec la référente au sein de la maîtrise d'ouvrage, plusieurs sujets ont été abordés : d'une part, la personne en charge de la gestion du projet a reconnu que la décision de ne pas utiliser des maquettes numériques pendant la phase d'exploitation était due à des considérations purement managériales. D'autre part, le manque de compétences en BIM de tous les membres de l'équipe d'exploitation a entravé le développement du BIM pour l'exploitation. Nous avons observé que dans le cas des exploitants, la transformation des métiers ne conduit pas à l'apparition de nouveaux métiers ou de nouveaux postes pour le moment, mais plutôt à de nouvelles tâches et compétences au sein des postes existants (Guéneau, 2019). En même temps, d'après le discours de la maîtrise d'ouvrage, la totalité des acteurs a aussi dû être formée aux nouveaux outils d'exploitation utilisés dans le bâtiment, et pourtant, cette formation n'a pas inclus les outils BIM. La maîtrise d'ouvrage affirme en effet que le BIM n'est pas actuellement une priorité pour l'exploitation des bâtiments.

Ce constat montre la crainte du changement provoqué par le BIM qui est partagée par les entreprises du secteur de la construction. Cette perception est également soulignée par D. Holzer dans son guide pour les BIM managers (Holzer, 2015) : *« Par exemple, certains concepteurs ne souhaitent pas développer leurs compétences en matière de BIM car ils craignent l'étiquette de “gestionnaire de maquettes” ou d’“architecte BIM”. Les ingénieurs peuvent être critiques à l'égard de l'adoption du BIM car il les pousse plus loin dans la production de documents de conception. Les entreprises peuvent préférer faire les choses comme elles les ont faites dans le passé. L'utilisation du BIM suggère de bouleverser leurs principes établis⁴⁶. »*

La crainte du changement est une tendance fréquemment observée lors de la mise en place de processus innovants et de l'application de technologies innovantes telles que le BIM. C.J. Nemeth suggère que la principale source de préoccupations chez les acteurs réside dans la peur d'un échec à la suite de ce changement (Nemeth, 1997). D. Abdou et R. Hussein illustrent la chute de Nokia et mettent en évidence que cette entreprise disposait de l'opportunité de se transformer et de se renouveler, mais en raison de son autosatisfaction, de sa peur du changement, de son absence d'innovation et de sa lenteur d'adaptation, elle a connu l'un des plus importants échecs mondiaux du marché (Abdou & Hussein, 2020). Enfin, A. Kuyatt soutient que la gestion organisationnelle est la principale responsable du succès ou de l'échec de la mise en œuvre d'un processus innovant, et ajoute que les pratiques de direction des

⁴⁶ Traduction d'un extrait du livre « The BIM Manager's Handbook, Part 2: Change Management » (Holzer, 2015).

entreprises qui découragent l'innovation doivent être remplacées par des pratiques qui l'encouragent (Kuyatt, 2011). Pour A. Kuyatt : « *La direction doit faire de l'organisation une opération ambidextre capable de continuer à améliorer l'efficacité des produits et services actuels par des innovations progressives, tout en encourageant simultanément la découverte, l'adoption et la mise en œuvre d'innovations radicales, sans crainte de l'échec, afin d'accroître la capacité de l'organisation à être compétitive*⁴⁷. » Cependant, dans ce projet, la direction de la maîtrise d'ouvrage a choisi de ne pas prendre de risques.

Après avoir examiné les décisions de gestion confrontées à la résistance au changement des acteurs, nous avons constaté que, comme pour les phases de conception et de construction, l'insuffisance de compétences représente également un obstacle à l'adoption du BIM dans ce projet en phase d'exploitation. L'amélioration des compétences des acteurs est donc désormais un défi crucial. La majorité des ruptures informationnelles identifiées dans nos études de cas proviennent d'un manque de compétences des parties prenantes impliquées, tel que le département technique d'exploitation du projet que nous sommes en train d'analyser.

Cependant, les ruptures d'informations ne sont pas uniquement causées par le manque de compétences des professionnels en BIM, mais aussi par le manque de formation sur l'exploitation des bâtiments. La séparation actuelle entre les phases de construction et d'exploitation a entraîné un manque de formation des professionnels impliqués dans la construction du bâtiment en matière d'exploitation et de maintenance. Ceci est un problème qui est également présent dans les projets non-BIM et qui n'est pas exclusif à la France. Les études menées par S. Kalantari ou H. Jawdeh mettent en évidence l'importance de la participation des exploitants et de leurs compétences dès les phases de conception afin de garantir une efficacité accrue du processus (Kalantari et al., 2017) (Jawdeh et al., 2010). Ce besoin découle d'un déficit de formation chez les concepteurs en matière de gestion de bâtiments qui doit être compensé par la participation active des exploitants dès les phases préliminaires. En France, le manque de compétences des architectes en matière d'exploitation découle en partie d'une formation qui se concentre sur la conception de bâtiments, mais qui n'aborde pas suffisamment les étapes postérieures à la construction, voire s'arrête avant celles-ci. Des situations similaires ont été observées dans d'autres pays du monde. Par exemple, en Hongrie, I. Hajnal constate que les étudiants des écoles d'architecture et d'ingénierie civile ne sont pas

⁴⁷ Traduction d'un extrait de l'article « Managing for innovation: Reducing the fear of failure » (Kuyatt, 2011).

suffisamment familiarisés avec les services de gestion des bâtiments ; et en Angleterre, I. Price proclame que l'exploitation des bâtiments est une discipline émergente et que la participation des architectes est cruciale pour développer ce nouveau domaine (Price, 2002) (Hajnal, 2014). Nous avons donc observé qu'il est capital de développer les compétences requises et d'anticiper les besoins des acteurs de l'exploitation pour intégrer dans la maquette numérique les informations nécessaires à la gestion des bâtiments, comme nous l'avons vu également dans l'analyse de la deuxième situation.

3.1.3.2. Les contraintes technologiques pour l'exploitation en BIM et l'arrivée de l'exploitant au projet

La deuxième situation étudiée lors des entretiens avec les parties prenantes du projet concerne l'engagement d'un exploitant différent de celui qui a participé à la préparation des maquettes, la mise en place d'un outil d'exploitation différent de celui qui était initialement prévu, ainsi que les problèmes informatiques qui en découlent, comme le montre l'encadré :

Tableau 6 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant la modification de l'outil d'exploitation

Les outils d'exploitation ne sont pas conçus pour les processus BIM, ce qui nécessite une collaboration étroite entre les concepteurs et les exploitants pour accéder aux données de la maquette numérique. Fréquemment, cette collaboration fait émerger des problèmes informatiques d'interopérabilité. Dans ce projet, l'exploitant assistant de la maîtrise d'œuvre a aidé les concepteurs à organiser les données pour produire des tableurs utilisables pour son logiciel de gestion de la maintenance.

Cependant, le gestionnaire de l'établissement a décidé de changer l'outil d'exploitation à la fin du chantier. Avec le changement d'outil, il a été nécessaire de configurer la maquette numérique en fonction des besoins du nouveau logiciel d'exploitation. Les objets dans les modèles avaient de nombreux paramètres et codifications à modifier, ce qui a augmenté la charge de travail pour les concepteurs.

Dans ce projet, nous avons observé que la base de données préparée par le bureau d'études exploitation, qui a accompagné la maîtrise d'œuvre n'était pas adaptée à la structuration de données requise par les outils de l'exploitant mandaté par le client à la fin du chantier. Les problèmes informatiques d'interopérabilité entre les outils sont parmi les causes des ruptures informationnelles en phase d'exploitation. De plus, le choix tardif du gestionnaire pour désigner l'opérateur contribue également aux ruptures informationnelles. Après l'arrivée du nouvel exploitant, toute la structure des données pour la maintenance des équipements a dû être inversée, ce qui a engendré une surcharge de travail pour le BIM manager et le bureau d'études exploitation :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec le responsable de la cellule BIM Management et synthèse	09/2018
« Nous avons beaucoup travaillé sur la structuration de données, nous avons ajouté des paramètres aux objets, et chacun avait une dizaine de paramètres ; et notamment il y avait une codification spécifique sur les gammes de maintenance. Par exemple, on disait le changement des filtres là, je vais le faire une fois par mois. Cependant le nouvel outil marchait à l'inverse on avait « une fois par mois » je dois faire toute cette liste de tâches y compris le changement des filtres. Du coup, tout le tableau Excel et tout le paramétrage a dû être inversé pour l'intégrer dans l'outil du nouvel exploitant. »			

L'arrivée tardive de l'exploitant sur l'opération est également une problématique héritée des projets traditionnels qui a déjà été abordée dans les recherches concernant les démarches de management intégré qui soutiennent la nécessité d'échanger avec tous les acteurs depuis le début du projet, y compris les exploitants (Ilozor & Kelly, 2012). La participation de l'exploitant aux phases de conception et construction est un sujet également traité par V. Biau dans sa recherche sur le partenariat public-privé⁴⁸ en Grande-Bretagne, faisant référence à ce que le monde anglo-saxon appelle la « synergie DBO » (*Design-Build-Operate*) qui montre l'intérêt de la prise en compte des besoins en exploitation dès la phase de conception (Biau, 2009).

D'autre part, la variété des outils utilisés en exploitation est un facteur important de difficulté, car il s'agit d'un marché très fragmenté, avec de nombreux outils différents. Cette situation

⁴⁸ Les partenariats public-privé (PPP) impliquent l'extension du contrat global de partenariat à la réalisation, au financement et à l'exploitation du bâtiment, avec la participation de l'exploitant tout au long du projet, y compris pendant la phase de conception et de construction. Toutefois, F. Bougrain soutient que ce type de contrats a mis en évidence les problèmes de collaboration entre les exploitants et les acteurs qui participent à la conception et à la construction des bâtiments. (Bougrain, 2010).

crée des problèmes dans l'interconnexion des maquettes numériques avec les outils d'exploitation, comme cela a été souligné par l'exploitant assistant à la maîtrise d'œuvre lors de l'entretien :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec l'exploitant assistant à la MOE	09/2018
« Ça fait très longtemps que les outils de gestion de la maintenance existent, il y a 25 ans ça existait déjà alors que le BIM n'existait pas dans notre métier. L'ensemble d'éditeurs qui développaient ces outils ont avancé et n'ont pas attendu le BIM. Le problème actuellement c'est que les éditeurs essayent d'intégrer le BIM à leurs outils (intégrer la géométrie et certaines informations) mais pas se plier au BIM (partir d'une base de données structurée par objets tel qu'il est proposé par la maquette numérique). Ils n'ont pas envie de faire ce changement car ce sont des outils très bien structurés pour la gestion des tâches de maintenance et qui existent depuis très longtemps. La passerelle la plus simple entre ces outils et le BIM est le tableau Excel ; sur le projet du bâtiment universitaire, c'est ce qu'on a mis en place. Et même dans ce projet avec des éditeurs de logiciel qui connaissaient déjà le BIM, nous avons galéré quand nous avons eu besoin de récupérer les données telles qu'on les avait structurées pour l'outil d'exploitation finalement choisi. »			

Lors de nos entretiens, nous avons été interpellées par l'utilisation de l'expression « se plier au BIM » qui suggère une domination ou une imposition, et que certains opérateurs résistent pour défendre leurs propres outils. Cette expression est également ressortie lors de discussions avec des professionnels en charge de la simulation énergétique dans les cas d'étude que nous avons analysés en phase de conception. En effet, dans le cas de la simulation énergétique, la problématique informatique est similaire à celle de l'exploitation, bien que les logiciels de simulation existent depuis longtemps et qu'il y en ait de nombreux, leur manière de structurer les données et de comprendre la géométrie est radicalement différente de celle des logiciels BIM. Ces écarts ont été identifiés en France par les retours d'expérience du projet sur « L'Apport du BIM pour la mise en œuvre du référentiel E+/C » lancé par le Plan de Transition Numérique du Bâtiment en 2018, mais ils ont été également observés dans plusieurs recherches à l'étranger (Hitchcock & Wong, 2011; Yun et al., 2014). Le problème associé aux outils de simulation et d'exploitation en BIM est que les parties prenantes et les développeurs ont tendance à privilégier l'adaptation de la maquette BIM aux outils existants plutôt que de développer de nouveaux outils spécifiquement pour le BIM. Cette approche nécessite la création de passerelles pour chacun de ces outils, ce qui suscite des inquiétudes quant à la résistance au changement chez les parties prenantes impliquées dans le processus. En ce qui concerne la phase d'exploitation, la cellule BIM de ce projet estime qu'à l'avenir, il serait préférable de mettre en

place une plateforme de gestion centralisée permettant de regrouper tous les outils de simulation et d'exploitation en BIM. Cette plateforme, également appelée « environnement commun de données », se présenterait sous la forme d'un logiciel distinct qui permettrait de gérer et centraliser tous ces outils. Ainsi, le responsable de la cellule BIM management et synthèse estime qu'« *il y a tellement d'outils en exploitation et de façons de gérer le patrimoine qu'à l'avenir il devrait avoir une plateforme qui permette de connecter tous les outils exploitation pour la gestion de la maintenance, pour la gestion énergétique, la réservation des salles, etc.*⁴⁹ ».

Les méthodes de travail des exploitants diffèrent largement et en conséquence, nous avons décidé de demander au responsable du bureau d'études exploitation de décrire le processus qu'il a mis en place pour ce projet, ainsi que les façons dont ce processus pourrait être intégré dans une approche BIM en exploitation. Lors de l'entretien avec cet acteur, un diagramme représentant le processus d'exploitation proposé pour ce projet a été élaboré en collaboration avec lui, tel qu'illustré dans la Figure 32 :

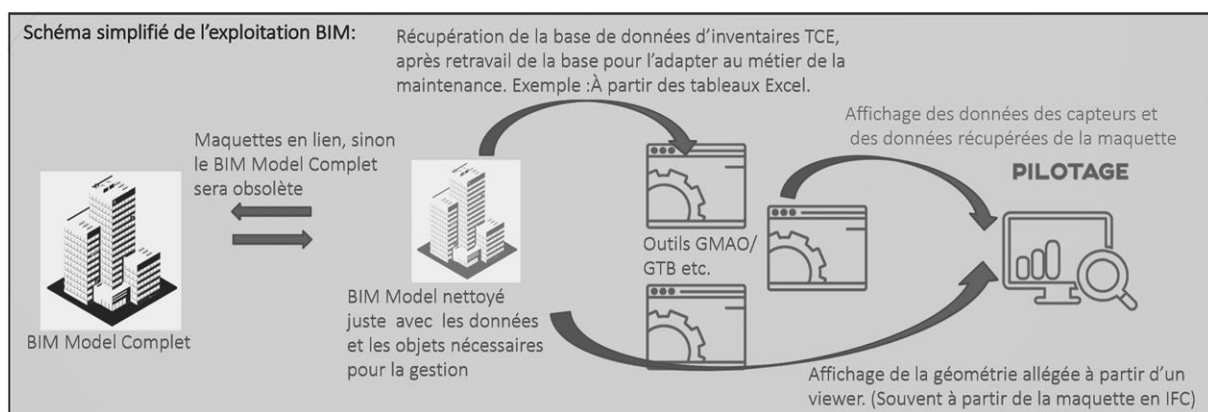


Figure 32 Diagramme élaboré en collaboration avec le bureau d'études exploitation lors d'un entretien, décrivant le processus de récupération de la maquette numérique pour l'exploitation. Ce processus implique l'utilisation d'une plateforme de gestion centralisant la maquette ainsi que les outils d'exploitation.

L'exploitant a expliqué que ce processus a été mis en place pour le projet du bâtiment universitaire, mais qu'ils se sont arrêtés au deuxième point « Récupération de la base de données à partir des tableaux Excel ». La démarche aurait dû continuer avec la récupération

⁴⁹ Étude de cas 3 - Phase d'Exploitation - Entretien avec le responsable de la cellule BIM management et synthèse en septembre 2018.

de la maquette et la création d'une cellule BIM au sein du service d'exploitation qui aurait permis la mise à jour de la maquette BIM selon les modifications et les évolutions du bâtiment (transformations des salles, déplacements des cloisons, changements des équipements, etc.). Le modèle géométrique de la maquette et les tableurs ont été intégrés dans un outil de gestion, mais il n'a pas été mis en place de plateforme collaborative qui centralise la géométrie du bâtiment, les outils d'exploitation et les bases de données sous forme de tableaux, tel que le montre la Figure 32. Ainsi, la personne interrogée suggère comme solution idéale l'intégration d'une visionneuse 3D dans la plateforme ou l'outil de pilotage, ce qui faciliterait l'importation de la géométrie de la maquette numérique. Cette classe de dispositif de visualisation offre aux exploitants la possibilité de visualiser les données provenant de la maquette numérique ainsi que des capteurs du bâtiment. Cette technologie est proposée et développée dans de nombreux travaux de recherche, tels que ceux de B. Naticchia ou K. Chang, qui décrivent en détail la configuration de plateformes intégrant la géométrie 3D du modèle numérique, organisées par objet, permettant d'obtenir des informations sur des facteurs tels que la température, la gestion de l'espace, etc. (Chang et al., 2018b; Naticchia et al., 2020). La majorité des recherches sur la gestion des bâtiments avec la maquette numérique s'accordent sur le fait que cela doit être réalisé par le biais d'une plateforme numérique ou environnement commun de données, qui soit capable de relier les outils d'exploitation et la maquette numérique, tel que préconisé par le responsable du bureau d'études exploitation de ce projet (Abdellatif, 2019) (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Comme le souligne C. Preidel, les plateformes – ou environnements communs de données – sont utilisées dans les phases de conception et construction afin de faciliter la collaboration du point de vue technologique et de permettre le partage des documents et des maquettes numériques entre les acteurs du projet (Preidel et al., 2018). Néanmoins, bien que les plateformes soient largement utilisées pendant la construction des bâtiments car elles n'ont pas besoin de se connecter à de nombreux outils comme pendant l'exploitation, certaines plateformes sont également utilisées pendant l'exploitation et la maintenance des bâtiments, comme le souligne J. Patacas (Patacas et al., 2020).

Dans ce projet, l'écart entre la formation des acteurs et leurs besoins informationnels avant et après la fin du chantier influence également le choix des outils numériques. L'exploitant dans ce projet a le sentiment que la manière dont les acteurs et les outils de conception et construction en BIM structurent les données de la maquette numérique ne prend pas en compte les besoins en exploitation :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec le responsable de la cellule BIM Management et synthèse	09/2018
« La vraie difficulté que j’ai identifiée c’est que le BIM et la maquette BIM c’est d’abord une base de données qui est dédiée à l’acte de construire ; elle n’est pas pensée, et les logiciels ne sont pas pensés, comme un mainteneur pense, elle est construite du point de vue d’un constructeur. Ils n’utilisent pas les informations de la même façon et ne les regroupent pas de la même façon. Dans la maquette BIM, tout est détaillé avec plein d’informations tel que le placement des poteaux sur chantier qui ne nous sert à rien, mais en maintenance, j’ai besoin par exemple de l’historique. Une autre question, c’est que pour moi, les vannes du réseau pour la maintenance sont importantes parce qu’elles coupent le système, et pourtant, pendant la construction, le passage des réseaux, c’est le plus important, et la vanne, ils peuvent même l’oublier. »			

L'exploitant attribue la responsabilité du manque de qualité dans la base des données des maquettes numériques aux acteurs des phases de conception et construction et aux outils qu'ils utilisent. En conséquence, les causes sous-jacentes au manque de qualité des données identifiées par le bureau d'études exploitation sont reliées aux difficultés d'interopérabilité entre les outils employés et les besoins divers, les méthodologies de travail distinctes et compétences variées des acteurs de chaque phase. Dans la première partie de la thèse, nous avons observé qu'une grande partie des recherches sur les outils de conception assistée par ordinateur en France et à l'étranger étaient basées sur la manière de classer et structurer les données du bâtiment (Ameziane, 1998; Hamani, 2005; Tlili, 1986). Ainsi, l'information et l'informatique sont inextricablement liés, et les différences dans la façon de structurer les données produisent des outils informatiques incompatibles, entraînant des problèmes d'interopérabilité d'origine informationnelle.

Au cours de notre analyse des contraintes technologiques, nous avons constaté que le BIM est utilisé comme une stratégie commerciale en exploitation. Le responsable du bureau d'études exploitation nous a expliqué que, malgré les efforts déployés dans le cadre de ce projet pour mettre en place une exploitation intégrale en BIM, cet objectif n'a pas été atteint en raison de la complexité de cette démarche. Au cours de l'entretien, il a exprimé son étonnement devant le nombre de professionnels qui prétendent pouvoir effectuer une exploitation en BIM sans difficulté lors de présentations dans les salons et conférences :

Étude de cas 3	Phase exploitation	Entretien avec le responsable de la cellule BIM Management et synthèse	09/2018
« Dans la profession on parle beaucoup du BIM, et actuellement il y a beaucoup de projets en expérimentation, parce que le BIM en exploitation et maintenance n'est pas si simple. C'est un "challenge", c'est un sujet intéressant et tout le monde s'y plonge. Vous pouvez trouver des sites pilotes partout. Cependant, parfois le BIM en exploitation c'est plutôt de la communication en ce moment, je ne dis pas qu'il ne commence pas à y avoir des choses plus concrètes mais la plupart, c'est de la communication afin de démontrer qu'ils sont en avance par rapport aux autres. »			

Ces discours reflètent les enjeux commerciaux des professionnels impliqués, notamment les organisateurs de salons professionnels, qui cherchent à accroître la visibilité des entreprises et à attirer de nouveaux clients. Dans le domaine professionnel du BIM, il existe un écart significatif entre les discours tenus et les savoir-faire réels. Il peut s'avérer complexe de faire la distinction entre les pratiques authentiques de la profession et les discours purement prospectifs ou imaginaires, que ce soit lors de salons ou dans la presse spécialisée. Les discours tenus dans ces événements mettent en avant les enjeux commerciaux qui renvoient à la théorie de la cité marchande de Boltanski et Thévenot qui traite de la concurrence accrue et des techniques publicitaires visant à vendre une réalité illusoire (Thévenot & Boltanski, 1991). Dans cette situation, il est important de considérer l'avertissement de G. Gaglio qui met en garde contre le risque de fascination pour l'innovation et les nouvelles technologies, ce qui peut également être observé dans certains discours entourant le BIM (Gaglio, 2012). Par ailleurs, le manque de stabilisation de cette nouvelle technologie située encore la phase dite « objet-frontière » (Flichy, 2017), peut entraîner des résistances lorsqu'elle est confrontée aux contextes techniques et sociaux, et notamment aux pratiques et outils existants.

3.1.3.3. L'économie circulaire dans les projets BIM

La troisième situation analysée a émergé dans le cadre de l'Atelier de recherche de la Fondation Bâtiment Energie sur l'économie circulaire des bâtiments⁵⁰. Ce cas d'étude a été mené dans le

⁵⁰ Le projet de la Fondation Bâtiment Energie (FBE) a eu pour but de développer des indicateurs permettant de caractériser l'application de l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment. Quarante participants ont pris part à un atelier de travail organisé en deux groupes. Le premier groupe, axé sur la recherche, a élaboré les fondements scientifiques des indicateurs de caractérisation, tandis que le second groupe, composé d'utilisateurs, a fourni des informations sur les opérations. Les travaux de recherche sur l'économie circulaire ont porté sur cinq enjeux différents : L'évaluation des performances en vue d'un réemploi ; La caractérisation du contexte local ; La conception pour des bâtiments transformables et réversibles ; La conception

cadre d'une analyse informationnelle des poutres en acier qui a révélé un manque d'informations, en particulier relatives à la traçabilité des matériaux, ce qui a entravé les analyses d'économie circulaire :

Tableau 7 Description du conflit informationnel analysé dans le cas d'étude 3 concernant le manque d'information

Ce projet a été choisi dans le cadre de l'Atelier de recherche de la Fondation Bâtiment Energie en vue de mener une analyse sur l'économie circulaire des bâtiments, en se concentrant sur la traçabilité des informations des poutres en acier. Ce projet disposait de maquettes BIM détaillées à la fin du chantier, comprenant des descriptions complètes des équipements tels que les lampes ou la machine à air conditionné, avec un calendrier d'entretien associé. Cependant, les informations sur l'acier étaient très limitées, ce qui a rendu impossible l'établissement d'une traçabilité à partir de la maquette numérique.

Au cours des entretiens, a été mis en lumière le peu d'intérêt de l'équipe de conception et du client pour les données des matériaux et l'économie circulaire du bâtiment. Le manque d'expérience BIM des entreprises et l'absence de demande de la part du client ont également contribué aux absences informationnelles identifiées pendant l'Atelier de recherche. De plus, le BIM manager appartenant à un bureau d'études techniques, il a mis l'accent sur la gestion des équipements plutôt que sur les matériaux dans la liste des usages et objectifs du protocole BIM.

D'après l'analyse des réglementations liées aux déchets de construction et de démolition aux États-Unis réalisée par C. Clark, le secteur de la construction est responsable du pourcentage le plus élevé des déchets produits dans le monde (Clark et al., 2006). Par conséquent, plusieurs travaux de recherche ont été menés pour réduire le nombre de déchets, comme le souligne L. Akanbi. L'économie circulaire vise à établir une traçabilité des données des matériaux afin de faciliter leur réemploi et leur recyclage, et la structuration des données dans les projets BIM peut aider à faciliter ces démarches (Akanbi et al., 2018).

pour la démontabilité ; La capitalisation de la donnée, et en particulier l'identification des données à conserver pour le réemploi ou un recyclage ultérieur. La doctorante a participé aux réunions du dernier enjeu sur la capitalisation de la donnée, dans le groupe de recherche et d'utilisateurs, et à la rédaction du document final : <https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf>

Nous avons participé à cet atelier dans le groupe « capitalisation de la donnée » qui envisageait la meilleure manière de stocker les données des projets de construction en BIM visant l'économie circulaire. Le groupe de travail a examiné le bâtiment universitaire de l'étude de cas 3 pour suivre les informations relatives à une poutrelle de sa fabrication à son installation sur chantier, étant donné que c'était l'élément sur lequel le groupe disposait du plus d'informations concernant le processus de fabrication industrielle. L'objectif était de comparer le processus d'installation et de production en usine de la poutrelle avec l'évolution de la maquette numérique du bâtiment, dans le but de vérifier l'exactitude des informations disponibles dans le dossier des ouvrages exécutés numérique et d'identifier les données manquantes. La figure ci-dessous représente le flux informationnel le long de la chaîne :

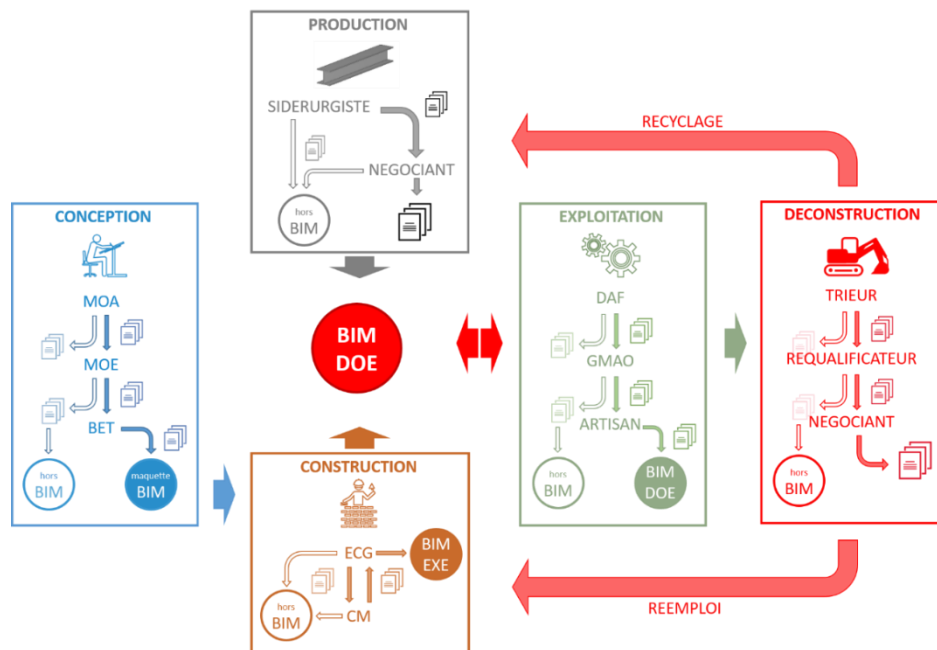


Figure 33 Évolution des informations concernant une poutrelle dans un projet BIM. Extrait du rapport élaboré par le groupe de travail « capitalisation de la donnée » (Bertin, 2020) Accessible en ligne : <https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf>

Dans ce projet, nous avons pu avoir accès aux maquettes de structure du dossier des ouvrages exécutés (DOE). L'enjeu initial de disposer d'une maquette BIM utilisée en exploitation n'a pas abouti, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment, le projet n'utilisant pas actuellement le BIM pour la gestion de données. Cependant, à la fin de l'élaboration du DOE, la mise en

place d'un protocole BIM exploitation a permis le développement d'un outil ou passerelle entre les maquettes DOE et les outils de gestion et maintenance pour extraire des éléments concrets nécessaires à une exploitation à partir d'une base de données Excel.

Chaque objet avait une dizaine de paramètres et de codifications introduites dans la maquette numérique (définis par le bureau d'études exploitation en collaboration avec la maîtrise d'œuvre dans un document) afin de transmettre les informations vers les outils de maintenance. L'intérêt initial était de construire une base de données bidirectionnelle qui permettrait d'actualiser les maquettes avec les nouvelles informations tout au long du cycle de vie du bâtiment. Cependant, les situations abordées précédemment et les problèmes de manque de compétences de l'équipe d'exploitation et d'interopérabilité entre les outils expliquent pourquoi cet objectif n'a pu être atteint.

Lors de l'analyse des maquettes numériques pour le cas-test de la poutrelle, nous avons rencontré les problèmes de traçabilité suivants :

- Le cahier des charges ne contient que des spécifications techniques : Les entreprises n'ont pas intégré les données des objets modélisés dans le dossier d'exécution de la construction. Cette tâche était de la responsabilité de l'architecte ou du bureau d'études qui ont seulement inclus les informations sur les équipements nécessaires à l'exploitant. Ces informations étaient spécifiquement axées sur la maintenance des équipements car les caractéristiques des matériaux n'étaient pas incluses dans le cahier des charges BIM pour l'exploitation.
- La qualité des pièces écrites des sous-traitants : Le deuxième problème identifié concerne les documents écrits du projet. Normalement, les informations supplémentaires qui ne sont pas incluses dans la maquette numérique sont fournies dans la documentation en format PDF du dossier des ouvrages exécutés. Nous avons tenté de localiser les informations relatives à la poutrelle à partir des pièces écrites, mais étant donné que la modélisation de la structure a été confiée à un sous-traitant, il y a eu des lacunes dans les informations fournies dans les documents finaux, en particulier en ce qui concerne les propriétés et les caractéristiques de l'acier utilisé, nécessaires pour l'analyse d'économie circulaire.

- Le manque d'expérience du client : Initialement, la maîtrise d'ouvrage n'avait pas prévu de mettre en place une approche BIM et n'avait pas d'expérience dans ce type de projets. Par conséquent, pour ce premier projet en BIM, le client n'avait pas élaboré une liste minimale d'exigences informatives qui aurait pu inclure les propriétés des matériaux.
- Différents niveaux d'information entre les objets de la maquette numérique de structure : Nous observons une grande variabilité du niveau d'information dans les éléments de la maquette numérique. Par exemple, les informations sur les poteaux sont détaillées (avec identifiant, matériau, finition, poids, etc.), tandis que celles des poutres et poutrelles sont incomplètes (voir Annexe 6). Cependant, certains éléments de petite taille tels que les systèmes de support métalliques sont très détaillés. Ce phénomène peut s'expliquer de deux manières :
 - 1) L'une des raisons de cette disparité d'information peut résider dans le fait que certains objets soient téléchargés d'un site internet de fournisseur. Ceux-ci sont déjà préremplis avec les informations sur les matériaux et même un lien vers le site web du fabricant.
 - 2) Il est fréquent que les informations des objets soient remplies ou modifiées lorsqu'un modelleur ou coordinateur BIM a besoin d'ajouter des caractéristiques pour effectuer des exports ou des calculs. Ces derniers peuvent nécessiter de compléter les informations de certains éléments en particulier.
- Manque de contrôle de la qualité des maquettes à la fin du chantier : Les intervenants n'ont pas été chargés de mener une analyse pour vérifier la qualité informationnelle des maquettes numériques et des autres éléments du dossier des ouvrages exécutés. Par conséquent, les manques d'information n'ont pas été détectés.

Les éléments contextuels évoqués ont donné lieu à des maquettes numériques qui ne peuvent être utilisées pour des analyses d'économie circulaire. Par ailleurs, l'un des membres de l'atelier de recherche était le référent du projet BAMB – *Building as Material Banks* – qui est financé

par l'Union européenne et vise à répondre à plusieurs défis de l'Agenda 2030⁵¹. Ce projet considère que les projets BIM peuvent être intégrés dans une économie circulaire, ce qui implique une valorisation des caractéristiques des matériaux. Ce processus permet le lien informationnel entre l'économie circulaire et le BIM à travers la création des passeports de matériaux en lien avec la maquette numérique. Comme l'explique I. Atta, les passeports de matériaux sont un outil ou une documentation qui fournit des informations sur la manière d'utiliser et de récupérer les matériaux en fin de vie, selon les caractéristiques du produit (Atta et al., 2021). M. Honic ajoute que ces passeports permettent d'évaluer le potentiel de recyclage et l'impact environnemental des matériaux intégrés dans les bâtiments après la démolition ou à la suite des réhabilitations dans un bâtiment (Honic et al., 2021). Par ailleurs, les travaux de recherche de plusieurs auteurs comme I. Atta ou I Kovacic, soutiennent que connecter la base des données des bâtiments avec ces passeports permet d'automatiser l'évaluation de la durabilité et facilite le partage des informations sur le bâtiment pour les besoins futurs (Atta et al., 2021; Kovacic et al., 2019).

Au sein de l'équipe de recherche, une divergence a été observée entre le modèle d'information sur les produits (PIM) et le modèle d'information sur les bâtiments (BIM). Lors des discussions portant sur l'économie circulaire, les interlocuteurs ont exprimé des inquiétudes quant à la capacité d'interconnexion entre le PIM et le BIM, en remarquant que "*ces systèmes ne communiquent pas*" et que "*nous ne sommes pas en mesure de les connecter de manière satisfaisante*". Pour pallier cette problématique, le projet a tenté d'identifier les liens entre ces deux systèmes et d'élaborer une liste des informations nécessaires pour faciliter leur connexion.

⁵¹ Le projet BAMB est un projet innovant en matière d'économie circulaire conduit par 15 partenaires de 7 pays européens. Le projet européen de recherche et d'innovation Horizon 2020 vise à étudier les solutions techniques pour déconstruire et réutiliser les matériaux, conçus pour être réutilisés. Site : <https://www.bamb2020.eu/>

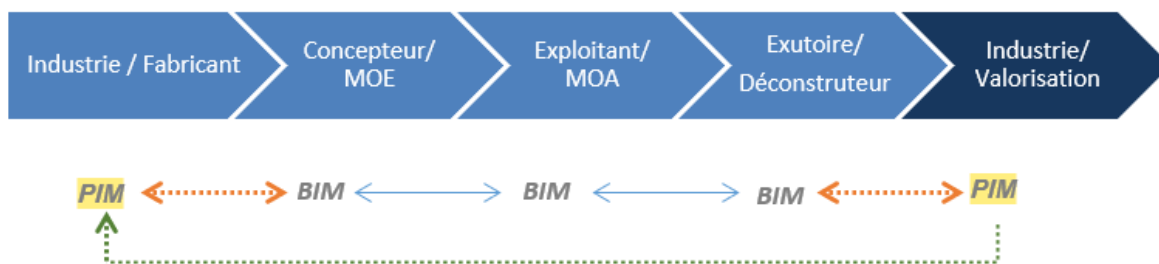


Figure 34 Diagramme élaboré par le groupe de recherche qui montre en pointillé les relations informationnelles à établir entre les phases. Source : Rapport final de l'enjeu « Capitalisation de la donnée » de l'Atelier de recherche sur l'économie circulaire des bâtiments (Bertin, 2020) Accessible en ligne : <https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf>

Dans ce groupe de travail, nous avons pu collaborer avec des acteurs qui ont contribué au développement de la norme ISO 23386. Cette norme ISO sur les méthodes de description, de création et de gestion des caractéristiques des éléments de construction provient de la norme française PPBIM (XP P07-150) et permet d'établir les propriétés des produits de construction de manière cohérente, reflétant ainsi les travaux de recherche qui portent sur la correcte structuration de ces données (Abdulkareem & Gherghiceanu, 2022; Bellenger & Blandin, 2019). À l'heure actuelle, les fabricants sont confrontés au défi de synchroniser leurs catalogues avec le BIM en structurant leurs référentiels de produits selon la norme ISO 23386. Par exemple, selon la norme, les informations sur la fiche du fabricant et sur l'objet de la maquette numérique pour le cas de la poutrelle devraient être identiques et structurées de manière cohérente, mais ce n'est pas le cas dans ce que nous avons observé lors de notre analyse.

Lors des réunions du groupe de travail, nous avons également abordé la question de l'obsolescence informatique. Il s'agit d'une question purement technique mais qui affecte l'économie circulaire des bâtiments parce qu'il s'agit d'un processus très long qui accompagne le bâtiment pendant plusieurs années, de sa construction à sa démolition. Pendant les réunions, la discussion sur le stockage des données a été récurrente. L'une des réflexions qui nous a le plus marquée est celle de l'un des intervenants qui a rappelé que les « disquettes » apparues dans les années 1970 sont actuellement impossibles à lire, alors qu'un dossier en papier d'un projet des années 1920 est encore complètement exploitable. Un débat sur le stockage des dossiers en *cloud* a également émergé, et les participants ont discuté de l'emplacement de

l'hébergement des serveurs ainsi que de la consommation énergétique. La question de l'obsolescence informatique ne se limite pas au BIM et est également abordé par S. Forge dans sa recherche sur la non-durabilité des nouvelles technologies de l'information (Forge, 2007). Le débat en question est très complexe car les parties prenantes y entremêlent des aspects techniques et des questions de droits de données qui devraient être traitées sur le plan juridique. De même qu'E. Alreshidi a examiné dans ses travaux de recherche les spécifications et besoins pour la mise en œuvre de solutions de gestion et de gouvernance des données basées sur le *cloud* au cours de la phase de conception, les développeurs en phase d'exploitation devraient également s'intéresser à ce problème (Alreshidi et al., 2018). Cependant, selon E. Alreshidi, la mise en œuvre de solutions de gestion et de gouvernance des données basées sur le *cloud* pour la phase d'exploitation est plus complexe car les périodes de stockage des données peuvent être extrêmement longues pour garantir leur qualité, leur sécurité et leur accessibilité (Alreshidi et al., 2017). Par conséquent, le problème de l'obsolescence informatique demeure.

Par ailleurs, l'information dans son parcours de la conception à l'exploitation se dégrade. Les pertes d'information qui provoquent les ruptures informationnelles sont dues à plusieurs facteurs : les référentiels qui ne sont pas appliqués, le manque de compétences, le manque d'intérêt, les problèmes informatiques, etc. Dans la première partie de la thèse, nous avons observé que des sujets tels que l'analyse du cycle de vie et l'économie circulaire deviennent de plus en plus importants dans les projets BIM. Au départ, nous avions des doutes quant à la relation entre le BIM et l'environnement, mais l'analyse des cas d'étude a démontré que la prise en compte de la continuité informationnelle entre les phases et les acteurs au cours du cycle de vie du bâtiment, ainsi que l'importance de la saisie des informations des matériaux, sont des points communs entre les enjeux environnementaux et le BIM.

L'analyse du cas d'étude nous a permis de révéler certaines thématiques ou interrogations que nous souhaitons approfondir auprès d'un échantillon plus large de professionnels en gestion de bâtiments. Ainsi, nous avons entrepris une enquête auprès des professionnels de l'exploitation et de la maintenance pour comprendre leurs intérêts et leurs besoins en matière de gestion des bâtiments. Nous prévoyons également d'étudier, dans les points suivants, les enjeux et besoins informationnels des professionnels de l'exploitation et de la maintenance, tel que nous l'avons fait pour les phases de construction et conception.

3.2. L'usage du BIM en phase d'exploitation : un regard des professionnels de la gestion du patrimoine bâti en France et en Espagne.

Nous avons conduit des entretiens avec des professionnels spécialisés dans l'exploitation pour évaluer la pertinence des catégories d'informations précédemment définies, à savoir : technique, fonctionnelle, économique, géographique, réglementaire et administrative. De plus, lors de ces entretiens, nous avons identifié de nouvelles thématiques qui émergent pendant l'exploitation, telles que le confort ou la santé, ce qui a contribué à améliorer la caractérisation de ces catégories et leur adaptation à la gestion des bâtiments. Nos analyses du cas d'étude en exploitation, ainsi que des cas d'études antérieurs en phase de conception et de construction, ont révélé que les principaux obstacles et problématiques causant des ruptures informationnelles sont également documentés dans la littérature scientifique internationale. Par conséquent, nous avons étendu notre analyse en adoptant une approche internationale. Ainsi, les entretiens avec les professionnels spécialisés dans l'exploitation ont été menés en France et en Espagne entre 2021 et le premier semestre 2022, dans le cadre d'un séjour de recherche à l'Université Polytechnique de Catalogne (UPC) avec le groupe de recherche et d'innovation en construction (GRIC). Les thématiques qui sont ressorties de l'analyse du troisième cas d'étude, doublées des conclusions obtenues à la fin de la première partie de la thèse, nous ont permis de structurer la grille des entretiens (voir Annexe 7). Nous avons mené dix entretiens en France et en Espagne, avec des profils différents, qui nous ont donné un aperçu du contexte BIM en exploitation dans ces pays. L'objectif de ces entretiens était d'approfondir les obstacles qui empêchent ou entravent la continuité informationnelle entre les phases de construction et exploitation.

3.2.1. Les nouveaux outils qui émergent et leur impact sur l'évolution des pratiques

Les problèmes informatiques et les ruptures informationnelles que les nouveaux outils causent ont également été rapportés lors des entretiens menés avec les exploitants. Dans le cas des interventions *in situ* dans un projet traditionnel, les techniciens en charge de la maintenance peuvent évaluer l'état des équipements et des composants du bâtiment à un moment donné. Cependant, ces opérations ne sont pas suffisantes pour obtenir une compréhension exhaustive des problèmes de maintenance-clés ou pour identifier les causes de dysfonctionnements sur de longues périodes. En revanche, les outils qui intègrent l'exploitation en BIM peuvent effectuer des analyses informationnelles à partir des données de la maquette ou provenant de capteurs pour fournir une image complète de l'état du bâtiment, comme l'illustrent les recherches de R. Bortolini et K. Kensek (Bortolini et al., 2016; Kensek, 2015).

D'après G. Garel, la gestion et le pilotage des bâtiments sont des domaines relativement récents qui n'ont émergé qu'à partir des années 1980, une époque marquée par des problèmes graves de documentation des systèmes d'armes au sein du département de la Défense américain : documents dépassés par rapport à l'évolution des équipements, informations redondantes, quantité excessive de documents papier inutilisables (Garel, 2003). Selon cet auteur, l'idée initiale consistant à informatiser cette documentation a été abandonnée au profit de l'intégration des contraintes d'exploitation, de maintenance et de documentation dès la phase de conception. Avant l'avènement des outils informatiques dédiés à l'exploitation des bâtiments, la gestion s'appuyait entièrement sur des documents papiers, une pratique qui persiste encore aujourd'hui dans de nombreux parcs immobiliers, du moins partiellement. Actuellement, pour l'exploitation et la maintenance des bâtiments, plusieurs solutions numériques existent (Motamedi et al., 2018) : le système de gestion de la maintenance informatisée (GMAO) et le système de gestion du bâtiment (GTB). Ces solutions peuvent être reliées par les systèmes de gestion intégrée du lieu de travail (IWMS), une plateforme de gestion du bâtiment capable de combiner la GMAO et la GTB avec les maquettes numériques. La GMAO est utilisée pour contrôler et stocker les caractéristiques techniques du bâtiment et de ses équipements (Ismail & Motawa, 2019), tandis que les BMS (GTB) ou les systèmes de

contrôle de surveillance et d'acquisition de données (SCADA) sont utilisés pour contrôler et stocker les données des systèmes IoT (*Internet of Things*). Les données IoT proviennent d'installations de surveillance ou de systèmes qui fournissent des données en temps réel provenant de capteurs, de compteurs et d'autres dispositifs. Ces données fournissent des informations sur l'état de chaque équipement à un moment donné et sur les tendances historiques en fonction des données stockées et disponibles (Ignatov & Gade, 2019). La gestion en BIM permet de regrouper toutes ces solutions en une seule plateforme. Les travaux de recherche menés par R. Bortolini sur l'étude de cas d'un bâtiment universitaire, ou l'évaluation des opportunités BIM pour la gestion des bâtiments élaborée par N. Aziz, ont mis en évidence que ces outils peuvent identifier les équipements en service et enregistrer toutes les opérations effectuées par les techniciens de maintenance, telles que les réparations, les améliorations et les remplacements (Aziz et al., 2016b; Bortolini et al., 2016).

3.2.2. La situation de l'exploitation en BIM en France et en Espagne

Les recherches menées par E. Hochscheid et G. Halin ont révélé une grande diversité de facteurs ayant une influence sur l'utilisation du BIM au sein des entreprises françaises : culturels, économiques, juridiques et institutionnels, techniques, liés à la structure du secteur de la construction, à l'organisation du travail dans les entreprises, à la disponibilité des formations, aux habitudes de travail établies dans l'entreprise, etc. (É. Hochscheid & Halin, 2018). Tous ces facteurs freinent habituellement l'introduction des outils BIM au sein des entreprises du monde de la construction. Il est envisageable que les mêmes obstacles qui entravent l'adoption du BIM, comme le manque de compétences, les problèmes d'interopérabilité et les coûts associés, sont également des facteurs importants qui limitent l'utilisation efficace de cette technologie et contribuent à restreindre la continuité de l'information entre les phases du projet.

En France, une première étude menée en 2018 (BATIACTU, 2018) a évalué l'utilisation du BIM dans le secteur français de la construction en examinant son évolution sur trois ans. Toutefois, les exploitants sont souvent omis de ces enquêtes et regroupés avec d'autres professionnels ou classés dans la catégorie « autres ». Le livre blanc «*Autodesk - Classification Systems* » de 2019 a inclus la phase d'exploitation et les exploitants dans son analyse, révélant

que seuls 17 % des maquettes numériques des projets BIM ont été utilisés pour la gestion du bâtiment, tandis que 92 % des projets ont été utilisés pour la phase de conception (AUTODESK, 2019).

En Espagne, la mise en œuvre du BIM en exploitation est également sous-représentée dans diverses études. Une enquête menée en Espagne en 2017 auprès d'un échantillon de professionnels espagnols du domaine de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction a montré que les propriétaires et les gestionnaires du patrimoine ne considèrent pas le BIM comme bénéfique pour eux, car ils le considèrent comme une technologie principalement destinée aux phases précédentes (Andrés et al., 2017). Dans cette enquête, les participants ont également été interpellés sur les avantages de la « réduction des coûts d'exploitation et de maintenance » qui a été perçue comme la deuxième catégorie la moins importante pour eux dans l'utilisation générale du BIM au cours du cycle de vie du bâtiment. La majorité des professionnels de la construction n'identifient pas les avantages du BIM dans la gestion des bâtiments et accordent souvent une priorité aux avantages liés à la réduction des délais et des coûts pendant les phases de conception et de construction.

Les études actuelles menées en France et en Espagne indiquent que l'exploitation en BIM demeure une pratique émergente et encore peu répandue, dont les avantages ne sont pas toujours clairement perçus par les professionnels de la gestion des bâtiments. Ainsi, lors de nos entretiens, nous cherchons à comprendre les raisons de cette situation ainsi que les éventuelles tendances évolutives.

3.2.3. Les entretiens semi-directifs : une méthodologie d'enquête auprès des exploitants

Nous avons choisi d'utiliser une méthodologie d'entretiens semi-directifs ou semi-structurés pour analyser les discours des acteurs impliqués dans la phase d'exploitation. Les questions semi-structurées ont été privilégiées car elles permettent d'obtenir des réponses détaillées sur les expériences, les perceptions, les opinions et les connaissances des personnes interrogées. Le guide d'entretien comportait deux parties principales, la première portant sur l'utilisation du BIM pour l'exploitation et les obstacles majeurs auxquels les professionnels sont confrontés, et

la seconde sur les enjeux et les principaux domaines d'intérêt pour les exploitants en ce qui concerne l'incorporation des technologies BIM dans leurs pratiques. Cette double approche a permis aux participants d'aborder les obstacles généraux à l'utilisation du BIM pour la gestion des bâtiments, ainsi que les problèmes spécifiques dans des domaines tels que l'environnement ou la gestion de l'espace.

Les entretiens en face-à-face ont commencé par une présentation de l'enquêteur et une partie initiale consacrée à l'expérience passée des participants sur des projets utilisant les technologies BIM pour l'exploitation. Cette étape était cruciale pour comprendre les profils professionnels des experts et vérifier leur expérience en la matière. Au cours de ces entretiens, nous avons identifié plusieurs sujets regroupant les principales questions sur les problématiques et ruptures informationnelles liées à l'utilisation du BIM en exploitation, tels que le manque d'information et de qualité des données, le manque d'interopérabilité, les limitations économiques des projets, la modification des méthodologies de travail, ou l'implication tardive de l'exploitant dans le projet. La seconde partie de l'entretien a porté sur les enjeux des participants et leur adoption du BIM en fonction de leurs objectifs en matière d'exploitation. En commençant par des questions ouvertes, les participants ont pu identifier et développer leurs idées tout en créant un environnement encourageant et convivial. Nous commencerons l'analyse en nous concentrant sur la section consacrée à l'évaluation des enjeux.

Les profils des dix professionnels spécialistes en exploitation BIM interviewés sont les suivants :

Description des personnes interviewées

Acteur en exploitation					
ID	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5
Rôle	Directeur de l'ingénierie des bâtiments et de la gestion et maintenance des bâtiments	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	Directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM	Chef de projet dans un projet d'exploitation	Responsable d'Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données
Type d'entreprise	Entreprise de services énergétiques	Bureau d'études Exploitation	Entreprise de développement informatique appartenant à un groupe d'ingénierie	Entreprise de services énergétiques	Entreprise de développement informatique
Formation	Ingénieur conducteur de travaux	Technicien	Ingénieur travaux publics	Ingénieur d'environnement et énergie	Architecte
Genre	Homme	Homme	Homme	Homme	Homme
Nationalité	Française	Française	Française	Française	Française

Acteur en exploitation					
ID	A.6	A.7	A.8	A.9	A.10
Rôle	Responsable de la transformation numérique dans une entreprise d'exploitation	Consultant BIM et professeur associé	Directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments	Spécialiste en prévention dans la gestion d'un bâtiment publique	Spécialiste BIM
Type d'entreprise	Entreprise spécialisée dans l'ingénierie industrielle et les services.	Bureau d'études BIM	Entreprise spécialisée dans la gestion globale du patrimoine	Organisme public. Département de gestion des services d'infrastructure	Entreprise d'innovation spécialisée dans le développement de différents logiciels BIM, la formation, l'analyse des stratégies et l'assistance.
Formation	Ingénieur industriel	Architecte	Ingénieur industriel	Architecte technicien	Architecte
Genre	Homme	Homme	Homme	Femme	Homme
Nationalité	Espagnole	Espagnole	Espagnole	Espagnole	Espagnole

3.2.4. L'évaluation des enjeux des acteurs qui participent à la gestion d'un projet BIM

La notion des usages BIM utilisée dans les chapitres précédents lors de l'analyse des enjeux des acteurs est très développée en phase conception et construction par les organismes BIM de chaque pays, et pourtant, dès qu'on arrive en phase exploitation, ces usages sont encore en cours de définition (BuildingSmart France, Mediaconstruct, 2021). Dans la littérature scientifique, on trouve des exemples d'auteurs qui ont étudié l'utilisation du BIM en phase d'exploitation dans différents pays. Par exemple, M. Benn a examiné les usages du BIM en exploitation en Allemagne (Benn & Stoy, 2022) et G. Tsay des cas au Canada (Tsay et al., 2022) révélant une revue de l'état de l'art actuel qui essaye de donner une réponse technique, mais aussi organisationnelle, à l'intérêt d'utiliser le BIM en exploitation.

Dans le cadre de notre recherche orientée vers les acteurs, nous avons interrogé les parties prenantes sur les usages BIM qu'elles rencontrent souvent pendant la phase d'exploitation, sur la manière de classer l'information de ces usages, et sur leur importance aujourd'hui. Notre

objectif était de vérifier s'il existe une continuité dans les préoccupations, les besoins et les problèmes informationnels des acteurs avec ceux observés lors des phases précédentes.

Pour les projets en phase de conception et d'exécution, nous avons mesuré l'importance de chaque type d'enjeu grâce aux analyses des maquettes numériques, mais, dans la phase exécution, comme nous avons un accès plus limité aux maquettes numériques, nous avons voulu vérifier avec les professionnels en exploitation s'il y avait une continuité des enjeux avec les thèmes des phases précédentes. Pendant nos entretiens avec les professionnels de l'exploitation, nous avons présenté diverses classifications pour identifier les avantages informationnels potentiels du BIM dans le cadre de cette phase, en utilisant notamment la même catégorisation que pour les phases précédentes (pour rappel : technique, fonctionnelle, économique, géographique, administrative ou réglementaire). Nous les avons interrogés sur la pertinence de cette classification pour son utilisation durant la phase d'exploitation du bâtiment. Nous avons également utilisé trois autres classifications complémentaires : une première catégorie basée sur les usages en exploitation proposés par l'Association Internationale de Facility Management (IFMA), une deuxième sur la performance en exploitation selon la littérature scientifique, et une troisième proposée par le groupe de recherche espagnol avec lequel nous avons travaillé basée sur l'analyse des perceptions des exploitants.

Tableau 8 Types de classification des enjeux et usages BIM en exploitation selon les professionnels et la littérature scientifique

Référence	Catégorisation des enjeux et usages en exploitation
Les usages du BIM en Exploitation établis par l'IFMA: International Facility Management Association. (Schley et al., 2016)	• Optimisation et gestion de l'espace • Simplification de la maintenance • Utilisation efficace de l'énergie • Réduction des coûts de réaménagement et de rénovation • Gestion améliorée du cycle de vie
Catégories de performance nécessaires pour l'exploitation établis dans la littérature scientifique: (Straub, 2003; Hovde and Moser, 2004; Lützkendorf and Lorenz, 2006; Preiser and Nasar, 2008)	• Technique • Fonctionnel • Confort • Environnemental

Indicateurs basés sur les perceptions des exploitants pendant l'évaluation des performances des bâtiments établis par le groupe GRIC (UPC) en Espagne avec lequel nous avons analysé les enjeux BIM en phase exploitation de la part des exploitants et des usagers finaux. (Bortolini & Forcada, 2018)

- La performance énergétique
- Santé et confort
- La sécurité et le bon fonctionnement des tests
- Fonctionnalité de l'espace

Après avoir recueilli leurs avis sur les catégories présentées dans le Tableau 8, les professionnels interrogés ont été confrontés à la catégorisation des enjeux et des usages des acteurs qui ont émergé des analyses menées lors des phases de conception et de construction (voir Figure 35). Les intérêts liés aux données quantitatives ont été supprimés car les analyses de la première partie de la thèse ont révélé que les enjeux qui poussent les acteurs à rechercher ce type d'informations correspondent à l'une des autres catégories.



Figure 35 Liste des catégories informationnelles des phases de construction et de conception adaptées à la phase d'exploitation

Pendant la phase d'exploitation, il n'est pas envisageable de mesurer les enjeux des acteurs selon des catégories, tel que cela a été accompli avec l'analyse quantitative des paramètres de maquettes numériques pour les phases précédentes. Lors des entretiens, nous avons constaté que l'intérêt de chaque acteur pour une catégorie ou une autre varie en fonction des tâches opérationnelles quotidiennes qu'il effectue ou des outils qu'il utilise. Par exemple, pour celui

qui travaille sur la plateforme ou le logiciel de gestion documentaire⁵², les enjeux administratifs seront les plus importants ; pour le mainteneur, ce seront les besoins techniques des équipements :

A. 8	Directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments	Espagne	10 / 2021
« Si on parle du BIM en exploitation, je ne peux pas vous dire quel est l'enjeu d'exploitation le plus important, car je ne suis pas le propriétaire du bâtiment et, en fin de compte, tout est important. Selon la personne à qui vous demandez, une chose sera plus importante ou elle verra plus d'avantages au BIM dans son domaine. Pour moi la maintenance des équipements, c'est ma vie, donc je vois l'ampleur énorme de la maintenance, mais un gestionnaire d'actifs vient vous voir et vous dit : “Oui, mais au final, la maintenance représente 10 % du coût d'un bâtiment, parce que le nettoyage et la sécurité représentent quatre fois le coût de la maintenance”.			

A. 2	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	France	06 / 2021
« Pour moi, il n'y a pas de priorités dans les différentes thématiques de gestion BIM du bâtiment parce qu'il faudra tout interfacer et que tout soit également pris en compte. »			

Pendant les entretiens, nous avons constaté que les intérêts des responsables de la maintenance du bâtiment, dont le profil est plus technique, diffèrent considérablement de ceux des gestionnaires de patrimoine qui cherchent plutôt à avoir une vue globale de celui-ci. Les deux parties seront impliquées dans la détermination des usages du modèle BIM pendant la phase d'exploitation, et la façon dont ils partagent leurs enjeux à l'égard du BIM aura une incidence sur les aspects de l'exploitation qui seront les plus développés, tels que la sécurité, le confort et l'efficacité énergétique. Comme l'explique D. Kavrakov, les différences entre ces deux types d'acteurs sont liées fondamentalement à trois questions : le type d'actifs à gérer (soit les équipements d'un bâtiment, soit tout un parc immobilier), l'étendue des responsabilités et les enjeux qui, pour le gestionnaire du patrimoine, seront plus orientés vers le retour des investissements et la performance, et pour l'exploitant, sur la technique des équipements et le confort des usagers finaux (Kavrakov, 2015) :

⁵² Selon L.Dao et D.Forgues, les logiciels de gestion documentaire sont des plateformes, ou des environnements communs de données utilisés dans la gestion immobilière et la gestion des équipements, qui répondent partiellement aux besoins des exploitants en matière de gestion des documents associés au bâtiment. Ces logiciels permettent de centraliser tous les fichiers correspondant aux phases précédentes mais aussi des documents tels que les documents d'audit des bâtiments, les différents rapports et études ainsi que les manuels d'entretien (Dao & Forgues, 2013).

A. 3	Directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM	France	08/2021
Développeur outil d'exploitation BIM (France) : « Il existe une frontière entre les enjeux à court terme qui sont plus liés à la maintenance et à long terme qui sont liés à la gestion du patrimoine. Le deuxième veut juste avoir un grand bouton qui dit “mon immeuble est OK, il est conforme à la réglementation, tout va bien, les derniers travaux ont été faits il y a cinq ans et la chaudière faudra la changer bientôt, etc.” »			

Lors des entretiens, de nouvelles thématiques ont également émergé, comme les notions de santé, de confort ou de propreté. Il s'agit de préoccupations présentes pendant l'exploitation du bâtiment et qui ne font pas partie des débats observés pendant la conception et l'exécution. Plusieurs certifications environnementales liées au bien-être à l'intérieur des bâtiments intègrent ces thématiques visant à concilier les besoins des occupants du bâtiment avec ceux des phases de conception et d'exploitation (Grzegorzewska & Kirschke, 2021; Luongo, 2020).

Nous ne cherchons pas à évaluer l'importance de chaque enjeu pour les professionnels de l'exploitation, mais plutôt à les relier à l'activité et à leurs implications pratiques, car la notion d'enjeu permet de faire le lien entre la réalité et la perception des acteurs de leur rôle. Cependant, bien que la quantification des enjeux ne soit pas envisagée, nous avons identifié les domaines de l'exploitation qui peuvent être plus affectés par l'intégration des technologies BIM. Au cours de ces entretiens, nous avons constaté que la gestion de l'espace, les systèmes d'information géographique, la gestion administrative, l'efficacité énergétique, la gestion environnementale, la gestion économiques, le confort et la rénovation sont parmi les usages les plus fréquents pour lesquels les professionnels utilisent la maquette numérique ou ses informations.

a) Les enjeux liés à la gestion de l'espace

Le Tableau 8 présentant les classifications utilisées lors des entretiens avec les acteurs indique que la gestion de l'espace est régulièrement mentionnée comme une fonction essentielle de la gestion des bâtiments, tant dans le milieu professionnel que dans les ouvrages scientifiques consultés. Dans les projets BIM, des études ont montré que le BIM apporte des avantages pour l'aménagement de l'espace pendant l'exploitation grâce à la visualisation de l'espace, mais aussi pour les données stockées afin de faciliter la prise de décision (Arayici et al., 2012) (Mohanta

& Das, 2016). Par ailleurs, des recherches récentes suggèrent que l'utilisation de la maquette numérique comme outil de gestion de l'espace pourrait permettre d'optimiser l'utilisation des espaces et des équipements dans les projets de réhabilitation et d'aménagement de bâtiments (Alavi & Forcada, 2019; Dahanayake & Sumanarathna, 2021; G. Kelly et al., 2013).

Cependant, lors des entretiens, certains acteurs n'attribuent pas d'importance à cette catégorie pour diverses raisons, telles que l'absence de pertinence de cette tâche pour eux, ou leur conviction que les outils existants sont suffisants et que la maquette numérique n'apporterait aucun avantage significatif :

A. 4	Chef de projet dans un projet d'exploitation	France	03/2021
« Pour la gestion de l'espace... déjà on arrive dans un bâtiment qui est déjà conçu, qui est déjà fait donc on fait avec l'espace qui nous est donné. Si le client nous dit il faut refaire ce bureau, on le fera, mais ce n'est pas à nous de gérer l'espace et cela ne nous concerne pas. »			

A. 3	Directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM	France	08/2021
« Pour nous, la gestion de l'espace ce n'est pas une problématique qu'on rencontre trop ; en fait on est plus en contact avec des gestionnaires du patrimoine qui veulent avoir une vision globale de leur immeuble et des indicateurs de confort, etc. La gestion de l'espace ce n'est pas une question qu'on évoque avec eux. Il y a tellement de systèmes aujourd'hui qui fonctionnent très bien que le client ne ressent pas le besoin de connecter la gestion des espaces à la maquette numérique. Ce n'est pas un usage nouveau, ils ont déjà tout branché sur leur DSI, l'Outlook, ou l'application de réservation de salles. »			

L'existence d'autres outils qui intègrent la gestion de l'espace, comme c'est le cas des outils de réservation des salles, freine l'introduction du BIM pour ce type de démarches. Ainsi, les acteurs qui n'ont pas de lien professionnel avec la gestion de l'espace considèrent cette catégorie comme moins importante, tandis que ceux dont l'activité est liée à la gestion de l'espace perçoivent cet usage dans les projets BIM comme le plus important.

Dans ce domaine, une barrière sémantique est observée en raison de la variabilité de la définition du terme « gestion » parmi les différents participants aux entretiens. Les acteurs peuvent faire référence à divers aspects de la gestion de l'espace, tels que l'aménagement, l'affectation ou une définition plus globale. Les entretiens menés auprès des acteurs impliqués dans la gestion des bâtiments ont révélé l'absence de consensus sur la définition précise de la

« gestion de l'espace ». Cette situation engendre des problèmes sémantiques entre les exploitants, selon leur domaine d'expertise. En effet, bien que tous travaillent sur l'exploitation du bâtiment, la notion de « gestion de l'espace », et particulièrement la notion d'« espace », peut différer entre la personne chargée de la maintenance et celle en charge de la gestion documentaire ou de la réservation des salles. Toutefois, une position commune semble émerger en ce qui concerne la relation entre les espaces et la maquette numérique, notamment en ce qui concerne la géométrie 3D du bâtiment. Malgré cela, certains acteurs de la gestion immobilière ne tiennent pas compte de cette relation lors de la phase d'exploitation.

b) Les enjeux liés à l'efficacité énergétique et l'environnement

La gestion efficace de l'énergie et de l'espace est un sujet communément abordé dans les évaluations des utilisations du BIM en phase d'exploitation. La réglementation britannique sur la performance énergétique a été la première à établir une connexion directe entre l'utilisation du BIM et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Motawa et K. Carter soulignent que cette réglementation a demandé une plus grande cohérence des informations sur la construction pour atteindre l'objectif d'émission de CO² fixé par le gouvernement britannique (Motawa & Carter, 2013). À partir de ce moment, la notion de BEM (modélisation énergétique de bâtiments) a commencé à émerger en parallèle du BIM, visant à intégrer les outils de simulation énergétique à la maquette numérique (Abdellatif, 2019; González et al., 2021; O'Donnell et al., 2013). Dans ce cadre, M. Abdellatif souligne que l'intégration du BIM dans les études du bâtiment est désormais remplacée par le BEM, une nouvelle approche visant à pallier les insuffisances des outils de modélisation de géométrie moins précis utilisés dans les simulations énergétiques du bâtiment, tels que les logiciels de simulation thermique dynamique classiques.

Les entretiens menés ont mis en évidence que le thème de l'efficacité énergétique renforce une observation déjà faite lors des analyses effectuées sur la phase de conception concernant les enjeux environnementaux. La prise en compte de la performance énergétique est principalement motivée soit par la nécessité d'obtenir une certification, soit par les exigences réglementaires :

A. 5	Responsable d'Innovation d'une plateforme collaborative BIM	France	03/2022
« L'utilisation efficace de l'énergie est importante, surtout avec la RE 2020 qui est devenue obligatoire, et il y a beaucoup de clients qui nous questionnent sur ça et son lien avec le BIM. [...] Performance énergétique, pour moi c'est la deuxième chose la plus importante si par exemple je veux que mon bâtiment atteigne tel label-ci ou tel niveau-là. »			

A. 4	Chef de projet dans un projet d'exploitation	France	03/2021
« Ce qui m'intéresse le plus en tant qu'exploitant c'est l'utilisation efficace de l'énergie parce qu'on est souvent sollicités par le client pour suivre les consommations, pour réduire les consommations, pour faire des propositions afin de faire des économies d'énergie, etc. Même si cela revient aussi aux questions économiques. »			

L'importance accordée à l'efficacité énergétique en exploitation dans le BIM est également motivée par des enjeux économiques de réduction des coûts. Cependant, durant les entretiens, le lien entre l'efficacité énergétique et son impact environnemental n'a pas été discuté car les enjeux environnementaux étaient considérés séparément par les acteurs interviewés. L'analyse de la distinction entre l'efficacité énergétique et l'impact environnemental, ainsi que la mise en avant des enjeux liés à l'efficacité énergétique par rapport à l'analyse du cycle de vie, met en évidence le fait que les techniciens considèrent souvent l'impact environnemental comme un aspect secondaire par rapport aux conséquences économiques plus directes liées à l'efficacité énergétique du bâtiment. Ces dernières ont souvent la priorité dans le discours des acteurs.

Le lien entre le BIM et les enjeux environnementaux a été établi grâce au BEM, qui vise à réduire l'impact carbone du patrimoine immobilier. Selon l'article de H. Figl sur la sixième dimension du BIM, il est essentiel de considérer le lien entre le BIM et l'environnement, au point que la liste des principaux usages du BIM dans le domaine de la construction attribue aux enjeux environnementaux la sixième dimension (6D). À noter que la 3D est utilisée pour représenter la géométrie, la 4D pour la gestion temporelle du projet, la 5D pour la gestion économique et la 7D pour l'exploitation BIM des bâtiments (Figl et al., 2019).

Les recherches portant sur la relation entre le BIM et l'environnement ont donné lieu à plusieurs publications traitant de sujets tels que l'analyse du cycle de vie (Eadie et al., 2013a; Jiang et al., 2012; Potrč Obrecht et al., 2020) et l'économie circulaire (Akanbi et al., 2018; Charef, 2022; O'Grady et al., 2021). Les études de cas ont mis en évidence des ruptures informationnelles dans la gestion du cycle de vie ou de l'économie circulaire en raison de la faible implication des acteurs concernés. Les défis environnementaux ont donc été au centre de la plupart des problèmes identifiés dans les études de cas. Au cours de l'analyse des entretiens en phase d'exploitation, nous avons relevé que les considérations environnementales sont parfois reléguées au second plan, notamment lorsqu'elles ne sont pas encouragées par le client : « *La*

question environnementale est difficile, parce que aujourd'hui, honnêtement, si on s'adresse au client et on lui dit : nous allons faire du BIM avec l'enjeu de sauver la planète, ça ne passera pas⁵³. »

Les questions environnementales et d'efficacité énergétique sont souvent associées à des considérations politiques et réglementaires, ce qui peut les faire percevoir comme des obligations plutôt que des priorités pour les acteurs impliqués dans la construction de bâtiments. Toutefois, il est à souligner que certains acteurs considèrent que les aspects environnementaux sont des éléments fondamentaux de la conception d'un bâtiment et doivent être pris en compte dès le début du processus de construction, et qu'ils ont une importance moindre pour l'exploitation du bâtiment :

A. 2	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	France	06 / 2021
« La partie environnementale se prépare plutôt en phase de conception et réalisation , je conçois mon bâtiment avec l'ensemble des enjeux environnementaux et ensuite je prévois pour tout le cycle de vie de la fiabilité et de la durabilité, cela s'anticipe en phase de conception. La cible environnementale ou l'enjeu environnemental peut être aussi politique... Mais bon, le sujet environnemental au sens large est une préoccupation d'actualité et on ne peut pas le négliger. »			

Lors des entretiens, nous avons noté que la notion de cycle de vie rencontre également des difficultés à s'appliquer dans la gestion proprement dite du bâtiment :

A. 8	Directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments	Espagne	10 / 2021
« Le cycle de vie est peut-être l'objectif le plus difficile à atteindre aujourd'hui, et il y a beaucoup d'entreprises qui ne l'ont toujours pas dans leur ADN parce qu'elles sont plus à court terme. Par exemple, l'idée que cela va me coûter plus cher cette année, mais que dans cinq ans j'économiserai de l'argent, cette idée est un peu plus difficile à assimiler actuellement. »			

Par ailleurs, nous avons remarqué une tendance au sein des acteurs à confondre le cycle de vie avec la notion de coût global, même si en effet, les travaux de recherche d' Y. Thiaux ou V. Rouanet-Vetro montrent le lien entre ces deux notions et définissent le coût global comme le coût du cycle de vie (Rouanet-Vetro, 2000; Thiaux, 2010). Toutefois, bien que le cycle de vie représente l'existence du produit sur le marché, la définition du coût global n'est pas claire et

⁵³ Acteur 5 - Entretien avec le responsable Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

il existe des variations dans la littérature scientifique. M. Shields et S. Young distinguent le « coût du cycle de vie », qui se limite à la vision des prix de production, du « coût global du produit », qui prend simultanément en compte les coûts du cycle de vie pour le producteur, le consommateur et la société, tels que les coûts externes à la production ou de recyclage (Shields & Young, 1991).

En effet, la mise en œuvre de la notion de cycle de vie, y compris en termes de coût global du bâtiment, est difficile en raison de la priorité donnée par les entreprises à la recherche de bénéfices économiques à court terme. Ainsi, S. Talebi réfléchit dans son article à l'importance de la réduction des coûts et aux obstacles liés au contexte social auxquels le BIM est confronté dans les démarches qui prennent en compte tout le cycle de vie du bâtiment (Talebi, 2014). Parallèlement, S. Talebi indique que la majorité des publications sur le BIM ont axé leur attention sur les aspects techniques plutôt que sur le contexte social et la manière dont des concepts tels que le cycle de vie ou le coût global influencent l'évolution du marché. De manière comparable, dans le cas des technologies BIM, l'efficacité énergétique est considérée comme un sujet plus technique et mesurable qui a un impact direct sur la réduction des coûts à court terme, ce qui renforce ces démarches au détriment des enjeux environnementaux tels que l'économie circulaire.

c) Les enjeux administratifs

La gestion administrative est au cœur des enjeux des projets BIM parce que la centralisation et le stockage des données dans ces démarches facilite également le rassemblement de la documentation. La centralisation de la documentation est liée à l'utilisation de plateformes collaboratives qui fournissent un *cloud* pour le stockage de toutes les informations et documents du projet. De nombreuses publications sur ce sujet, telles que celles de M. Shafiq, se concentrent sur les techniques de collaboration ou sur les moyens de relier la maquette numérique à cette documentation, comme dans les travaux de J. Park et H. Cai (J. Park & Cai, 2017) (Shafiq et al., 2013). Cependant, lors des entretiens, nous avons abordé cette question d'un point de vue moins technique, en prenant en compte les besoins et les contraintes que les acteurs rencontrent par rapport à la gestion documentaire et administrative.

Les enjeux administratifs ont été identifiés comme étant les plus significatifs à la fois pendant les phases de conception et d'exécution, ainsi qu'au cours de la phase d'exploitation. Les

participants de la phase d'exploitation ont également mis en évidence les bénéfices du BIM pour la collecte de la documentation :

A. 3	Directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM	France	08/2021
« En plus du viewer BIM, il y a aussi toute la gestion documentaire qu'on essaye de coupler avec les usages BIM parce que quand on centralise la donnée, on centralise aussi les documents, il n'y a pas que des flux de données via API, etc., il y a aussi les DOE, les plans, les contrats, etc. Pour la gestion documentaire, nous avons une partie BIM et ensuite une partie liée à la gestion documentaire traditionnelle du projet qu'on a pensée afin de suivre tout le cycle du bâtiment. On centralise, de la conception jusqu'à l'exploitation, tous les documents du projet et le fait d'avoir dans la plateforme BIM toutes les pièces écrites, le DOE, etc., c'est quelque chose qui plait énormément au client parce qu'en fait, l'étape 1 en exploitation c'est de centraliser tous les documents. On effectue également une opération de nettoyage des documents en conservant uniquement les éléments les plus récents et approuvés. »			

A. 10	Spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation	Espagne	03/2022
« Nous avons notre propre outil que nous avons développé spécifiquement pour définir les exigences en matière de documents d'un bâtiment. En gros, il vous indique les besoins documentaires d'un bâtiment au niveau initial et toutes les informations qui sont générées tout au long du cycle de vie du bâtiment tant en termes de maintenance que de paiement de factures, d'assurance, de déchets, les informations qui sont générées lors d'incidents ou lorsqu'il y a une coordination des activités commerciales, en d'autres termes, toute la documentation de l'histoire du bâtiment. »			

Le BIM est considéré en phase d'exploitation comme une stratégie de centralisation des outils, des données relatives aux éléments de construction et aux équipements, ainsi que de la documentation du bâtiment. Actuellement, l'absence d'organisation dans la gestion documentaire pendant la phase d'exploitation a suscité l'intérêt de certains acteurs pour résoudre ce problème en utilisant des outils BIM. Dans le contexte de la gestion administrative, le BIM apparaît comme une solution pour maintenir la continuité de l'information entre les différentes phases.

d) Les enjeux économiques

Dans la deuxième partie du chapitre, nous examinerons comment les considérations économiques représentent un des principaux obstacles à la mise en place du BIM en phase

d'exploitation et peuvent influencer la réalisation de projets de ce type, et impacter la continuité de l'information. Le manque de fonds suffisants pour la mise en œuvre efficace du processus BIM est un facteur déterminant dans la survenance de ruptures informationnelles après la livraison du bâtiment. Selon R. Kivits, la construction, en comparaison avec d'autres secteurs industriels qui ont adopté les technologies de l'information, a maintenu ses racines artisanales traditionnelles et une dépendance à l'égard de la représentation 2D, ce qui se traduit par des résultats d'une qualité inférieure, un faible investissement et des résultats financiers défavorables dans l'adoption de ces technologies (Kivits & Furneaux, 2013).

Nous avons observé dans les extraits d'entretiens que le manque d'investissement financier de la part du client est un obstacle à la mise en œuvre du BIM en exploitation et que l'introduction du BIM dans un projet sera conditionnée par un retour sur investissement :

A. 5	Responsable d'Innovation d'une plateforme collaborative BIM	France	03/2022
« Les enjeux économiques ce sont toujours les plus importants parce que ce sont les enjeux qui dirigent tout, les enjeux quantitatifs ce sont les deuxièmes et ils sont aussi liés un peu aux enjeux économiques parce que les achats et tout dépendent des quantitatifs. »			

En conséquence, nous avons constaté une relation entre les enjeux économiques et l'extraction de quantités de la maquette numérique, comme cela a été démontré dans l'analyse des cas d'étude en conception et construction où l'obtention de données quantitatives était également un aspect crucial pour les acteurs impliqués. En outre, les acteurs suggèrent qu'une gestion économique plus détaillée de l'opération pourrait promouvoir l'alignement des enjeux économiques et réglementaires, ce qui assurerait également une gestion prédictive et préventive du bâtiment en intégrant la surveillance de la sécurité et des performances requises par la réglementation en vigueur. Ainsi, le BIM peut contribuer aux efforts de maintenance prédictive, tels que définis par E. Kiyak, qui impliquent la maintenance préventive des équipements ou des systèmes avant l'apparition de défaillances, sur la base d'études ou de simulations (Kiyak, 2012; Mobley, 2002). Selon J. Li, la différence entre la maintenance prédictive et la maintenance préventive réside dans le fait que la première implique des interventions mineures avant que l'équipement ou le système ne soit gravement endommagé (Li et al., 2022). Dans les deux cas, l'objectif est de prévenir les défaillances. Toutefois, il existe un avantage significatif à intégrer la maintenance prédictive dans le BIM, car cela peut permettre de réaliser des économies en

matière de gestion des bâtiments. En effet, la maquette numérique peut avertir et guider les opérateurs quant aux interventions nécessaires à l'avenir pour éviter les pannes des équipements (J. C. P. Cheng et al., 2020).

A. 7	Consultant BIM et professeur associé	Espagne	09/2021
« Si vous disposez de données sur la durée de vie, etc., vous pouvez gérer ces données et faire des budgets à court, moyen et long terme, pour les remplacements, la maintenance prédictive, les situations à risque qui peuvent se produire, etc. Il s'agit d'investir dans l'économie, les performances et la sécurité en même temps. »			

Actuellement, certaines publications portent également sur le développement des DSS (*Decision Support System*), systèmes d'aide à la décision en lien avec le BIM afin de faciliter la gestion des bâtiments et faire des économies de maintenance (Alavi et al., 2022; J. C. Cheng et al., 2016). Ces systèmes sont présents dans divers secteurs tels que la finance, l'informatique, la politique, etc. et sont utilisés pour prendre la décision la plus adaptée à un instant t . Par exemple, en cas de problèmes de maintenance dans le bâtiment, l'utilisation du BIM implique la centralisation des outils qui permet d'analyser la maquette numérique, les outils de maintenance, les demandes effectuées par les utilisateurs finaux, etc. afin de trouver la solution la plus adaptée et rapide à la source du problème. Cette situation met en évidence la capacité du BIM à lier la gestion économique des projets en exploitation avec les démarches managériales et techniques.

e) Les enjeux techniques et réglementaires

Nos observations ont révélé que les considérations techniques sont considérées comme primordiales et indispensables dans toutes les phases du projet BIM par l'ensemble des acteurs impliqués. En revanche, les enjeux réglementaires sont généralement perçus comme des exigences imposées par les normes nationales et, comme il a été constaté lors de l'analyse des enjeux économiques, ils sont souvent abordés de manière transversale aux autres enjeux dans les discours des exploitants, en particulier en lien avec les aspects techniques du bâtiment :

A. 2	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	France	06 / 2021
« Pour moi, à l'intérieur de la technique on a aussi la vérification réglementaire, qui fait partie de la technique, on a aussi dans le programme de maintenance fait par le mainteneur toute une partie réglementaire avec les vérifications réglementaires. Par exemple, la révision des ascenseurs toutes les six semaines. »			

A. 7	Consultant BIM et professeur associé	Espagne	09/2021
« La partie réglementaire ne semble pas vraiment importante. Toutes les règles d'entretien peuvent déjà être incluses dans les données de chaque équipement technique et, en fait, nous les avons parfois introduites et incluses, comme les règles d'incendie et les dates de l'extincteur ou quand il est temps de vérifier la tour de refroidissement, etc. Celles-ci sont liées à des questions de maintenance normative. Le reste des questions réglementaires, telles que l'accessibilité, se pose davantage lors des phases de conception et ces questions ne nous concernent pas. »			

Les considérations réglementaires sont souvent liées aux certifications environnementales, ainsi qu'aux normes, notamment en ce qui concerne le confort ou la réglementation du travail. Les travaux de recherche de M. Grzegorzewska, P. Kirschke o S. Luongo démontrent que ces thématiques commencent à être prises en compte dans les phases de conception, à l'aide de certaines certifications comme la catégorie « santé et bien-être » de la certification BREEAM ou la catégorie « esprit » de WELL (Grzegorzewska & Kirschke, 2021; Luongo, 2020). Ainsi, les normes, certifications et réglementations en matière de confort, environnement, sécurité et santé exerceront également une influence sur les enjeux du client :

A. 2	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	France	06 / 2021
« Sécurité, santé, confort et réglementation sont toujours des enjeux majeurs, sensibles et préoccupants pour un gestionnaire de site. Ces enjeux sont importants parce qu'ils sont en lien avec le droit du travail et les syndicats sont très focalisés là-dessus. Et les priorités pour un donneur d'ordre ou un gestionnaire du patrimoine sont les questions demandées par la réglementation. »			

Cependant, il est à noter que pour tous les acteurs interviewés, les enjeux techniques sont les plus importants. Parfois, certains acteurs « technicisent » des enjeux qui ne se limitent pas seulement à des aspects techniques, comme le confort ou la santé, comme en témoignent les extraits d'entretiens suivants :

A. 8	Directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments	Espagne	10 / 2021
« Le plus important pour nous serait le volet technique de la maintenance des équipements, car il s'agit de toutes les informations sur le bâtiment dont vous avez besoin pendant la gestion , car nous allons prendre des décisions sur cette base qui vont affecter le confort, l'efficacité énergétique, etc. »			

A. 2	Directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance	France	06 / 2021
« Pour moi, dans la technique on a le confort et on a l'hygiène et la santé, on a tout, c'est le cœur de notre métier. La technique est tout, par exemple, si nous faisons une modification de la gestion de l'espace, il faut que la technique suive cette modification et qu'il y ait les prises nécessaires, etc. parce que tout dépend de la technique. »			

En effet, pour les experts interviewés, l'information technique et les enjeux techniques derrière la maintenance des équipements est fondamentale dans leur activité quotidienne. Par ailleurs, les travaux scientifiques corroborent les propos des acteurs en soutenant aussi que les données techniques ont un impact sur le reste des domaines. Par exemple, H. Alavi suggère que le confort est en rapport avec la technique et la fonctionnalité des espaces (Alavi et al., 2021). En outre, O. Seppanen et W. Fisk soulignent également que la notion de santé est liée à des aspects techniques (comme la qualité de l'air par exemple) et au respect de la réglementation sur la qualité de vie au travail (Seppänen & Fisk, 2006).

Nous avons constaté que, bien que certains des acteurs interrogés puissent confondre des questions techniques et réglementaires, les enjeux réglementaires sont en réalité les plus représentatifs des particularités des usages du BIM en phase d'exploitation. Les réglementations abordent des sujets tels que le confort et la santé des habitants, qui sont considérés comme étant davantage liés aux aspects sociaux des démarches d'exploitation, car ils prennent en compte l'impact du bâtiment et de sa gestion sur les occupants.

f) Les enjeux géographiques

L'intégration du BIM aux systèmes d'information géographique (SIG) est plus adaptée lors de la phase d'exploitation que pendant les phases antérieures, car cela permet de connecter le bâtiment en fonctionnement à son environnement immédiat, aux capteurs du quartier et aux

infrastructures connexes. Dans « *Green planning for cities and communities* », G. Dall'O explique l'intérêt d'utiliser le BIM pour soutenir la planification verte et intelligente des quartiers et des villes (Dall'O' et al., 2020). Dans ce livre, mais aussi dans un grand nombre de publications actuelles, le terme CIM – *City Information Modelling* – apparaît dans les projets qui souhaitent connecter le BIM avec la ville et les SIG (Roumyeh & Badenko, 2021). En outre, au cours de l'observation participante au sein de l'entreprise ALTO Ingénierie, nous avons remarqué l'apparition du terme CIM dans les appels d'offres et les cahiers des charges BIM des clients.

Au cours de nos études de cas sur la conception et l'exécution de projets BIM, nous avons identifié certains paramètres dans les maquettes numériques qui semblaient prendre en compte les enjeux géographiques. Néanmoins, nous avons constaté qu'ils étaient encore en phase de développement et que leur utilisation n'était pas encore généralisée. En ce qui concerne la phase d'exploitation, particulièrement pour les bâtiments patrimoniaux, la situation est similaire : bien que certains acteurs comprennent l'importance de cet enjeu, ils estiment qu'il sera un défi à relever dans l'avenir et que les logiciels devront encore évoluer pour intégrer ces enjeux géographiques :

A. 5	Responsable d'innovation d'une plateforme collaborative BIM	France	03/2022
« Pour la partie géographique, nous n'avons pas encore rencontré d'enjeux liés au CIM, même si nous en avons entendu parler. Peut-être un jour j'imagine qu'on devra passer par le CIM mais pas encore. Je sais qu'il y a une start-up en infrastructures qui réfléchissait la logistique globale à partir de ça, mais avec les logiciels de modélisation en BIM qu'on utilise, quand tu essayes d'assembler des rues, il y a de choses qui ne s'assemblent pas... il y a des problèmes car les logiciels de modélisation utilisés en conception sont souvent cartésiens et ne prennent pas en compte la courbure de la Terre. De plus, ces programmes de modélisation ne sont pas adaptés à l'échelle territoriale. »			

Cet extrait d'entretien a mis en évidence les différences informatiques qui existent entre les logiciels à l'échelle urbaine ou territoriale et le BIM qui s'applique généralement à l'échelle du bâtiment. Au cours des entretiens menés en Espagne, les acteurs ont souligné l'importance de la liaison entre les systèmes d'information géographique (SIG) et les projets BIM dans le domaine des infrastructures que travaillent à une échelle plus large :

Expert 7	Consultant BIM et professeur associé	Espagne	09/2021
« Les projets de travaux linéaires en infrastructure intègrent le BIM et le SIG, dans ces projets vous disposez de tous les tracés dans le programme de dessin que vous utilisez, puis vous pouvez modéliser les structures, par exemple dans Revit, et enfin vous disposez des couches d'information d'un SIG avec l'importation du modèle BIM. Nous y avons vu des projets de ce type mais pas dans la construction des bâtiments. »			

Expert 10	Spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation	Espagne	03/2022
« Avec le SIG, il est également difficile de faire le lien, nous avons une équipe dédiée au SIG et petit à petit il y a des projets, par exemple dans les ports ou des développements urbains importants, mais il faut que ce soit avec des clients qui œuvrent beaucoup dans les infrastructures où ils ont des petites choses réparties sur tout le territoire , par exemple si on parle de sous-stations électriques réparties sur tout le territoire. »			

Actuellement en Espagne, le bureau des Ports de l'État, qui appartient au ministère de la Mobilité, du Transport et de l'Agenda Urbain, est en train de développer une grande partie des documents BIM réglementaires et de modéliser en BIM leur patrimoine existant (Puertos del Estado, 2019). Ainsi, ces dernières années, ce bureau est devenu un leader en matière de transformation numérique dans le secteur de la construction, ainsi qu'en matière de mutualisation des technologies SIG et BIM, car leur patrimoine est composé de bâtiments et d'infrastructures. En France, dans le cadre du projet national MINnD qui étudie la modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables⁵⁴, un rapport mentionne que certaines villes françaises, comme Le Havre, ont créé une maquette globale en 3D de leur ville depuis 2008 (Teulier, 2016). Cette maquette permet de visualiser les projets à venir et de définir le cahier des charges pour assurer leur compatibilité. Depuis 2015, le Building Information Modeling (BIM) est même intégré aux appels d'offres de la ville, ce qui a permis d'ajouter encore plus d'informations à la maquette de la ville.

Il est donc possible de conclure que la prise de conscience de l'importance des données géographiques et territoriales est en train de se faire jour en France et en Espagne, en grande partie sous l'impulsion des autorités publiques. Toutefois, il est à noter qu'actuellement, les

⁵⁴ Le MINnD est un projet national français de recherche collaborative, mis en œuvre entre 2014 et 2018, soutenu par le Ministère de la Transition Écologique. Selon, M. Beaufils, le but du projet MINnD consiste à élargir les fonctionnalités du *Building Information Modelling* (BIM) pour l'appliquer aux infrastructures comme les routes, les ponts et les voies ferrées (Beaufils et al., 2020).

exploitants manquent encore de retours d'expérience dans ce domaine, ce qui les éloigne en grande partie de ce type de réflexion dans leurs projets.

3.2.5. Les enjeux en exploitation : une continuité par rapport aux phases antérieures.

Au cours des entretiens avec les acteurs de la phase d'exploitation, nous avons souhaité obtenir un avis concernant les classifications des usages BIM en exploitation après les leur avoir présentées. Lorsque nous avons demandé aux acteurs quelle classification des usages BIM en exploitation correspondait le mieux aux enjeux d'exploitation et à la réalité du quotidien, une partie n'a pas répondu, certains nous ont déclaré ne pas être en mesure de faire un choix, et finalement, une majorité a répondu préférer celle que nous avons établie pour les phases de conception et d'exécution.

En conséquence, il pourrait y avoir une continuité dans la catégorisation des intérêts informationnels entre les phases qui pourrait couvrir l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. Cependant, la phase d'exploitation a révélé aussi certaines thématiques qui lui sont spécifiques, à prendre en compte dans l'analyse informationnelle de la gestion des bâtiments. Le nettoyage, la gestion des déchets, le confort, la santé ou la sécurité sont des sujets qui émergent notamment en phase exploitation avec l'arrivée des occupants au bâtiment (Bortolini & Forcada Matheu, 2020; Haynes, 2008; Mannino et al., 2021). Ces sujets doivent également être traités lors de l'analyse des informations des projets BIM en phase d'exploitation et nous les avons actuellement regroupés dans la catégorie réglementaire. L'évaluation de l'intérêt de ces thématiques du point de vue des occupants sera examinée au Chapitre 4.

Les entretiens nous ont permis de mettre en évidence plusieurs sujets déjà identifiés pour les phases de conception et construction, tels que : la réticence à modifier les méthodologies de travail, l'importance des enjeux administratifs, le besoin de montée en compétences des acteurs, les problèmes d'interopérabilité, etc. Ces thèmes récurrents dans l'analyse des informations tout au long du cycle de vie du bâtiment pourraient être le moyen d'aborder la continuité des

informations entre les phases. Par la suite, nous examinerons de plus près les obstacles qui entravent ces usages du BIM en phase d'exploitation.

3.2.6. Les principaux obstacles affectant la gestion du bâtiment

La plupart des recherches sur l'adoption du BIM se concentrent sur la phase de conception, et la plupart des publications sont axées sur la mise en œuvre du BIM dans un pays spécifique (Babatunde et al., 2020 ; Ding et al., 2015 ; Hochscheid & Halin, 2018 ; Kim et al., 2016). Néanmoins, plusieurs études ont montré que les défis de mise en œuvre des technologies BIM en phase d'exploitation sont similaires dans le monde entier (Cheng et Lu, 2015 ; Wu et al., 2017). La classification des obstacles affectant la mise en œuvre du BIM pour les experts en gestion et maintenance proposée dans cette thèse s'est fondée sur la classification des obstacles possibles face aux technologies innovantes. Ces obstacles à l'innovation font référence aux difficultés rencontrées par les professionnels lorsqu'ils adoptent une nouvelle technologie. En analysant ces difficultés, il est possible de mieux comprendre les freins à la continuité informationnelle dans les projets BIM. Dans leur étude sur les obstacles à l'innovation dans le contexte managérial en France, V. dos Santos et N. Tahri ont identifié quatre catégories d'obstacles : les obstacles de connaissance, les obstacles de marché, les obstacles financiers et les obstacles externes (dos Santos Paulino & Tahri, 2014). Ces catégories d'obstacles liées à la connaissance, au marché et aux finances sont fréquemment observées dans les travaux portant sur la mise en œuvre de l'innovation, et ne se limitent pas au contexte français, car elles ont été soutenues par d'autres études internationales sur l'innovation (Arza & López, 2021; Bukstein et al., 2019; D'Este et al., 2012; Pereira Cabral et al., 2020; Zahler et al., 2018).

L'étape initiale de l'étude a impliqué la création d'un diagramme, ou réseau de cooccurrence lexicale, en utilisant RCloud, dans le but d'analyser les termes les plus fréquemment mentionnés et leur corrélation avec les mots-clés utilisés par les exploitants lors de leurs discussions sur les obstacles qu'ils ont rencontrés. Pour effectuer cette analyse de cooccurrence, toutes les entretiens ont été traduits en anglais. Cette méthode d'analyse, comme décrite par O. Ferret, consiste en la construction d'un graphe dont les nœuds représentent les mots significatifs d'un corpus et les arêtes représentent les cooccurrences observées entre ces mots dans le corpus (Ferret, 2004).

Pour rassembler et catégoriser ces obstacles, cette analyse de cooccurrence reflète la fréquence d'apparition de deux termes dans un corpus de texte. Ce réseau permet de détecter les concepts qui se présentent généralement côte à côte dans un ordre spécifique dans le texte. Nous avons constaté que des facteurs tels que l'interopérabilité, le manque de compétences et le coût des outils numériques limitent la continuité de l'information entre les phases de construction et d'exploitation. Conformément aux thématiques des obstacles émergents associés aux technologies innovantes tels qu'identifiés dans la littérature scientifique, l'analyse de cooccurrence lexicale a permis de classer ces obstacles. Ainsi, nous avons identifié quatre types d'obstacles dans le diagramme obtenu : liés à la connaissance, organisationnels, liés au marché, et financiers :

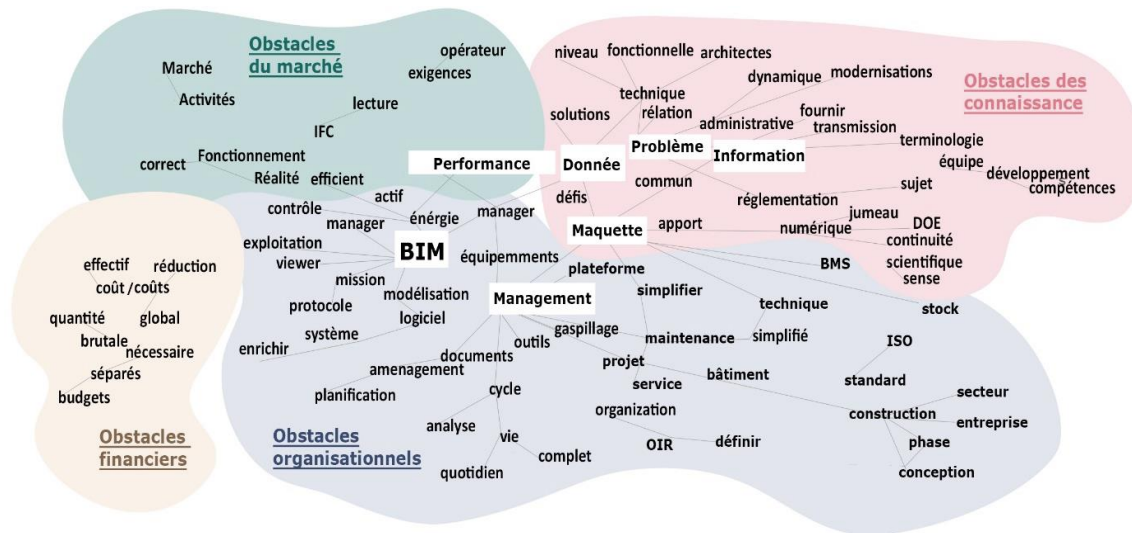


Figure 36 : Diagramme montrant le réseau de cooccurrences lexicales récuratif sur l'ensemble du corpus des entretiens des exploitants

Bien que, selon J. Leblanc, la récursivité ne garantisse pas nécessairement l'existence de cooccurrences réelles ni de limites absolues, elle permet de visualiser le réseau de relations presque « neuronales » autour du lexique, et de mettre en évidence les zones qui se dégagent à partir d'une forme polarisée selon des thématiques (Leblanc & Martinez, 2006). Dans cette analyse, certaines barrières apparaissent en même temps ou sont liées entre elles : par exemple, le manque de compétences peut produire des problèmes organisationnels. Dans le diagramme de cooccurrence de réseau lexical, les sujets liés aux barrières de connaissance sont étroitement associés aux obstacles du marché dans les questions techniques, et aux obstacles

organisationnels dans les sujets plus managériaux. Cependant, comme suggéré par P. Mohnen et J. Rosa, tous les obstacles peuvent être interdépendants, c'est-à-dire qu'ils peuvent dépendre les uns des autres ou se renforcer mutuellement. Dans ce cas, il est inutile de les combattre individuellement et il est nécessaire de mettre en place une politique systémique pour les surmonter (Mohnen & Rosa, 2001).

Les catégories proposées se sont basées sur la première partie de l'entretien et sur l'analyse documentaire. La plupart de ces barrières ont également été développées par M. Hosseini dans l'étude des obstacles à l'adoption du BIM dans les entreprises australiennes (Mr. Hosseini et al., 2016), ou par C. Chan dans les freins à la mise en œuvre du BIM dans l'industrie de la construction à Hong-Kong (Chan, 2014a), mais aussi dans de nombreuses autres études, comme le montre le tableau suivant. La recherche sur l'exploitation a ajouté quelques nouveaux obstacles, comme le « manque d'exigences en exploitation pendant la phase de conception » dans les obstacles organisationnels, et les « multiples outils existants non interopérables » dans les obstacles du marché. Enfin, une nouvelle catégorie a été ajoutée dans les barrières du marché, traitant du marketing irréaliste qui montre un développement BIM qui ne correspond pas à la réalité des projets actuels :

Nature de l'obstacle	Obstacle rencontré	Travaux de recherche
Obstacles de connaissances	Manque de compétences	(Chan, 2014b; Gerrard et al., 2010; Mr. Hosseini et al., 2016; Kalantari et al., 2017; Khosrowshahi & Arayici, 2012; Zahrizan et al., 2013)
	Manque de retour d'expérience	(Abubakar et al., 2014, 2014; Mr. Hosseini et al., 2016; Kalantari et al., 2017; Khosrowshahi & Arayici, 2012; Poirier et al., 2015)
	Manque de suivi des guides sur la qualité des données	(Abdirad, 2015; Alshawi et al., 2008; Mr. Hosseini et al., 2016; Khosrowshahi & Arayici, 2012; Naghshbandi, 2016; Poirier et al., 2015; Zahrizan et al., 2013)
Obstacles du marché	Problèmes d'interopérabilité technologique	(Abdirad, 2015; Chan, 2014b; Durdyev et al., 2022; Mr. Hosseini et al., 2016)
	Publicité qui ne s'adapte pas à la réalité des projets	(Fox, 2014)
	Le coût des nouveaux outils sur le marché	(Chan, 2014b; Mr. Hosseini et al., 2016; Manderson et al., 2015)

Obstacles d'organisation	Manque de prise en compte des besoins en exploitation	(Kalantari et al., 2017; Naghshbandi, 2016)
Obstacles financiers	Manque d'investissement	(Chan, 2014b; Mr. Hosseini et al., 2016; Kalantari et al., 2017; Zahrizan et al., 2013)

Le réseau de cooccurrences lexicales montre que les obstacles liés à la connaissance et les obstacles organisationnels sont au cœur de la plupart des discussions et sont extrêmement liés aux notions de « données », « modèle », « information », « gestion » et « BIM » (voir Figure 36). Une analyse initiale du corpus d'entretiens, en utilisant ces catégories, révèle également que ces deux types d'obstacles sont considérés parmi les plus importants par ces experts lors de l'utilisation du BIM pour la gestion de l'exploitation :

Tableau 9 Tableau regroupant les types d'obstacles qui peuvent avoir un impact sur la continuité informationnelle selon les dix experts interviewés.

Obstacles sources de ruptures informationnelles		E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10	TOTAL	
Obstacles de connaissances	Manque de compétences											6	16
	Manque de retour d'expérience											3	
	Manque de suivi des guides sur la qualité des données											7	
Obstacles du marché	Problèmes d'interopérabilité technologique											7	12
	Communication commerciale et publicité sur les logiciels											4	
	Coût des nouveaux outils sur le marché											1	
Obstacles d'organisation	Manque de prise en compte des besoins en exploitation											5	5
Obstacles financiers	Manque d'investissement											4	4

La plupart des acteurs interrogés ont identifié des obstacles liés aux connaissances et au marché, – notamment le manque de compétences, le manque d'outils interopérables et le manque de suivi des guides sur la qualité des données dans les projets de conception – comme ayant un impact significatif sur la continuité de l'information. Étonnamment, les obstacles financiers ne sont pas aussi importants pour eux, et l'analyse du réseau de cooccurrence (voir Figure 36) montre que ces sujets apparaissent de manière aléatoire et déconnectée du reste, même s'ils sont plus proches des concepts liés aux obstacles organisationnels et commerciaux. Pour mieux

comprendre ces obstacles, la deuxième partie de l'entretien se concentre sur la façon dont ils influencent les différents domaines de gestion et maintenance d'un bâtiment.

a) Obstacles des connaissances

Les résultats des entretiens montrent que les obstacles liés à la connaissance affectent la plupart des domaines de la gestion des bâtiments. Ces types d'obstacles sont divisés en trois catégories : le manque de compétences, le manque de retour d'expérience et le manque de qualité des données.

1) Manque de compétences

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5		E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique											
Gestion de l'espace											
Technique des équipements											
Santé et confort											
Administration											
Gestion des données géographiques											
Sûreté et sécurité											

Les experts dénoncent un manque de compétences et de connaissances sur les outils BIM : « *Il faut aider les équipes de maintenance, cela permettra d'avoir des équipes qui même si elles ne sont pas forcément au courant de tout, si elles sont bien formées, les techniciens seront plus polyvalents*⁵⁵ » ; « *Le principal problème est aussi que les équipes ne sont pas formées à l'utilisation du BIM*⁵⁶ » ; ou encore : « *Il faut une personne chargée de la mise à jour du modèle BIM*⁵⁷. »

Le manque de compétences affecte presque tous les domaines de l'exploitation. R. Williams souligne que le manque de compétences est l'un des principaux problèmes auxquels les

⁵⁵ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance d'un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

⁵⁶ Acteur 10 - Entretien avec un spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation spécialisés dans le développement de différents logiciels BIM, la formation, l'analyse des stratégies et l'assistance en Espagne, mars 2022.

⁵⁷ Acteur 5 - Entretien avec le responsable d'innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

gestionnaires de bâtiments ont été confrontés en utilisant les technologies BIM (Williams et al., 2014). De plus, R. Williams met en garde contre le déficit de compétences nécessaires pour utiliser le BIM chez les exploitants, conjugué à une culture basée sur la réactivité, ce qui a pour conséquence que les exploitants ne sont pas considérés comme des parties prenantes importantes dans les projets BIM. Certaines publications associent ce manque de compétences BIM dans le secteur de la gestion et la maintenance à l'approche culturelle rigide du secteur en matière d'adoption de nouvelles technologies, comme c'est le cas de M. Kassem (Kassem, 2015). D'après ses observations, le manque de connaissances chez les clients est exacerbé par un manque de compétences et de compréhension du BIM parmi les professionnels du secteur, ce qui crée un cercle vicieux compliquant l'utilisation du BIM dans la gestion des bâtiments. En outre, B. Becerik-Gaber et G. Kelly mettent en évidence le manque d'intérêt des exploitants à acquérir les compétences nécessaires, en raison de la perception de la maquette numérique en exploitation comme une source supplémentaire de travail. La maquette est considérée par les exploitants comme un actif individuel du bâtiment, nécessitant une maintenance constante pour préserver sa valeur pour le bâtiment et ses propriétaires (Becerik-Gerber et al., 2012; G. Kelly et al., 2013).

Ainsi, le manque de compétences constitue une contrainte inhérente à l'adoption d'une nouvelle technologie et constitue l'une des premières résistances auxquelles elle doit faire face lors de son implantation. Toutefois, dans le cas de l'exploitation en BIM, cette contrainte est aggravée par la rigidité du secteur.

2) Manque de retour d'expérience

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

Au cours de l'analyse des entretiens, il est apparu parfois que le manque de compétences était spécifiquement lié à un domaine particulier : « *Pour la gestion de l'énergie avec le modèle, je ne sais pas du tout comment ça marche et j'ai du mal à me projeter*⁵⁸. » Dans ces situations, la barrière des connaissances est due au manque de compétences, ainsi qu'au manque d'expérience et de retour d'expérience d'autres projets.

Dans ce type d'obstacle, nous avons constaté que les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de la *City Information Modeling* (CIM) par les participants sont principalement liées à un manque d'expérience : « *Le CIM dans la gestion des bâtiments, actuellement, honnêtement, est très absent dans nos projets et nous n'avons pas de retour sur cela*⁵⁹ » ou « *Pour le CIM, je suis moins sensible parce que nous avons l'habitude de travailler à l'échelle du bâtiment et je n'ai jamais travaillé à une échelle urbaine plus grande avec la cartographie*⁶⁰. » La plupart des participants ont convenu que les défis liés à la gestion des données géographiques ne sont pas encore considérés dans les projets de construction actuels, même si elle est de plus en plus demandée par les clients. De nombreuses publications comme la revue de littérature publiée par de Z. Ma et Y. Ren mettent en avant les bénéfices de la communication entre les systèmes d'information géographique (SIG) et le *Building Information Modeling* (BIM), car elle permet de connecter les modèles BIM des bâtiments aux réseaux des capteurs des villes intelligentes (Ma & Ren, 2017). Cependant, A. Dias et J. Oliveira montrent également l'existence actuellement de défis relatifs à l'interopérabilité des outils, en raison de la différence de structure des données (Dias & Oliveira, 2021).

Les difficultés de mise en œuvre du SIG avec le BIM sont beaucoup plus présentes dans les projets de bâtiments puisque l'espace de conception n'est pas adapté à l'échelle du territoire. Cependant, les travaux scientifiques de F. D'Amico ou M. Marzouk sur les projets d'infrastructures et leurs outils de conception en BIM ont prouvé que la fusion de ces technologies est encore possible (D'Amico et al., 2020; Marzouk & Othman, 2020).

⁵⁸ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

⁵⁹ Acteur 5 - Entretien avec le responsable Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

⁶⁰ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

3) Manque de suivi des guides sur la qualité des données

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

La qualité des données a été l'un des principaux sujets abordés lors des entretiens. Les personnes interrogées se sont plaintes de la base de données qu'elles obtiennent après la construction du bâtiment et du fait qu'elles ne peuvent pas s'y fier : « *C'est trop compliqué, et nous devons faire des recherches archéologiques pour savoir quelles informations ils ont et où elles sont*⁶¹ » ; « *J'ai des milliers et des milliers d'actifs, et je n'ai aucune garantie que les données ou la géométrie sont vraies*⁶² » ou « *Le problème est que les informations que nous obtenons ne sont pas vraiment cohérentes avec les attentes opérationnelles*⁶³. » Par ailleurs, les personnes interrogées se sentent généralement perdues ou sont obligées de développer leurs propres méthodologies : « *Il existe de nombreuses façons de procéder dans ce type de projets. [...] Selon le client, la méthodologie varie, dans certains cas, la maquette est destinée à être intégrée dans la maintenance, mais dans d'autres elle n'est que partiellement intégrée*⁶⁴ » ; « *Je ne sais pas comment le BIM peut me permettre d'optimiser tout cela et quelle est la procédure pour le mettre en place*⁶⁵. » Ou encore : « *Le jour viendra où nous serons tous d'accord sur le dictionnaire de données et sur la façon d'appeler les choses... La norme ISO pour l'instant définit la structure des données, mais elle ne définit pas le type d'information*⁶⁶. » Selon les

⁶¹ Acteur 10 - Entretien avec un spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation spécialisés dans le développement de différents logiciels BIM, la formation, l'analyse des stratégies et l'assistance en Espagne, mars 2022.

⁶² Acteur 7 - Entretien avec un consultant BIM et professeur associé dans un bureau d'études BIM en Espagne, septembre 2021.

⁶³ Acteur 3 - Entretien avec le directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM dans une entreprise de développement informatique appartenant à un groupe d'ingénierie en France, août 2021.

⁶⁴ Acteur 6 - Entretien avec le responsable de la transformation numérique dans une entreprise d'exploitation en Espagne, juillet 2021.

⁶⁵ Acteur 5 - Entretien avec le responsable Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

⁶⁶ Acteur 9 - Entretien avec la spécialiste en prévention dans la gestion d'un bâtiment public travaillant dans le département de gestion des services d'infrastructure d'un organisme public en Espagne, novembre 2021.

acteurs interviewés, cette situation impacte la gestion de l'espace, la gestion documentaire et notamment la maintenance technique des équipements.

Le domaine de l'environnement et de la performance énergétique est principalement touché par cette barrière, car il est impossible d'effectuer différentes analyses telles que l'analyse du cycle de vie ou l'économie circulaire sans une base de données fiable du bâtiment (Xu et al., 2021).

La qualité des données dans le jumeau numérique « tel que construit » est une préoccupation lors des phases de conception et de construction. Selon Y. Tchana, ce concept définit le bâtiment comme un produit, et le modèle virtuel du bâtiment doit correspondre au produit réel une fois la « fabrication » terminée, contenant toutes les informations relatives à celui-ci (Tchana et al., 2019). Dans le cas où les données ne sont pas saisies ou ne sont pas fiables, les acteurs ne peuvent pas les exploiter pour des analyses économiques ou des simulations énergétiques durant la phase de construction du bâtiment, comme indiqué dans les travaux de recherche d'A. Baldrich-Aragó, P. Smith ou P. Katranuschkov (Baldrich Aragó et al., 2021; P. Smith, 2014) (Katranuschkov et al., 2014). Dans son article, P. Katranuschkov souligne l'importance de la définition de contrôles de qualité des données pour garantir que toutes les informations nécessaires à la simulation énergétique sont correctement incluses dans un fichier IFC. Par ailleurs, les travaux de recherche de R. Marmo ont déjà identifié des méthodologies pour assurer la qualité des données pour les calculs énergétiques pendant l'exploitation (Marmo et al., 2019). Dans l'exploitation et la maintenance, F. Shalabi, Y. Turkan et Z. Fang soulignent que la qualité des données est également importante pour effectuer des actions de maintenance corrective qui tiennent compte de la réalité du bâtiment ou pour fournir au client une gestion stratégique des actifs (Shalabi & Turkan, 2017) (Fang et al., 2022).

En conséquence, les problèmes liés à la récupération de la donnée utile et fiable pour l'exploitation sont aussi en rapport avec la centralisation des outils que propose l'exploitation en BIM. Cette approche méthodologique nécessite une interaction avec tous les outils d'exploitation ou, au minimum, la recherche de passerelles ou de connecteurs entre eux, comme illustré par l'outil de maintenance proposé par Y. Jin. Cet outil connecte la maquette BIM à une interface de réalité virtuelle (Y. Jin et al., 2020). Dans ce contexte, les acteurs évoquent également l'idée d'éviter la duplication d'informations dans plusieurs outils, car cela peut entraîner des incohérences entre les données stockées dans chacun d'eux. Cette répétition de

données comportant des erreurs est incompatible avec l'idée que le BIM est une technologie qui vise à améliorer la fiabilité des données (Sattler, 2021).

Actuellement, des normes ont été établies pour garantir la qualité des données dans les projets BIM. Elles sont présentées dans certaines procédures décrites dans l'OIR (Exigences d'information de l'organisation), dans l'AIR (Exigences d'information de l'actif), dans l'EIR (Exigences d'échanges d'informations) et le PIR (Exigences d'information du projet) de chaque « actif » – terme utilisé par les professionnels de la maintenance pour désigner les bâtiments. Ces normes sont définies par la norme ISO 19650 et comprennent des exigences informationnelles ainsi que des procédures visant à assurer la continuité informationnelle tout au long du projet. La Figure 37 montre les relations entre les exigences et leur contenu :

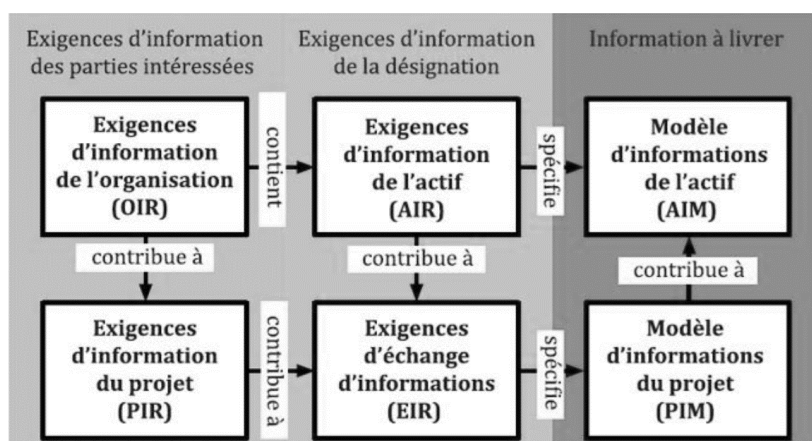


Figure 37 Hiérarchie des exigences informationnelles selon la norme ISO 19650. Source : Guide d'application du BIM Infra projet National MINND.

Le résultat de l'analyse de ces entretiens contraste avec le nombre élevé de normes et de standards publiés ces dernières années. Il existe donc un écart entre les normes existantes et les perceptions des experts. Il est également possible que certains d'entre eux n'aient pas eu accès à l'ISO, que la norme n'apporte pas de solution à tous les problèmes existants, ou que le simple fait qu'il s'agisse de normes et qu'elles ne soient pas juridiquement exécutoires les rende moins importantes pour les professionnels du secteur. Face à cette situation, S. Kong et M. Ho ont identifié un ensemble de freins qui expliquent l'absence de conformité aux normes ISO en matière de standardisation des processus dans les projets BIM. S. Kong et M. Ho considèrent que cela est dû à une sensibilisation insuffisante des acteurs au sujet de la réglementation, à un manque d'acteurs dotés de connaissances sur ces normes et à un manque d'études de cas concrets « conformes à la norme BIM ISO » démontrant que la mise en œuvre de ces normes

est efficace (Kong & Ho, 2022). Les obstacles rencontrés reflètent encore aujourd'hui un manque de connaissance des réglementations, normes et guides de bonnes pratiques en France et à l'étranger. Nous constatons que parfois, ces mesures n'ont pas encore été adoptées par l'ensemble des professionnels du secteur.

Par ailleurs, comme le souligne H. Wang, ces exigences informationnelles mettent l'accent sur la participation de l'exploitant aux phases de conception afin de définir tous les besoins informationnels du projet depuis son commencement (H. Wang et al., 2018). Cependant, malgré les exigences censées structurer les données, leur contenu se concentre en fait sur des exigences purement organisationnelles, en raison de la nature managériale de ces standards qui visent à imposer une structuration des données, des acteurs, des tâches, etc. Ces exigences n'apportent pas de nouveauté dans la structuration des données. En ce qui concerne la structuration des données, comme nous l'avons vu dans la première partie de la thèse, la norme ISO 19650 impose la classification de la norme ISO 12000 qui est très similaire aux classifications Uniclass ou Omniclass. Malgré cela, comme le souligne M. Munir, ces exigences sont très utiles pour les gestionnaires d'actifs pour comprendre ce qu'ils peuvent exiger dans les projets BIM et démarrer les projets avec un cahier des charges plus structuré (Munir et al., 2020).

Ainsi, le manque de connaissances est une problématique complexe qui englobe non seulement le manque de connaissances des outils BIM, mais aussi le manque de connaissances sur la réglementation et les méthodologies de travail, le manque d'expérience dans ces projets, ainsi que le manque de compétences en exploitation des acteurs impliqués dans les phases de conception et de construction qui ont préparé les maquettes numériques.

b) Obstacles du marché

1) Problèmes d'interopérabilité technologique

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

Les obstacles qui génèrent des interruptions dans la circulation de l'information en empêchant l'interopérabilité ont un impact sur la mise en œuvre de la plupart des usages BIM, comme l'illustre le tableau ci-dessus. À partir de l'analyse des entretiens, les experts ont identifié des aspects du BIM dans l'exploitation et la maintenance qui ne sont pas considérés comme une véritable contribution du BIM selon eux. Au cours des entretiens avec les experts, certains ont déclaré : « *Aujourd'hui les outils pour gérer le confort existent déjà [...] qu'est-ce que la maquette BIM peut apporter en plus de tous ces outils ?*⁶⁷ » ou encore : « *Pour la gestion des espaces nous avons déjà un outil en place pour cela*⁶⁸. » Lors des entretiens, nous avons relevé la nécessité de connecter tous les outils existants dans l'exploitation : « *Il faut comprendre qu'en aucun cas le BIM ne remplace les outils d'exploitation, mais sert plutôt à les intégrer afin de faciliter l'accès visuel à l'information*⁶⁹. »

Certains acteurs tentent de justifier que les outils existants sont suffisants pour développer leur travail et que l'introduction du BIM n'apporte pas grand-chose. Lors de l'analyse du cas d'étude portant sur l'exploitation d'un bâtiment universitaire, nous avons déjà identifié que

Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

⁶⁸ Acteur 4 - Entretien avec le chef de projet dans un projet d'exploitation dans le département d'exploitation d'une entreprise de services énergétiques en France, mars 2021.

⁶⁹ Acteur 6 - Entretien avec le responsable de la transformation numérique dans une entreprise d'exploitation en Espagne, juillet 2021.

l'introduction du BIM suscitait une certaine réticence au changement. Selon la thèse de H. Gless, l'existence d'une peur concernant les changements potentiellement négatifs que peut apporter le BIM, tels que la perte d'autonomie ou de pouvoir, est un obstacle à la continuité informationnelle entre les différentes phases du cycle de vie du bâtiment (Gless, 2019). Cette crainte peut entraîner une rupture informationnelle lorsque les acteurs de la phase suivante ne se sentent pas prêts à intégrer le modèle numérique du bâtiment ou à poursuivre le processus BIM.

Un autre obstacle important identifié dans les entretiens est le manque d'outils interopérables : *« il est essentiel d'assurer l'interopérabilité parce qu'il y a beaucoup de choses qui actuellement ne peuvent pas être travaillées sur Revit⁷⁰. »* ; *« Un gros inconvénient des plateformes d'exploitation est de pouvoir travailler sur des fichiers IFC, ces plateformes ont été conçues, et c'est fondamentalement une erreur de la part des développeurs, pour travailler uniquement avec des fichiers natifs tels que Revit⁷¹. »* L'interopérabilité est un sujet très important dans les projets en BIM pendant toutes les phases du projet. Comme expliqué précédemment, l'IFC (*International Foundation Class*) est le format qui permet l'interopérabilité et l'échange des documents en format open-source dans les projets BIM (Laakso & Kiviniemi, 2012). L'analyse de nos entretiens a révélé que la phase d'exploitation est touchée par les problèmes d'interopérabilité de manière similaire à ce qui a été rapporté dans les études de U. Cugini et J. Steel pendant les phases de conception et construction (Cugini et al., 2007; Steel et al., 2012).

Les considérations relatives à l'interopérabilité n'ont pas été examinées en profondeur dans les chapitres précédents, car elles revêtent un caractère technique auquel n'ont pas été confrontés nos cas d'étude. En effet, les maquettes numériques y étaient modélisées avec le même logiciel Revit d'Autodesk et par conséquent, l'interopérabilité n'était pas au cœur des débats. Cependant, l'observation participante de plusieurs projets en conception et exécution a révélé que les acteurs sont parfois incapables d'exporter le modèle dans le format interopérable IFC. L'interopérabilité est un enjeu majeur, même si Revit est l'un des logiciels les plus utilisés dans les agences d'architecture, les bureaux d'études et les entreprises d'exécution, aussi bien en

⁷⁰ Acteur 5 - Entretien avec le responsable Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

⁷¹ Acteur 7 - Entretien avec un consultant BIM et professeur associé dans Bureau d'études BIM en Espagne, septembre 2021.

France qu'en Espagne (É. Hochscheid & Halin, 2018; Romero Fernández & Garrido Iglesias, 2019).

Les politiques publiques en matière de BIM prônent actuellement l'utilisation de formats open-source pour garantir l'équité des opportunités entre les entreprises de différentes tailles. En France, le Plan de Transition Numérique du Bâtiment (actuellement Plan BIM 2022) a développé des outils et de méthodologies de travail pour favoriser les échanges en IFC (Ferries & de Boissieu, 2018) (PTNB, 2019) (Lindblad, 2019; Porwal & Hewage, 2013). Des politiques ont été mises en place en réponse aux tendances de monopolisation sur le marché, où certaines entreprises cherchent à imposer l'utilisation de logiciels coûteux et limitent l'accès pour les petites entreprises qui n'ont pas les ressources financières pour acheter ces licences. Lors des entretiens, les acteurs ont exprimé des préoccupations quant au pouvoir des monopoles actuels : *« Le pouvoir public ne peut pas lutter contre Microsoft ou être un concurrent d'Autodesk. » ; « On ne peut pas se baser que sur Revit, même s'il occupe 90 % du marché, il faut absolument assurer l'interopérabilité parce qu'il y a des entreprises qui actuellement ne peuvent pas travailler sur Revit. »* Par ailleurs, les acteurs interviewés soutiennent le gouvernement dans la promotion des formats open-source : *« Les administrations espagnoles vont également dans le bon sens. L'utilisation de formats ouverts est encouragée et des exigences sont établies pour demander que les données soient transmises dans des formats ouverts. »*

À l'échelle internationale, la norme ISO promeut également l'utilisation des formats open-source et la compatibilité entre tous les outils pour favoriser l'interopérabilité (ISO, 2019). Cet aspect devient particulièrement important en phase exploitation au moment où, théoriquement, les exploitants sont censés recevoir une maquette IFC compilée du bâtiment⁷². Cependant, ce n'est pas toujours le cas et l'usage des IFC est encore problématique, comme le montrent les entretiens portant que la phase exploitation : les acteurs y évoquent également des plateformes qui utilisent les fichiers Revit plutôt que des IFCs ; c'est le cas des plateformes ou hyperviseurs développés à partir de Forge, le *viewer* d'Autodesk qui permet de visualiser les modèles en format natif sans passer par l'IFC.

⁷² Les maquettes compilées sont la fusion de toutes les maquettes individuelles créées par chaque lot ou métier impliqué dans le projet.

Les problèmes d'interopérabilité constituent un obstacle complexe du marché qui est impacté à la fois par des contraintes technologiques, organisationnelles et économiques. Cependant, l'utilisation d'outils ou de maquettes numériques non interopérables peut entraîner une perte de données ou même de l'intégralité des données dans les projets BIM, ce qui peut gravement perturber la continuité informationnelle entre les acteurs et les phases.

2) Communication commerciale et publicité sur les logiciels

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

Lors des entretiens avec les dix experts, il a été rapporté que la mise en œuvre du BIM pour certains usages tels que la gestion environnementale, la maintenance et la gestion à l'échelle de la ville est mise en doute en raison du marketing irréaliste, de la publicité ou des conférences auxquelles ils ont assisté : « *Dans le BIM, beaucoup de choses ressemblent un peu à de la science-fiction, du moins d'après ce que je vois dans mon environnement [...]. Aujourd'hui, dans le domaine de l'exploitation, tout le monde parle d'utilisations telles que la réalité virtuelle, etc., mais en fin de compte, beaucoup d'entre elles ne sont pas encore appliquées et il est encore difficile de les mettre en œuvre*⁷³. » ; « *Certains consultants vendent quelque chose d'irréaliste ; ils vendent la lune parce que pour eux la lune est accessible mais pour les autres elle ne l'est pas*⁷⁴. »

Les experts affirment qu'il existe un décalage entre la réalité et le marketing BIM. Dans le monde professionnel du BIM, il est aujourd'hui difficile de discerner dans les conférences et

⁷³ Acteur 8 - Entretien avec le directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments dans une entreprise spécialisée dans la gestion globale du patrimoine en Espagne, octobre 2021.

⁷⁴ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

dans la presse professionnelle ce qui correspond à la réalité du métier et ce qui relève de la simple prospection, voire de l'imagination, comme c'est le cas par exemple de certaines conférences ou publicités professionnelles. En conséquence, S. Azhar souligne qu'il est nécessaire que les développeurs ne dépassent pas les attentes fixées par leurs publicités (Azhar et al., 2012). De la même manière, H. Abdirad et C. Dossick demandent que l'enseignement du BIM dans les écoles d'architecture et d'ingénierie ne soit pas détaché du contexte réaliste des projets de construction et que les étudiants travaillent avec des informations de cas réels (Abdirad & Dossick, 2016). A. Alombert et E. Cristia affirment que dans le cas des projets BIM intégrant des données géographiques, « *le concept de "CIM" est aujourd'hui principalement utilisé à des fins promotionnelles à défaut de relever d'une réelle pratique* ». Ce type de réflexion soutient l'éloignement général que nous avons constaté entre la promotion et la publicité de la technologie BIM et la réalité du terrain.

3) Le coût des nouveaux outils sur le marché

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

Au sujet de l'interopérabilité est déjà apparue la question économique. Dans ces entretiens, les questions économiques sont souvent discutées, et concernent particulièrement les usages techniques du BIM lors de la phase d'exploitation, en raison des coûts liés aux outils BIM pour la maintenance des équipements, qui sont fixés par le marché. Certains des experts s'inquiètent du prix des outils et des difficultés économiques de leur mise en œuvre : « *Et aujourd'hui c'est cher, je pense que la fédération professionnelle du bâtiment a mesuré le prix de la mise en œuvre du*

*BIM et c'est cher*⁷⁵. » Nous avons déjà observé que le prix de certains logiciels de modélisation en BIM peut exclure les petites entreprises du « marché BIM ». Cette situation a été identifiée également par A. Dainty dans le contexte anglosaxon (Dainty et al., 2017).

Pendant la phase d'exploitation et de maintenance des équipements, la mise en œuvre du BIM peut entraîner des coûts significatifs, tels que ceux liés à l'achat de logiciels, à la formation des opérateurs de maintenance pour acquérir les compétences nécessaires, et à la création d'une cellule BIM pour gérer les mises à jour des modèles en cas de rénovation du bâtiment ou d'intervention par les responsables de la maintenance dans le changement des équipements.

En somme, les obstacles liés au marché entravent l'adoption de cette technologie en phase d'exploitation sur plusieurs fronts. En effet, le marché peut empêcher sa mise en place en raison de prix élevés, de campagnes publicitaires incohérentes avec la réalité des projets, ainsi que de la vente d'outils qui ne sont pas encore suffisamment développés pour intégrer les maquettes numériques en exploitation.

c) Obstacles organisationnels

1) Manque de prise en compte des besoins en exploitation

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

L'arrivée tardive des exploitants dans le projet et le manque de discussion pendant les phases de conception et de construction avec ces acteurs ont été abordés dans plusieurs entretiens.

⁷⁵ Acteur 5 - Entretien avec le responsable Innovation d'une plateforme collaborative BIM spécialisée dans la gestion des données dans une entreprise de développement informatique en France, mars 2022.

Cependant, comme le montre le tableau ci-dessus, les participants n'ont lié ce problème qu'aux ruptures informationnelles que cela a engendré dans la maintenance technique des équipements. D'après eux, les besoins techniques des exploitants ne sont pas pris en compte par les concepteurs : « *Les maquettes ont été conçues pour la construction, et ils ne disposent donc pas des données sous la forme et la quantité que nous souhaiterions qu'ils aient pour mener un projet en exploitation*⁷⁶ » ; « *Il est nécessaire d'anticiper les besoins d'exploitation dans les spécifications de conception [...]. Un autre problème est que l'exploitant arrive en retard, je suppose que c'est un classique dans le monde entier, il arrive trop tard, et il veut fixer les exigences 6 mois après la fin des travaux*⁷⁷. »

Dans ce contexte, la norme ISO 19650 met l'accent sur la participation des exploitants dans la définition des besoins informationnels du projet dès le début de la phase de conception (ISO, 2019). Cependant, ces normes se concentrent davantage sur des exigences organisationnelles que sur la structuration des données. Comme relevé dans les chapitres antérieurs, P. Piroozfar souscrit également à l'idée selon laquelle la participation de l'exploitant est un élément-clé pour la conception intégrée de projets (Piroozfar et al., 2019). De plus, dans les projets impliquant un partenariat public-privé en France, en Suisse ou en Grande-Bretagne, l'approche du cycle de vie est de plus en plus adoptée, ce qui implique la participation de l'exploitant dans la construction et l'exploitation du bâtiment (Lienhard, 2006) et dans la méthodologie du *lean management* visant à améliorer la productivité et l'efficacité (Nascimento et al., 2018).

Les acteurs interviewés font référence à un écart de communication entre les exploitants et les acteurs des phases précédentes : « *L'exploitant ne peut pratiquement jamais discuter ou demander des clarifications ou de l'aide à la personne qui a exécuté ou conçu le bâtiment, car ils ne font plus partie du projet*⁷⁸ ». Ce décalage entre les acteurs et entre les phases est également dû à la formation des écoles d'ingénierie et d'architecture. En effet, J. Ballesteros et F. Martín soulignent que les concepts de cycle de vie et de maintenance des bâtiments sont très rarement inclus dans les cursus de formation en architecture (Ballesteros & Martín, 2018). Par

⁷⁶ Acteur 6 - Entretien avec le responsable de la transformation numérique dans une entreprise d'exploitation en Espagne, juillet 2021.

⁷⁷ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

⁷⁸ Acteur 10 - Entretien avec un spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation spécialisés dans le développement de différents logiciels BIM, la formation, l'analyse des stratégies et l'assistance en Espagne, mars 2022.

conséquent, deux mondes se sont développés : avant et après la fin de la construction du bâtiment. Les acteurs entre les phases de conception et de construction parlent le même langage et utilisent les mêmes outils, mais ce n'est pas le cas pendant la phase de gestion du bâtiment où les acteurs rencontrent des écarts de vocabulaire, d'outils, de compétences et d'usages avec ceux des phases précédentes. G. Kelly explique que ces hiatus entre les phases de construction et d'exploitation sont également liés aux différentes temporalités des projets de construction et à celles de l'exploitation et de la maintenance (Kelly et al., 2013). Cependant, pour intégrer la notion de cycle de vie du bâtiment, d'économie circulaire, etc. dans les bâtiments futurs, les architectes et les ingénieurs doivent recevoir une formation complète sur toutes les phases de la vie du bâtiment.

Par ailleurs, cette situation est aggravée par le manque de connaissances des exploitants quant à leurs besoins futurs et aux nouveaux outils d'exploitation qui seront développés, ce qui se traduit par une forte incertitude quant à ce qu'ils devraient exiger aux entreprises d'exécution pour garantir une gestion efficace sur vingt ans. En parallèle, ils préviennent que le BIM en exploitation n'est actuellement pas répandu et que sa généralisation prendra du temps : « *Mais en termes de données on ne sait pas vraiment aujourd'hui quels seront les besoins demain*⁷⁹. »

Lors de l'étude de cas sur l'économie circulaire du groupe de recherche en exploitation, cette incertitude a également été discutée : les débats ont porté sur les caractéristiques des matériaux qui seront nécessaires dans les études d'économie circulaire pour les trente prochaines années. Par exemple, actuellement, nous connaissons les propriétés nécessaires pour les analyses de la qualité de l'air, la performance énergétique et l'économie circulaire. Mais il est possible que des aspects non considérés aujourd'hui deviennent importants pour les analyses futures. Par ailleurs, les questions liées à l'intelligence artificielle, aux bâtiments durables et à l'Internet des objets (IoT) sont actuellement le sujet de nombreuses réflexions sur l'avenir de l'exploitation. Pourtant, les travaux de recherche soutiennent qu'il est difficile de prédire avec certitude les transformations à venir et leur impact sur les usages des exploitants (Atkin & Bildsten, 2017; Boateng, 2011).

⁷⁹ Acteur 2 – Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

De manière générale, les problèmes organisationnels liés au manque de dialogue entre l'exploitation et la construction ne sont pas intrinsèques à cette nouvelle technologie, mais plutôt aux pratiques traditionnelles qui entravent l'utilisation des maquettes numériques de construction en exploitation. Ces problèmes pourraient être résolus grâce à une participation plus active des exploitants tout au long du projet.

d) Obstacles financiers

Liste des usages BIM en exploitation impactés	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
Environnement et efficacité énergétique										
Gestion de l'espace										
Technique des équipements										
Santé et confort										
Administration										
Gestion des données géographiques										
Sûreté et sécurité										

La plupart du temps, les obstacles financiers sont liés au coût élevé des outils. Cependant, si le prix des outils est un obstacle imposé par le marché, le manque de moyens et d'investissement est une décision budgétaire du client ou des entrepreneurs. Certains clients même ayant les moyens d'acquérir ces outils peuvent les percevoir comme peu utiles ou comme une dépense inutile. Au cours des étapes précédant les phases d'exploitation et de maintenance, la mise en œuvre du BIM est moins remise en question d'un point de vue économique car le retour sur investissement est plus facilement mesurable à court terme. Cependant, l'exploitation et la maintenance sont des projets à très long terme et le retour sur investissement est beaucoup plus difficile à mesurer et à assurer : « (...) comme la maintenance n'est pas un grand projet auquel on consacre un budget important, etc., cela coûte plus cher de mettre en œuvre le BIM, c'est un investissement difficile à justifier auprès du client⁸⁰ » ; « Les clients n'ont pas la capacité de fournir

⁸⁰ Acteur 10 - Entretien avec un spécialiste BIM dans une entreprise d'innovation spécialisée dans le développement de différents logiciels BIM, la formation, l'analyse des stratégies et l'assistance en Espagne, mars 2022.

*les moyens de mettre en œuvre le BIM, et ce n'est pas non plus une priorité pour eux*⁸¹. » Toutefois, de nombreuses publications traitent du retour sur investissement pour les phases de conception et de construction en garantissant des avantages en termes de gain de temps et d'amélioration du processus de prise de décision (Giel & Issa, 2013; R. Jin et al., 2017; Sompolgrunk et al., 2021).

Certains experts affirment que le principal problème est l'absence de budgets prenant en compte l'ensemble du cycle de vie du bâtiment : « *Cela aura des conséquences coûteuses parce qu'ici (en France) nous ne travaillons toujours pas en coût global du bâtiment*⁸². » ou « *Nous devrions penser : peut-être que cela va me coûter plus cher cette année mais dans cinq ans j'économiserai de l'argent, mais ce concept, en Espagne, peut être encore difficile à assimiler*⁸³. »

Même si la phase d'exploitation est la partie la plus longue et la plus coûteuse du projet selon S. Durdyev (Durdyev et al., 2022), les avantages liés à la mise en œuvre du BIM en exploitation ne sont pas encore largement acceptés dans le domaine de la construction. Ainsi, M. Georgiadou affirme qu'il existe une forte prise de conscience des bénéfices du BIM pour la phase d'exploitation, mais une barrière financière persiste du côté des clients pour investir dans le développement des nouvelles compétences numériques, ce qui freine la mise en œuvre de ces outils (Georgiadou, 2019). Le manque d'investissement est associé à cette crainte du changement, mentionnée à plusieurs reprises, ainsi qu'à la nécessité pour les investisseurs d'avoir des certitudes quant à leur investissement. Il est également lié à l'absence de retour d'expérience qui peut prendre plusieurs années dans le cadre de projets en exploitation.

Conclusion

Le BIM en exploitation est témoin de ruptures informationnelles d'une façon très similaire à ce que nous avons pu observer dans les phases de conception et de construction. Bien que le système d'acteurs, les outils et les méthodologies de travail diffèrent complètement, la nature

⁸¹ Acteur 2 - Entretien avec le directeur d'une société de conseil en gestion et maintenance dans un bureau d'études exploitation en France, juin 2021.

⁸² Acteur 1 - Entretien avec le directeur de l'ingénierie des bâtiments et de la gestion et maintenance des bâtiments dans une entreprise de services énergétiques en France, septembre 2021.

⁸³ Acteur 8 - Entretien avec le directeur spécialiste de la maintenance des bâtiments dans une entreprise spécialisée dans la gestion globale du patrimoine en Espagne, octobre 2021.

des ruptures dans la continuité des informations du projet est très similaire pendant toutes les phases. Les ruptures informationnelles observées lors de l'analyse de l'étude de cas peuvent être attribuées à divers facteurs tels que le manque de compétences des acteurs impliqués, des problèmes organisationnels et managériaux, des investissements économiques insuffisants, des problèmes technologiques liés aux outils informatiques, ainsi que le manque d'objectifs environnementaux, en particulier la notion d'économie circulaire et la prise en compte du cycle de vie du bâtiment. Ces obstacles ont également été évoqués lors des entretiens avec les professionnels de l'exploitation et de la maintenance des bâtiments. De plus, il a été constaté que les propos des exploitants sur ces questions ne sont pas spécifiques à la France, mais se répètent également dans le contexte espagnol. Nous avons réussi à classer les défis liés à la phase d'exploitation en quatre catégories : les obstacles liés aux connaissances, ceux induits par les forces du marché, les obstacles organisationnels, et financiers. Ces derniers sont souvent liés à la résistance au changement et à un manque d'investissement. L'ensemble de ces freins complique les processus BIM et affecte la continuité de l'information avec les phases antérieures. En effet, le manque de compétences, l'absence d'outils interopérables ou le non-respect des normes et guides de travail BIM aboutissent à des maquettes numériques incomplètes ou inexploitable pendant la phase d'exploitation. Même si les manques d'information peuvent causer des ruptures tout au long du projet, les différences entre les acteurs et les outils des phases de construction et d'exploitation sont susceptibles de les aggraver, voire de mener à l'abandon du BIM et à l'obsolescence des maquettes numériques.

D'après les observations recueillies tout au long des différentes phases du projet, les ruptures de continuité de l'information peuvent être attribuées également à une absence de considération environnementale, notamment en ce qui concerne la notion d'économie circulaire et le cycle de vie du bâtiment. Par conséquent, la prise en compte des enjeux environnementaux comme l'intégration d'informations sur les matériaux ou l'identification des besoins des exploitants dès la conception du bâtiment, ainsi que des aspects tels que la santé et le confort des occupants, pourrait contribuer à résoudre une partie des obstacles et à faciliter la continuité de l'information tout au long du projet. La prise en compte d'autres enjeux tels que les aspects administratifs ou la notion de coût global dans les considérations économiques qui sont transversales à toutes les phases pourrait également contribuer à l'intégration de la notion de cycle de vie dans ces projets. Nous avons également remarqué une continuité dans les catégories

d'informations qui reflètent les enjeux et les besoins en exploitation par rapport à celles des phases précédentes. Ces enjeux sont influencés pendant l'exploitation par le type de métier que les acteurs pratiquent, tout comme nous avons observé lors des phases de conception et de construction que les catégories d'informations diffèrent entre les bureaux d'études et les architectes. Toutefois, les catégories d'informations techniques, administratives, fonctionnelles de l'espace, économiques, réglementaires et géographiques sont tout à fait applicables pendant cette phase, créant ainsi une grille d'analyse des intérêts informationnels partagés entre la conception, la construction et l'exploitation.

Enfin, dans l'analyse des entretiens, nous avons relevé l'émergence de nouvelles thématiques informationnelles, notamment liées à la santé, la sécurité et le confort des occupants des bâtiments, qui ont un impact direct sur eux. Ces résultats soulèvent des interrogations quant à l'implication des usagers finaux des bâtiments dans la gestion des projets BIM, ainsi que sur leur contribution à la continuité de l'information tout au long du cycle de vie du bâtiment, dans le but d'assurer une meilleure prise en compte de leurs besoins. Ainsi, nous allons donc examiner ensuite le rôle et les intérêts informationnels des occupants dans la gestion des projets BIM.

4. Le rôle des usagers finaux du bâtiment dans la gestion d'un projet BIM

La phase d'exploitation commence après la construction du bâtiment et se caractérise par l'arrivée de ses occupants. Étant donné que les usagers finaux occuperont et modifieront le bâtiment au fil du temps, nous les considérons comme des acteurs du projet. Bien que ceux-ci ne soient pas suffisamment pris en compte dans les projets BIM, nous avons remarqué lors de l'analyse des entretiens menés durant la phase d'exploitation qu'ils peuvent jouer un rôle moteur dans la gestion du bâtiment. L'implication des occupants peut entraîner des changements significatifs qui améliorent la satisfaction de leurs besoins et pourraient favoriser une exploitation BIM plus participative. Dans ce chapitre, nous voulons interroger les usagers finaux sur leurs intérêts et préoccupations informationnelles dans la gestion du bâtiment et enfin, évaluer dans quelle mesure ils pourraient influencer sur la continuité informationnelle entre les phases.

La norme ISO 41011:2017 définit l'exploitation des bâtiments comme une « *fonction organisationnelle qui intègre les personnes, l'espace et le processus dans l'environnement bâti afin d'améliorer la qualité de vie des personnes et la productivité de l'activité principale* ». Effectivement l'exploitation doit intégrer les personnes, et le BIM pourrait être le moyen de rendre plus accessibles ces processus aux occupants du bâtiment. Les besoins futurs de l'environnement bâti tendent vers une approche centrée sur l'utilisateur final, incluant deux dimensions principales : comment ces usagers sont incorporés dans les processus de conception de l'espace (co-conception), et comment les expériences des usagers et les pratiques existantes peuvent être utilisées pour mieux informer et gérer le fonctionnement du bâtiment pendant l'exploitation. Selon les travaux de recherche d'Ö. Göçer sur les analyses menées après l'occupation des bâtiments, en adoptant une approche centrée sur l'occupant qui accorde la priorité aux expériences, aux intérêts et aux pratiques existantes des usagers finaux, il est possible d'améliorer la gestion du bâtiment (Göçer et al., 2015). Des recherches ont montré que l'implication des usagers finaux dans la gestion de la modélisation des données du bâtiment (BIM) conduit à de meilleurs résultats dans les phases de construction, selon deux tendances

de recherche : la première, associée au processus de management intégré analysé dans les chapitres précédents, souligne l'importance d'impliquer toutes les parties prenantes, y compris les occupants, dans la gestion du projet depuis la phase de programmation jusqu'à l'ensemble du cycle de vie (Piroozfar et al., 2019) (D. Kelly & Ilozor, 2020). La deuxième tendance, appelée « SocioBIM » ou « BIM social », favorise la collaboration et un cadre intégré pour les parties prenantes, y compris les utilisateurs finaux. A. Shoolestani soutient que le SocioBIM transforme les occupants en habitants engagés, en leur donnant un sentiment de propriété et d'engagement dans le bâtiment (Shoolestani et al., 2015). Enfin, comme le souligne M. Das, l'absence d'engagement des parties prenantes, y compris des occupants, est considérée par ces études comme un facteur contribuant aux échecs de mise en œuvre (Das et al., 2014).

Ce chapitre présente une enquête auprès de 106 occupants de bureaux afin d'une part, de déterminer si les usagers finaux voudraient interagir avec la maquette numérique du bâtiment et d'autre part, de définir les domaines de gestion dans lesquels ils souhaiteraient participer. L'enquête par questionnaire a été adressée aux occupants de deux immeubles de bureaux de deux entreprises qui souhaitent utiliser les outils BIM pour la gestion de leurs bâtiments. Les thématiques abordées dans cette enquête ont été inspirées par les enquêtes de post-occupation existantes et par la catégorisation des informations selon les enjeux et les besoins des acteurs, développée dans les chapitres précédents. Nous avons proposé aux employés d'imaginer sur quelles catégories de gestion des bâtiments ils souhaiteraient interagir par le biais d'une plateforme BIM intégrant la maquette numérique de leur bâtiment. Ainsi, l'enquête a trois utilisations possibles. En plus d'être utile pour le présent travail de recherche, elle peut aider les entreprises interrogées dans le déploiement de l'exploitation BIM de leurs bâtiments à améliorer des aspects tels que le confort et la productivité, en intégrant les retours de leurs occupants. En outre, ces résultats pourraient être d'utilité pour les développeurs de logiciels souhaitant optimiser les plateformes d'exploitation BIM en adoptant une approche orientée vers l'utilisateur final.

L'analyse des résultats du questionnaire montre que les occupants souhaitent effectivement jouer un rôle actif dans la gestion du bâtiment à l'aide des outils BIM, en particulier en ce qui concerne les conditions de confort telles que l'éclairage, le confort thermique et acoustique, qui ont un impact direct sur leur bien-être. Les résultats obtenus soulignent également l'importance

d'adopter une approche axée sur les occupants pour définir les exigences de gestion BIM des bâtiments.

4.1. Les enjeux du BIM pour les occupants de deux immeubles de bureaux

La plupart des recherches sur les maquettes numériques pendant la gestion des bâtiments se concentrent sur les aspects techniques tels que la connexion des outils de gestion des bâtiments avec la maquette numérique ou sur les besoins des exploitants (Abdellatif, 2019; Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Cependant, le développement de la maquette numérique pour l'exploitation pourrait se fonder également sur les besoins des usagers finaux (Frontczak et al., 2012). En fait, le *Social BIM* ou *SocioBIM* sont deux concepts qui apparaissent d'habitude en lien avec les projets de co-conception (Buhl et al., 2017) où les occupants peuvent participer et collaborer avec les concepteurs et le client pendant la création de la maquette numérique (Suwal, Jäväjä, & Porkka, 2013). Ces concepts ne sont pas exclusifs des phases de conception et de construction et mettent également en valeur le pouvoir des occupants de décider sur le type d'informations à gérer, à partager et à stocker en phase exploitation (Aragao & El-Diraby, 2021). Par ailleurs, d'après la littérature en sociologie urbaine et en sociologie de l'habitat, les habitants jouent un rôle majeur dans la création de l'environnement urbain et sont devenus des acteurs importants dans la gestion des villes intelligentes (Couture et al., 2019; Fernandez et al., 2020; Schelings & Elsen, 2018; Souami, 2017). De la même manière que le client peut exercer une influence dans le cadre d'un projet de construction, les occupants futurs peuvent également avoir un pouvoir en tant qu'usagers finaux du bâtiment.

Il est surprenant de constater l'absence de considération des occupants dans les publications relatives à l'exploitation BIM, étant donné que les exploitants ont pour mission de répondre à leurs attentes en termes de confort et de satisfaction. Ce constat a été souligné par J. Lai et C. Man dans leur rapport sur l'état de l'art de l'évaluation de la performance des bâtiments (Lai & Man, 2017).

Dans les projets d'exploitation traditionnels, les avis et besoins des usagers finaux sont généralement évalués à l'aide d'enquêtes *a posteriori*, également appelées *Post-Occupancy Evaluation* (POE) dans les pays anglo-saxons⁸⁴. Ces enquêtes sont le principal outil pour l'étude systématique des bâtiments occupés (Meir et al., 2009). Différents aspects du fonctionnement, des caractéristiques et des performances des bâtiments peuvent être évalués dans les études POE dans lesquelles les occupants sont pris en compte. Dans ces études, le retour d'information des occupants permet d'améliorer la gestion du bâtiment et le développement de futurs projets similaires. BOSSA (*Building occupants survey system* en Australie) et BUS (*Building evaluation survey use studies* au Royaume-Uni) sont deux des grilles de POE actuellement utilisées les plus connues (Candido et al., 2012). Les recherches menées par R. Edirisinghe, J. Woo et C. Candido soulignent l'importance d'incorporer des enquêtes auprès des occupants dans les projets actuels (Edirisinghe & Woo, 2020) car elles fournissent des informations actualisées sur les besoins et la satisfaction des occupants, permettant ainsi une prise de décision efficace dans le processus de gestion du bâtiment. Bien que ces enquêtes aient pour objectif d'évaluer la satisfaction des occupants plutôt que de se pencher sur leurs intérêts ou préoccupations – comme cela est visé dans la présente recherche –, leur analyse s'avère pertinente car elles permettent de déterminer les domaines-clés qui ont un impact sur les occupants.

4.1.1. Le développement d'une enquête par questionnaire

La méthodologie adoptée dans cette étude consiste en une enquête par questionnaire auprès des employés de deux entreprises du secteur de la construction. Cette enquête par questionnaire analyse dans quels domaines de la gestion des bâtiments, du point de vue informationnel (confort thermique, éclairage, acoustique, ...), les occupants souhaiteraient interagir avec la maquette numérique.

Les facteurs qui influencent l'intérêt des occupants à interagir avec le système de gestion des bâtiments, tels que l'âge, le genre ou les connaissances BIM, ont également été analysés. L'enquête par questionnaire a été développée en utilisant une échelle de Likert à 7 points basée sur les enquêtes de post-occupation, BOSSA et BUS, (voir Figure 38) et qui fournit, d'après K. Finstad, des réponses plus spécifiques qu'une échelle de Likert à 5 points (Finstad, 2010).

⁸⁴ Enquêtes d'Évaluation après Occupation appliquées généralement à des bâtiments du secteur public (Léger, 1990).



Figure 38 Exemple d'échelle de Likert à 7 points dans une POE type BOSSA

Les travaux de recherche d'A. Joshi sur ce type d'échelles montrent qu'un participant a plus de difficulté à définir son point de vue sur une échelle de plus de sept points, et qu'une échelle de Likert à sept points génère plus de réponses positives ou négatives que de réponses neutres (Joshi et al., 2015).

Le questionnaire a été divisé en cinq sections (voir annexe 9) :

- La section 1 comprend des informations personnelles telles que l'âge, le genre, le poste et l'espace de travail ;
- La section 2 a pour objectif d'interroger les occupants sur leur expérience avec les projets impliquant la technologie BIM ;
- La section 3 porte sur les intérêts informationnels des occupants concernant les différentes thématiques de la gestion des bâtiments ;
- La section 4 porte sur les catégories de gestion des bâtiments sur lesquelles les répondants souhaiteraient interagir par le biais d'une plateforme BIM intégrant la maquette numérique du site ;
- La section 5 évalue la perception des occupants sur l'influence que l'interaction avec la gestion du bâtiment par le biais d'une maquette numérique pourrait avoir sur leur satisfaction, leur productivité et leur comportement.

Les questions ont été validées par quatre employés (deux de chaque entreprise) afin d'assurer leur clarté. Certaines ont été reformulées de manière plus complète et quelques exemples ont été ajoutés pour clarifier la façon dont les employés pourraient interagir avec la maquette numérique. Enfin, l'enquête par questionnaire a été envoyée à tous les occupants des deux entreprises.

4.1.1.1. Catégories d'enjeux informationnels des occupants pendant la gestion du bâtiment

Avant de procéder à l'enquête auprès des occupants, nous avons effectué une étape préliminaire d'identification des catégories d'informations pertinentes qui pourraient les intéresser. Nous avons suivi une approche similaire à celle utilisée pour préparer la grille d'entretiens destinée aux exploitants, en adaptant la classification des enjeux informationnels élaborée dans les chapitres précédents pour mieux répondre aux besoins spécifiques des occupants de bâtiments. Pour cela, nous avons intégré de nouvelles thématiques issues des enquêtes post-occupation qui permettent de recueillir des informations plus en adéquation avec les intérêts des occupants (voir Tableau 10). L'information qui impacte le plus les usagers finaux comprend les aspects de la Qualité de l'Environnement Intérieur (QEI), tels que la qualité visuelle, acoustique et thermique, et l'air (Frontczak et al., 2012), qui sont présents dans les enquêtes de post-occupation type BUS et BOSSA. Par ailleurs, nous avons ajouté d'autres types d'informations liés à la qualité des bâtiments, comme la santé et le confort, l'image, la sécurité et la sûreté qui ont été déjà pris en compte dans les entretiens avec les exploitants au cours du chapitre 3 (Bortolini & Forcada, 2018; Lützkendorf & Lorenz, 2006; Moser, 2004; Preiser & Nasar, 2008; Straub, A., 2003). Dans les phases précédentes, la catégorie d'informations liées à l'esthétique du bâtiment n'avait pas été prise en compte, et pourtant, en raison de sa récurrence dans les enquêtes de post-occupation, nous avons décidé de l'intégrer dans notre enquête auprès des occupants. En outre, nous avons inclus trois nouvelles catégories d'informations à la fin de l'enquête portant sur l'impact des interactions des occupants avec les outils BIM sur leur productivité, leur satisfaction et leur niveau d'implication dans la gestion du bâtiment. Ces catégories sont également présentes dans les enquêtes post-occupation et sont situées dans la section 5 de l'enquête.

Tableau 10 Classifications qui permettent de lister le type d'informations qui impacte les occupants des bâtiments pendant l'exploitation

BOSSA (Building Occupants Survey System Australia)	BUS (Building Evaluation Survey Use Studies UK)	Catégories de performance nécessaires pour l'exploitation établis dans la littérature scientifique (Straub, 2003; Hovde and Moser, 2004; Lützkendorf and Lorenz, 2006; Preiser and Nasar, 2008)	Catégorisation utilisée pour l'analyse des intérêts informationnels en conception et construction	Catégories proposées dans le questionnaire pour mesurer les enjeux des usagers finaux
Confort thermique	Température	Fonctionnel	 Fonctionnels	Confort thermique
Image du bâtiment et maintenance	Contrôle	Technique	 Techniques	Maintenance
Qualité de l'air	Air	Fonctionnel	 Réglementaires (certifications)	Qualité de l'air
Bruit et distraction	Bruit			Confort acoustique
Confort visuel	Eclairage	Fonctionnel	 Fonctionnels	Confort visuel
Espace individuel et confort		Fonctionnel		Gestion de l'espace
				Administrative
			 Administratifs	
Image du bâtiment et maintenance	Image	Esthétique		Image
Santé et productivité	Santé	Santé et confort	 Réglementaires (certifications)	Santé et confort
		Sécurité		Sécurité et sûreté
Environnement extérieur		Environnement	 Géographiques	Environnement et énergie
Santé et productivité	Productivité			Productivité
		Comportement		Comportement
	Autres			Autres

Une fois que nous avons trouvé une catégorisation de l'information prenant en compte les besoins et les intérêts des occupants des bâtiments, nous avons décrit chacune de ces catégories en utilisant les descriptions proposées par la littérature et les enquêtes de post occupation. La plupart de ces descriptions ont été intégrées dans l'enquête afin de faciliter la compréhension des questions par les occupants :

Tableau 11 Description des catégories proposées dans le questionnaire en ligne

Enjeux informationnels	Description
Confort thermique	Pouvoir contrôler ou avoir plus d'informations sur la température à l'intérieur.
Maintenance des équipements techniques	Connaître ou pouvoir vérifier l'état de fonctionnement des installations et des appareils du bâtiment et son planning d'entretien.
Gestion de l'espace ext.	Intérêt pour la gestion des espaces extérieurs (plan de gestion du jardin, entretien et utilisation des toits, gestion et disponibilité du parking, etc.).
Gestion de l'espace int.	Intérêt pour la gestion des espaces intérieurs (réservation de salles de réunion ou d'espaces communs, gestion des usages, etc.).
Qualité de l'air	Pouvoir contrôler ou avoir plus d'informations sur la qualité de l'air à l'intérieur et les concentrations de particules.
Confort acoustique	Pouvoir contrôler, avoir plus d'information, et signaler des éventuels problèmes sur le niveau de bruit à l'intérieur et les possibilités d'isolation par pièce.
Confort visuel	Pouvoir contrôler et signaler des éventuels problèmes sur le confort visuel concernant la lumière naturelle et artificielle sur le lieu de travail.
Image	Intérêt pour l'image du bâtiment (exemple : la possibilité d'utiliser la maquette numérique pour le marketing, la communication comme projet phare, etc.).
Santé et confort	Pouvoir informer sur ce qui peut affecter en général les conditions de santé et confort (Exemple : faire des requêtes, avoir accès aux protocoles de santé, identifier des facteurs qui peuvent affecter la santé : matériaux, température, etc.).
Sécurité et sûreté	Connaître ou pouvoir vérifier les informations relatives à la sécurité dans le bâtiment (exemple : pouvoir vérifier l'état de sécurité des équipements, les sorties d'évacuation, les consignes de sécurité de l'entreprise, etc.).
Environnement et énergie	Intérêt pour tout aspect du bâtiment ayant un impact sur l'environnement (par exemple, pouvoir contrôler la consommation d'énergie, le plan de gestion des déchets, le suivi des éoliennes ou panneaux solaires, etc.).
Administrative	Intérêt sur des informations purement gestionnaires ou administratives du bâtiment (exemple : avoir accès à certaines informations du bâtiment telles que les caractéristiques techniques des appareils, les procédures et méthodologies de travail, les informations sur les matériaux, etc.).
Impact sur les occupants	Description
Comportement	L'interaction avec la gestion du bâtiment et différents paramètres de confort tels que la lumière, la consommation d'énergie, la température, etc. pourrait augmenter l'implication des employés envers l'entreprise.
Productivité	L'interaction avec la gestion du bâtiment et les différents paramètres de confort tels que la lumière, la consommation d'énergie, la température, etc. pourrait avoir un impact positif sur la productivité des employés.
Satisfaction	L'interaction avec la gestion du bâtiment et différents paramètres de confort tels que la lumière, la consommation d'énergie, la température, etc. pourrait avoir un impact positif sur la satisfaction des employés.

4.1.1.2. Description des cas d'étude

L'enquête a été menée auprès de 84 employés travaillant dans l'immeuble de bureaux A et 90 employés travaillant dans l'immeuble de bureaux B. 106 d'entre eux ont répondu au questionnaire. Les deux bâtiments de bureaux étudiés appartiennent au secteur de la construction et leurs occupants ont une expérience préalable dans la modélisation de maquettes numériques. La taille de l'échantillon, avec une marge d'erreur de 6 % pour des données catégoriques et un niveau de confiance de 95 %, est considérée comme acceptable.

Entreprise A :

Siège du bureau d'études ALTO Ingénierie⁸⁵, entreprise qui a évolué de l'ingénierie thermique à l'ingénierie de la performance énergétique et de l'environnement, y compris les projets BIM. Cette société a été créée en 1991 et son siège social se situe actuellement dans la périphérie parisienne. Elle est organisée en pôles : systèmes de chauffage, ventilation et climatisation, plomberie, électricité, simulation énergétique des bâtiments, environnement, production en BIM et synthèse technique, suivi de travaux, administration, et direction. En ce qui concerne la gestion du bâtiment, les collaborateurs du pôle de suivi de chantier ont commencé à mettre en place des outils afin de suivre la gestion du bâtiment avec une maquette numérique connectée au système de gestion technique du bâtiment (GTB).

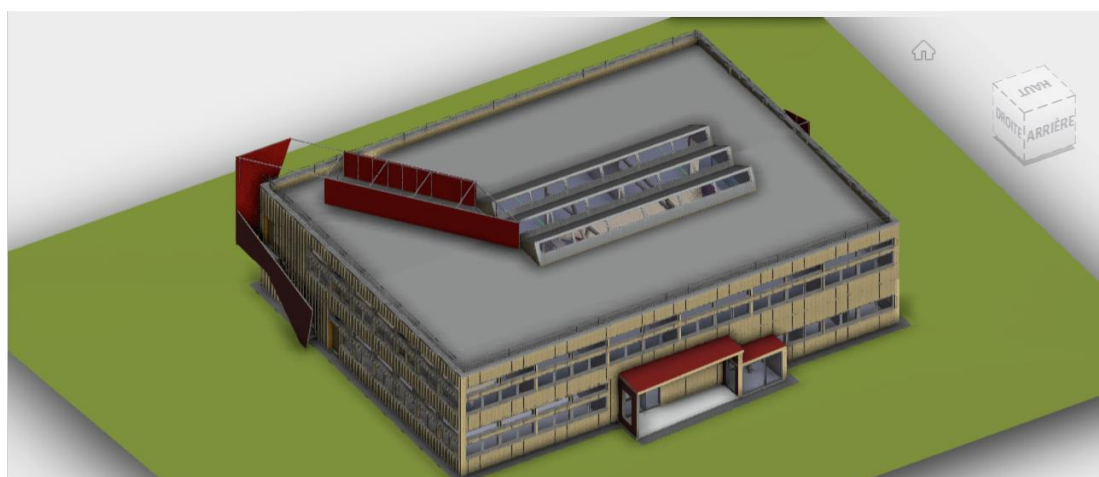


Figure 39 Maquette numérique du bâtiment de l'entreprise A

⁸⁵ Entreprise d'accueil de la convention CIFRE

Entreprise B :

Il s'agit d'un immeuble de bureaux d'une entreprise de construction espagnole située dans la zone métropolitaine de Barcelone qui se concentre principalement sur la gestion des bâtiments et développe l'activité de maintenance des services. Cette entreprise fait partie d'un grand groupe, l'un des leaders du secteur des infrastructures et de l'ingénierie en Espagne, et concentre ses activités dans les domaines des infrastructures ferroviaires et des travaux publics, de l'ingénierie industrielle, de la maintenance, de la technologie et des énergies renouvelables.

Le département des systèmes d'information (IT) a développé un outil de gestion de la maintenance, équivalent d'un système de gestion de la maintenance informatisée (GMAO), qui stocke les données techniques des actifs maintenables et toute la documentation des opérations de maintenance réalisées, tout en permettant la planification et la gestion de l'ensemble du service. L'entreprise a pour objectif de connecter cet outil de GMAO avec la maquette numérique du bâtiment.



Figure 40 Maquette numérique du bâtiment de l'entreprise B

Tableau 12 Description des cas d'étude

Caractéristiques	Entreprise A	Entreprise B
Employés enquêtés	84 (PME : Petite ou moyenne entreprise)	90 (PME : Petite ou moyenne entreprise)
Domaine d'activité	Bureau d'études techniques	Entreprise d'exploitation et maintenance
Localisation	Paris (France)	Barcelone (Espagne)
Domaine d'activité par département	CVC et plomberie, électricité, simulation, environnement, BIM et synthèse technique, supervision des travaux de construction, administration, direction et finances.	Le département de gestion des bâtiments, département des services énergétiques, le département des systèmes d'information (IT), la supervision des travaux de construction, l'administration, la direction et les finances.
Outils	Revit (maquette numérique), Niagara (BMS)	Revit (maquette numérique), Ecodomus (CMMS)
Espace de travail	Bureau individuel, bureau partagé, <i>open space</i>	Bureau individuel, bureau partagé, <i>open space</i>

4.1.1.3. L'analyse statistique

Les données des occupants et leurs réponses ont été analysées en fonction de l'entreprise, du genre, des connaissances BIM, du lieu de travail et de l'âge. Elles ont été analysées statistiquement à l'aide de R-Studio, un logiciel pour la gestion statistique des données. Les réponses avec des données manquantes étaient inférieures à 0,5 % et ont été retirées de l'analyse. Des analyses descriptives telles que les pourcentages, les tableaux croisés et la moyenne ont été utilisées pour résumer les caractéristiques des répondants. Le test du Chi carré (X^2) pour les variables catégorielles a été utilisé pour évaluer la relation entre les deux études de cas et entre les intérêts informationnels des répondants et leurs caractéristiques (maturité BIM, âge, genre, espace de travail, etc.).

4.1.1.4. Description de l'échantillon

Le profil démographique de l'échantillon se répartit comme suit :

Table 1 Profil démographique

Variable	Tableau de données:			
GENRE		Homme	Femme	
Echantillon		59,05%	40,95%	
AGE		20-30	30-40	40-50
Echantillon		28,57%	26,67%	29,52%
ESPACE DE TRAVAIL		Bureau Individuel	Bureau Partagé	Open Space
Echantillon		14,15%	36,79%	47,17%
				Autre
				2%

Dans les deux études de cas, environ 60 % des répondants sont des hommes et la répartition par âge de l'ensemble de l'échantillon est assez homogène. Selon l'espace de travail, la plupart des répondants occupent un bureau partagé ou un *open space*, ce qui signifie qu'ils partagent généralement leur espace de travail avec d'autres collaborateurs. Cependant, le profil démographique de chaque cas d'étude a également été analysé séparément car les différences entre les entreprises pourraient influencer les résultats.

Table 2 Profil démographique par entreprise

Variable	Tableau de données:			
GENRE		Homme	Femme	
Entreprise A-France		57,35%	42,65%	
Entreprise B-Espagne		62,16%	37,84%	
AGE	20-30	30-40	40-50	>50
Entreprise A-France	39,71%	29,41%	22,06%	8,82%
Entreprise B-Espagne	8,11%	21,62%	43,24%	27,03%
ESPACE DE TRAVAIL	Bureau Individuel	Bureau Partagé	Open Space	Autre
Entreprise A-France	5,80%	53,62%	37,68%	2,90%
Entreprise B-Espagne	29,73%	5,41%	64,86%	0%

Les principales différences entre les deux entreprises sont liées à l'âge et à l'espace de travail puisque dans l'entreprise française, les répondants sont plus jeunes que ceux de l'entreprise espagnole. Des différences sur la répartition de l'espace de travail ont également été observées. Dans le cas d'étude français, la disposition prédominante, ce sont des bureaux partagés ou des espaces ouverts avec très peu de bureaux individuels (5 %). Tandis que dans l'autre, même si l'*open space* (65 %) est majoritaire, une grande partie (30 %) sont des bureaux individuels. Les deux échantillons se distinguent principalement par la répartition respective des bureaux individuels, qui sont plus nombreux au sein de l'entreprise espagnole qui se caractérise également par une population de collaborateurs relativement plus âgée.

4.1.2. La maturité BIM des usagers finaux dans les études de cas

Étant donné que les salariés sont sondés en ce qui concerne les informations BIM, il est nécessaire de comprendre leur niveau de maturité sur le sujet et d'analyser ensuite si cette maturité aura un impact sur leur participation à l'exploitation ou non. En ce qui concerne la connaissance du BIM dans cet échantillon, les résultats ont souligné que la plupart des employés ont une connaissance basique des maquettes numériques. Cela signifie que dans le questionnaire, ils ont choisi l'une des affirmations suivantes : « *J'ai travaillé dans un projet BIM mais sans interagir avec le modèle numérique* » ou « *J'ai travaillé dans un projet BIM et j'ai ouvert un Modèle Numérique dans une visionneuse au moins une fois.* »

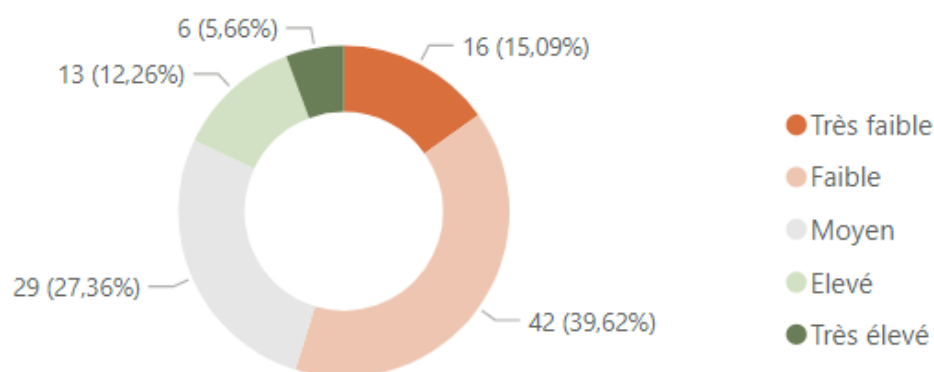


Figure 41 Maturité BIM dans l'ensemble de l'échantillon

Pour vérifier si la maturité BIM était influencée par le type d'entreprise, nous avons réalisé une analyse statistique. Les résultats du test du chi carré ont mis en évidence que la connaissance du BIM dépend du type d'entreprise ($p = 0.004$) et que les deux entreprises ont des niveaux de connaissance différents :

Table 3 Analyse du chi carré entre la maturité BIM et le type d'entreprise.

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
MATURITE BIM/ENTREPRISE	Elevée	Moyenne	Faible	
Entreprise A-France	17	22	30	
Entreprise B-Espagne	2	7	28	
X-squared = 11.013, df = 2				p-value = 0.004

La Figure 42 montre que 63,8 % des employés dans l'entreprise espagnole et près de 90 % de l'entreprise française savent au moins ce qu'est une maquette numérique ou un projet BIM. Cependant, dans l'entreprise A, 56,52 % des répondants ont travaillé sur un projet BIM alors que dans l'entreprise B, ils ne sont que 24,33 %.

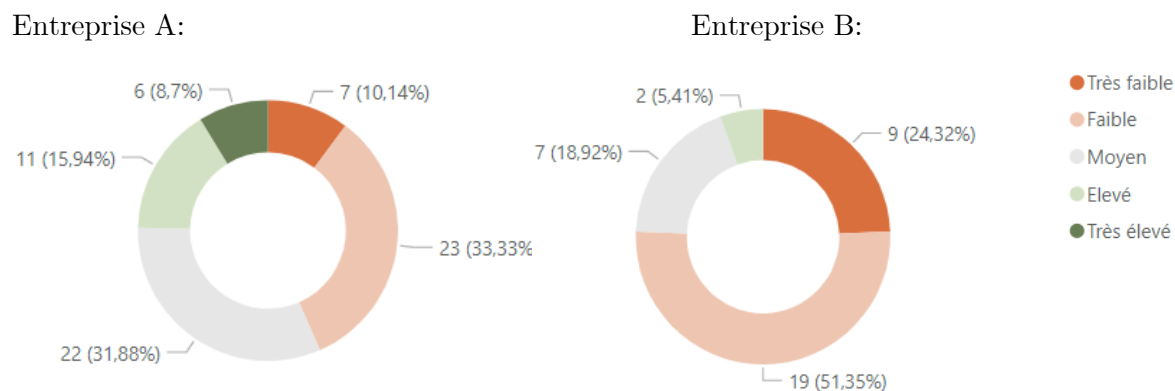


Figure 42 Maturité BIM par entreprise

De plus, il convient de prendre en compte que certains des participants, tels que les employés occupant des postes administratifs ou financiers, n'ont jamais travaillé avec une maquette numérique dans les deux cas d'étude, car cela ne fait pas partie des exigences de leurs postes de travail. La différence observée entre les deux groupes est due aux différents niveaux de formation et d'expérience de projet. Les variations de réglementations, marchés et compétences au sein de chaque pays peuvent également expliquer la différence de résultats observée entre les deux études de cas.

En ce qui concerne l'âge, les répondants de l'entreprise A étaient plus jeunes que ceux de l'entreprise B : 70 % des répondants du cas d'étude A avaient entre 20 et 30 ans alors que dans le B, environ 70 % des répondants avaient plus de 40 ans. Néanmoins, les résultats du test du chi carré ont montré que l'âge n'est pas un facteur d'influence sur la maturité BIM (valeur $p=0,67$) (Voir Table 4). Ainsi, cette analyse montre que les caractéristiques de l'entreprise ainsi que le niveau BIM de leurs projets peuvent influencer la connaissance des outils BIM par les employés, indépendamment de leur âge. Des études antérieures menées par N. Tong et Q. Phung ont suggéré qu'il existe une corrélation entre l'âge des employés et leur maturité BIM, avec une préférence pour les nouvelles technologies chez les employés plus jeunes et une certaine résistance au changement chez les employés plus âgés (Phung & Tong, 2021). En outre, les

résultats de l'étude menée par A. Stals suggèrent une augmentation de la perception de la complexité dans la pratique numérique avec l'âge (Stals et al., 2021). Bien que nos résultats n'aient pas confirmé ces théories, une enquête plus exhaustive avec un échantillon plus vaste serait nécessaire pour confirmer l'absence de lien entre l'âge et les compétences relatives aux outils numériques. Par ailleurs, les commentaires à la fin de l'enquête par questionnaire étaient principalement liés à l'utilisation des maquettes numériques et provenaient d'employés de plus de 40 ans, y compris des déclarations telles que : « *J'aimerais intégrer la maquette numérique de l'entreprise avec des outils de réalité virtuelle*⁸⁶. »

Table 4 Chi carré test entre l'âge et la maturité BIM de l'échantillon

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
AGE/MATURITE BIM	Under 30	30-50	Over50	
Elevée	7	11	1	
Moyenne	7	17	5	
Faible	10	30	10	
	X-squared = 2.3371, df = 4			p-value = 0.674

Les résultats du test du chi carré entre la maturité BIM et le genre ont montré que le genre était un facteur déterminant (valeur p de 0,02, voir Table 5). Le tableau de données montre que la plupart des femmes ont une connaissance moindre des projets BIM :

Table 5 Chi carré test entre le genre et la maturité BIM de l'échantillon

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
GENRE/MATURITE BIM		HOMME	FEMME	
Elevée		13	6	
Moyenne		20	8	
Faible		29	29	
	X-squared = 11.37, df = 4			p-value = 0.0227

Ce résultat est principalement dû au fait que la plupart des postes administratifs sont occupés par des femmes, et que ces postes ne requièrent aucune connaissance spécifique sur le BIM. Le questionnaire a donc révélé que ni l'âge ni l'espace de travail n'influent sur les compétences BIM, mais que le genre, oui. Ce résultat est dû au fait que dans les entreprises analysées, moins de femmes avaient des compétences en BIM. Ces résultats confirment les travaux de recherche de E. Kelan ou V. Lagesen montrant que les femmes restent minoritaires dans le secteur des

⁸⁶ Extrait d'un des commentaires ajoutés à la fin du questionnaire par un des collaborateurs de l'entreprise A (France).

technologies de l'information où les technologies BIM sont présentes (Kelan, 2007; Lagesen et al., 2022). La prochaine étape consiste à étudier les aspects sur lesquels les occupants souhaitent interagir lors de la gestion des bâtiments.

4.1.3. Les intérêts des occupants concernant l'exploitation des bâtiments en BIM : un aperçu des enjeux informationnels

La première partie de l'enquête sur les intérêts informationnels des occupants se focalise sur l'exploitation traditionnelle telle qu'elle est actuellement pratiquée dans ces entreprises, sans l'intégration des outils BIM. L'objectif est d'identifier s'il existe des différences dans la perception ou le *feedback* des occupants lorsqu'ils utilisent ou non ces outils. Les résultats ont montré qu'actuellement, les occupants s'intéressent beaucoup aux aspects qui peuvent être mesurés techniquement, comme le confort visuel, le bruit, le confort thermique, les installations et la qualité de l'air (voir Figure 43). Ces domaines sont en corrélation avec les aspects de qualité de l'environnement intérieur qui touchent directement les occupants. Cependant, les répondants ont manifesté un niveau d'intérêt relativement plus faible pour les questions administratives. Par ailleurs, les occupants, tout comme les exploitants interviewés dans le chapitre précédent, ont considéré la gestion de l'espace comme un aspect secondaire. Les employés considèrent que la gestion de l'espace et l'administration sont des domaines très spécialisés et devraient être gérés par des experts tels que les gestionnaires du patrimoine et le service administratif. Concernant ces thématiques, les occupants interrogés ont émis des commentaires tels que : « *Les données administratives sont importantes pour moi, mais je ne suis pas impliqué dessus*⁸⁷. »

En outre, les résultats ont également révélé que les employés ne sont pas intéressés par les sujets qui ne font pas partie de leurs activités quotidiennes ou qui n'ont pas d'influence sur leur confort.

⁸⁷ Extrait d'un des commentaires ajoutés à la fin du questionnaire par un des collaborateurs de l'entreprise A (France).

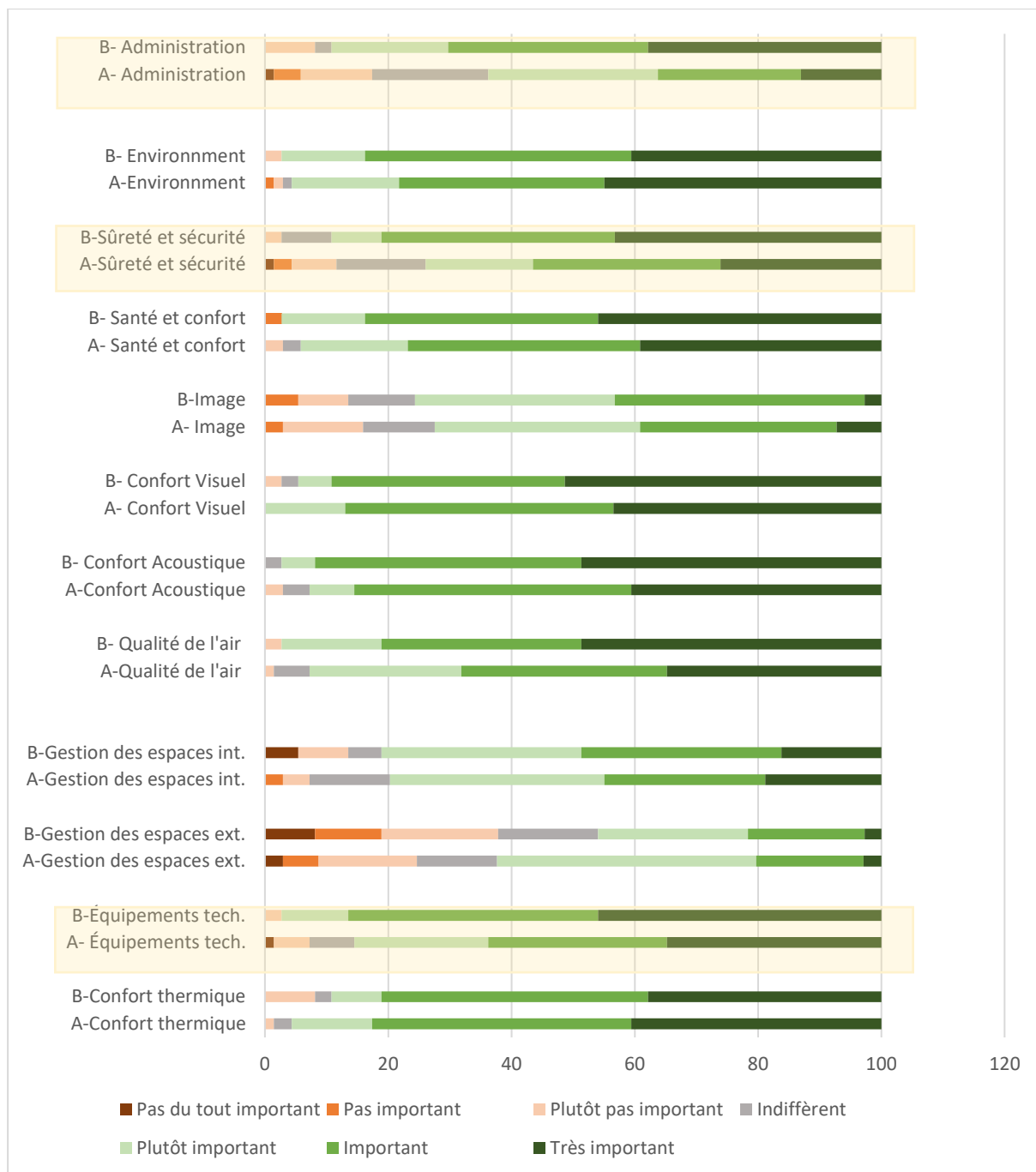


Figure 43 Analyse des intérêts informationnels des usagers finaux pendant l'exploitation du bâtiment par entreprise

En étudiant les résultats de la Figure 43 sur les intérêts informationnels des usagers par entreprise, sans l'intégration des outils BIM, notre étude a révélé que le confort thermique, la gestion de l'espace, la qualité de l'air, le bruit, le confort visuel, l'image, la santé ainsi que l'environnement ont été évalués de manière similaire dans les deux études de cas. Cette constatation est intéressante car elle indique une certaine similarité dans les intérêts des occupants, malgré les différences entre les entreprises auxquelles ils appartiennent. Toutefois,

il est intéressant de noter que les domaines des équipements techniques ($p = 0,047$), de la sûreté et de la sécurité ($p = 0,035$) et de l'administration ($p = 0,004$) ont été évalués différemment par les répondants des deux entreprises (voir Table 7 dans l'Annexe 10). Ces résultats s'expliquent par le rôle et les tâches développés par chaque entreprise. L'entreprise B travaille dans le domaine de la maintenance des équipements techniques et par conséquent, ses employés sont plus conscients de l'importance de cette question. En outre, cette entreprise dispose d'un département de sûreté et de sécurité, ce qui n'est pas le cas de l'entreprise A, et ils ont également plus de salariés dans le service administratif. La Figure 43 montre que les sujets en lien avec les équipements techniques, la sûreté et la sécurité, ou l'administration, sont considérés comme étant plus importants pour les répondants de l'entreprise espagnole (B). Les résultats de cette étude montrent que les employés ne sont pas intéressés par des informations qui ne sont pas liées à leur activité quotidienne ou qui n'ont pas d'impact sur leur confort. Par conséquent, les enjeux d'information des occupants pendant la gestion du bâtiment dépendent également du rôle et des tâches développées par l'entreprise. Ces résultats sont en accord avec d'autres projets de recherche montrant que les tâches des usagers finaux sont en corrélation avec l'importance perçue de la qualité de l'environnement intérieur (Lai & Yik, 2007).

Ultérieurement, les occupants ont été invités à répondre à nouveau aux mêmes questions, mais cette fois en supposant qu'ils ont la possibilité d'interagir avec la gestion du bâtiment grâce à une plateforme BIM spécialement dédiée à l'exploitation. Les résultats de cette partie du questionnaire montrent que les enjeux des occupants utilisant une plateforme BIM ne sont pas significativement différents des sujets d'intérêt dans la gestion traditionnelle des bâtiments. Les aspects de la qualité de l'environnement intérieur restent les plus importants pour les occupants, de même que la catégorie « environnement ». Toutefois, les résultats de l'enquête (voir Figure 44) montrent que l'utilisation des outils BIM joue sur les intérêts des occupants pour l'exploitation des bâtiments. Les sujets plus techniques et mesurables, tels que la qualité de l'air et le confort thermique, ont une importance légèrement plus élevée sans l'utilisation des outils BIM, tandis que l'introduction de ces outils conduit à une augmentation de l'importance des sujets moins techniques, tels que l'administration, la gestion des espaces et l'image. En somme, les résultats suggèrent que l'utilisation du BIM conduit à une homogénéisation des préférences des occupants envers les différents aspects de l'exploitation du bâtiment.

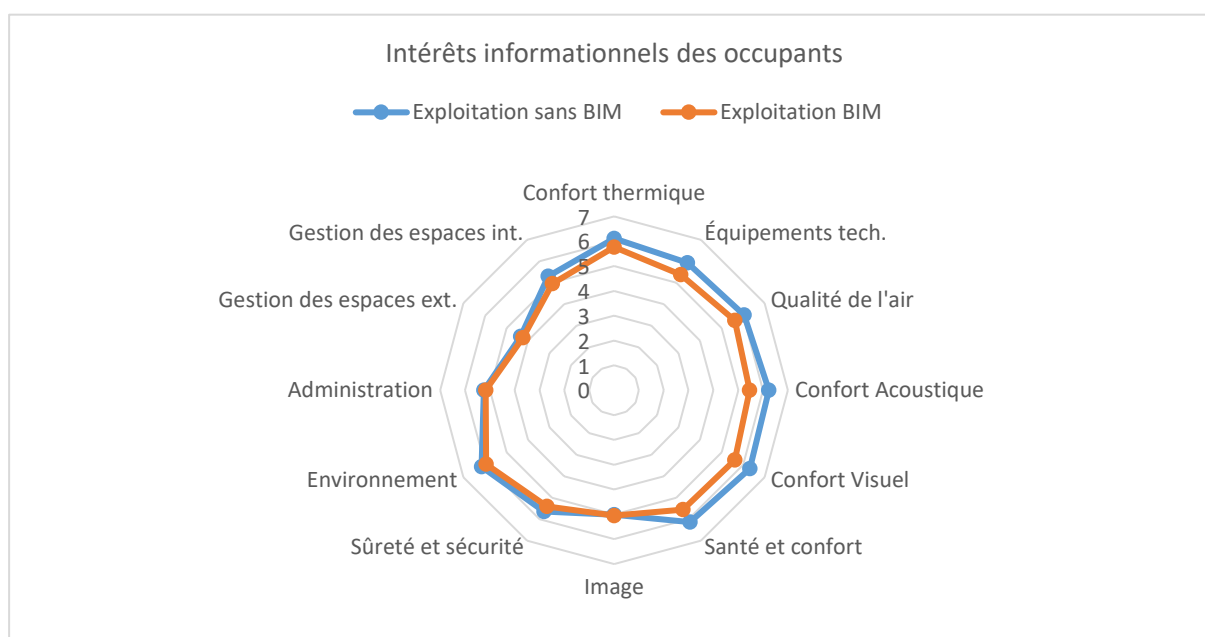
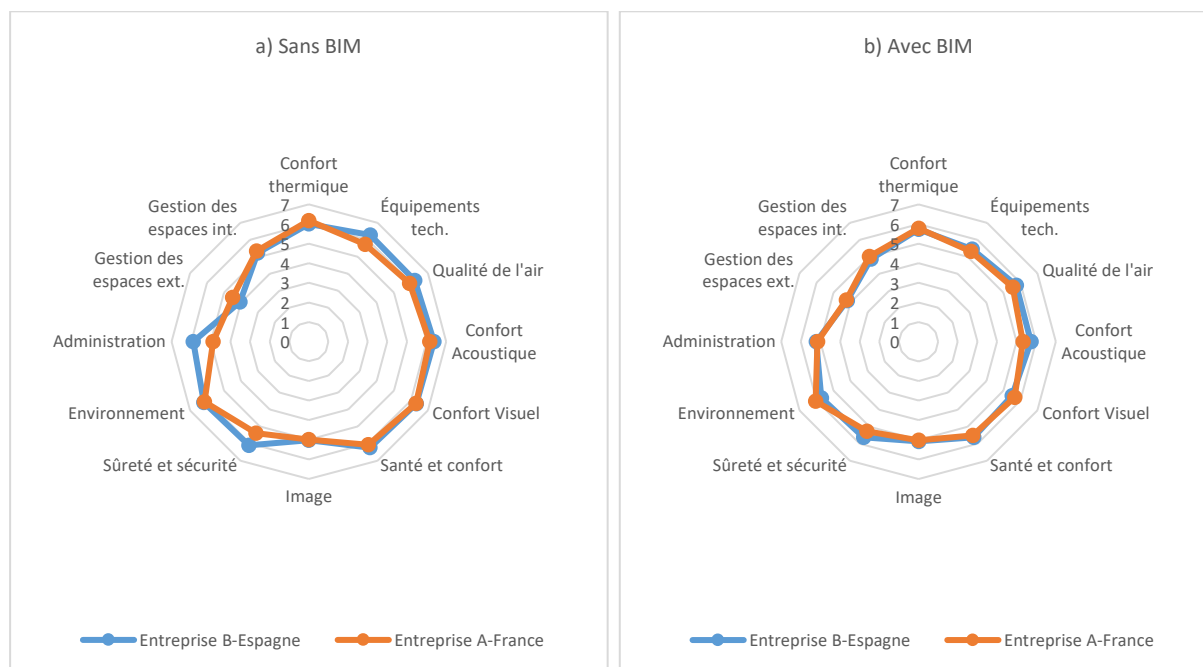


Figure 44 Comparaison entre les enjeux des occupants en exploitation avec et sans plateforme BIM intégrant la maquette numérique du bâtiment.

Les résultats du test du chi carré (voir Table 8 dans l'Annexe 10) ont conclu que le type d'entreprise n'influence pas l'intérêt de ses occupants à interagir avec la maquette numérique, bien que l'une des entreprises travaille dans des projets de gestion de bâtiments et l'autre dans des projets de construction et de conception. Il est remarquable de constater que, même si les occupants ont des niveaux de maturité BIM différents et travaillent dans des espaces de travail de caractéristiques différentes, les résultats sont similaires. Ces conclusions indiquent que les préférences informationnelles des occupants pendant l'exploitation des bâtiments, lorsqu'ils utilisent une maquette numérique, sont indépendantes de leur niveau de connaissances, du type d'entreprise et des caractéristiques de leur environnement de travail.

Par ailleurs, en comparant l'analyse des résultats de chaque entreprise individuellement, la Figure 45 démontre une similarité plus élevée entre les réponses des occupants des deux entreprises lorsqu'ils interagissent avec l'information via des outils BIM. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'enjeux relatifs à l'exploitation sans recours à la technologie BIM, des différences apparaissent dans les catégories telles que l'administration, la sécurité ou les équipements techniques, qui sont plus étroitement liées aux domaines d'activité spécifiques de chaque entreprise. Les résultats suggèrent que l'utilisation des outils BIM pour l'exploitation pourrait

réduire l'importance du domaine d'activité spécifique de chaque entreprise pour les occupants, ce qui implique que les répondants peuvent donner des réponses moins influencées par leur propre métier.



La forte similitude entre les enjeux informationnels des occupants et les deux études de cas qui ont des maturités BIM très différentes, suggère que les intérêts informationnels pourraient être indépendants de la connaissance et des compétences BIM des usagers. S. Andrés, dans son rapport sur l'implémentation du BIM en Espagne, a également constaté que les intérêts et les préoccupations BIM restent indépendants de la maturité BIM des professionnels (Andrés et al., 2017). Dans cette étude, des professionnels de la construction ont été interrogés sur les avantages du BIM à différentes étapes du cycle de vie d'un bâtiment. L'auteur a découvert que les utilisateurs et les non-utilisateurs du BIM avaient une perception similaire des avantages liés à cette technologie (voir Figure 46). Bien que cette étude se concentre sur les acteurs impliqués dans la conception et la construction des bâtiments plutôt que sur les occupants, les intérêts des acteurs sont identiques, quelle que soit leur expérience avec la technologie BIM. Dans son enquêtes et la nôtre, les connaissances en BIM des personnes interrogées n'ont pas influencé leur perception des avantages liés à l'utilisation du BIM dans le bâtiment.

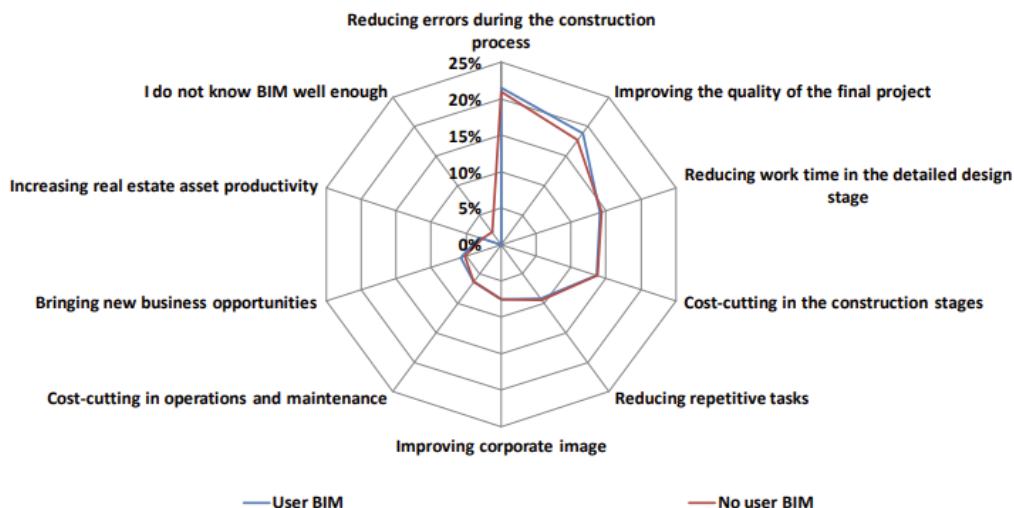


Figure 46 Diagramme comparant les perceptions sur les avantages du BIM pour les professionnels de l'architecture, l'ingénierie et la construction utilisant et n'utilisant pas le BIM dans leurs projets. (Source : Andres et al., 2017.)

Une autre enquête par questionnaire comparant l'adoption de BIM au Qatar et au Royaume-Uni a révélé que, bien que les compétences BIM diffèrent dans les deux pays, les besoins identifiés par les parties prenantes pour le développement du BIM étaient similaires (Prabhakaran et al., 2021). En somme, d'après notre enquête menée auprès de ces deux entreprises, il semble que les intérêts informationnels des occupants peuvent être dissociés de leur niveau de maturité BIM. Ces résultats sont cohérents avec d'autres recherches qui ont mesuré l'impact des connaissances BIM sur l'intérêt des utilisateurs pour les applications BIM.

Par ailleurs, l'importance de l'environnement pour les employés dans les deux études de cas est élevée par rapport aux autres catégories. Bien que cela puisse être influencé par le fait que l'entreprise A possède un pôle spécifiquement lié à l'environnement, l'étude de cas B a également montré un niveau d'intérêt élevé sur ce sujet. L'importance de cette catégorie a également été identifiée dans quelques commentaires obtenus à la fin de l'enquête, puisque la plupart d'entre eux faisaient référence aux domaines de l'environnement et de l'énergie :

1. « J'aimerais mettre en œuvre de bonnes pratiques environnementales (gestion de la protection solaire, chauffage/climatisation, fenêtres). »
2. « J'aimerais mettre en place un lien entre le BIM et les calculs de confort thermique-énergétique de l'ACV. »

3. « Je souhaite intégrer tous les thèmes HQE dans l'exploitation et la maintenance⁸⁸. »

L'âge, le genre et l'espace de travail ont été évalués afin de déterminer s'ils exerçaient une influence sur les enjeux informationnels des occupants. Les résultats statistiques ont conclu que le sexe et l'espace de travail n'avaient pas d'impact sur les intérêts et besoins des employés, tandis que seule la catégorie « environnement » était corrélée à l'âge ($p = 0,046$) (voir Table 9 dans l'Annexe 10).

Les résultats ont également mis en évidence que le domaine « environnement » était le plus positivement évalué par les jeunes employés lors de leur interaction avec une plateforme BIM pendant la gestion du bâtiment :

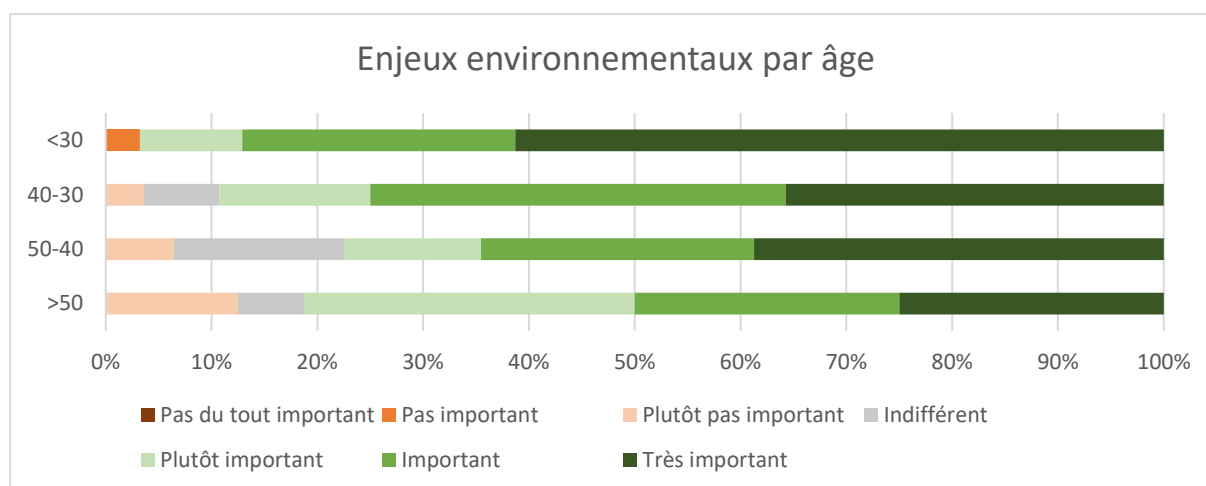


Figure 47 Importance des aspects environnementaux dans la gestion des bâtiments pour les occupants en fonction de leur âge

Ce résultat peut s'expliquer par le rôle joué par les jeunes ces dernières années en tant que catalyseurs de la transformation et de l'innovation dans le domaine de l'environnement. Presque tous les domaines sont aujourd'hui concernés par les questions environnementales, et les jeunes sont souvent les acteurs moteurs de ce changement, en raison de leur prise de conscience accrue des risques et des catastrophes environnementales qui pourraient survenir dans les années à venir. Dans ce contexte, les recherches menées par H. Arnold ou M. Riemer sur les jeunes et leur engagement environnemental confirment cette tendance (Arnold et al., 2009; Riemer et al., 2014). Les problèmes environnementaux deviennent de plus en plus importants pour les

⁸⁸ Extrait des commentaires ajoutés à la fin du questionnaire par trois des collaborateurs de l'entreprise A et de l'entreprise B.

usagers finaux car il s'agit d'un enjeu actuel qui affecte l'ensemble de la population, comme l'illustrent les travaux de recherche récents de M. Irfan ou S. Zuhair sur l'intérêt des occupants vis-à-vis de sujets tels que la performance énergétique (Irfan et al., 2021; Zuhair et al., 2022). Notre enquête révèle que les répondants se sentent impliqués dans les problèmes environnementaux. Dans le contexte français, le livre « La fabrique de la ville en transition » sous la direction de M. Fenker et I. Grudet, aborde la question de la ville durable et de la résolution des enjeux écologiques en mettant en avant l'implication centrale des habitants dans ces réflexions et souligne « *l'idée d'un processus incrémental de l'évolution vers des modes d'habiter plus durables s'appuyant sur la participation des habitants à transformer leur cadre de vie* » (Fenker & Grudet, 2022). Certains chercheurs à l'échelle internationale, comme I. Martek et son travail sur l'implication environnementale des occupants en Australie, suggèrent également que l'implication des usagers finaux est la meilleure façon de faire face à la transition vers la durabilité dans les bâtiments aujourd'hui, affirmant que tous les efforts ont été orientés vers le marché et l'industrie, tandis que les capacités des occupants ont été négligées (Martek et al., 2019). Ainsi, le processus de gestion des bâtiments à travers le BIM pourrait être le moyen d'augmenter l'engagement environnemental des usagers finaux.

Par ailleurs, plusieurs études ont mis en évidence l'accroissement de l'importance des informations réglementaires relatives aux enjeux environnementaux dans le domaine de la construction ces dernières années. Cette évolution pourrait être liée, comme constaté dans les chapitres précédents, à la prolifération continue de nouvelles certifications environnementales dans le secteur de la construction qui sont aujourd'hui demandées dans la plupart des projets pendant la phase de conception (Biswas et al., 2013; Grzegorzewska & Kirschke, 2021; Solla et al., 2016). Les certifications et le domaine d'activité des personnes interrogées pourraient avoir influencé leurs réponses sur les normes environnementales. Les réglementations environnementales suscitent un intérêt pour toutes les parties prenantes du projet de construction, et il est difficile de déterminer si les enjeux environnementaux des occupants sont influencés par l'importance croissante accordée à ces questions dans le domaine de la construction.

4.1.4. L'impact de la gestion interactive en BIM sur la satisfaction, la productivité et le comportement des employés

La dernière section du questionnaire visait à évaluer la perception des occupants concernant l'impact de l'utilisation d'une plateforme BIM dédiée à l'exploitation du bâtiment sur leur travail et leur satisfaction au sein de l'entreprise. Les résultats montrent que les répondants perçoivent généralement que l'interaction avec une plateforme BIM pour la gestion des bâtiments pourrait influencer de façon positive leur productivité, leur satisfaction et leur comportement (voir Figure 48).

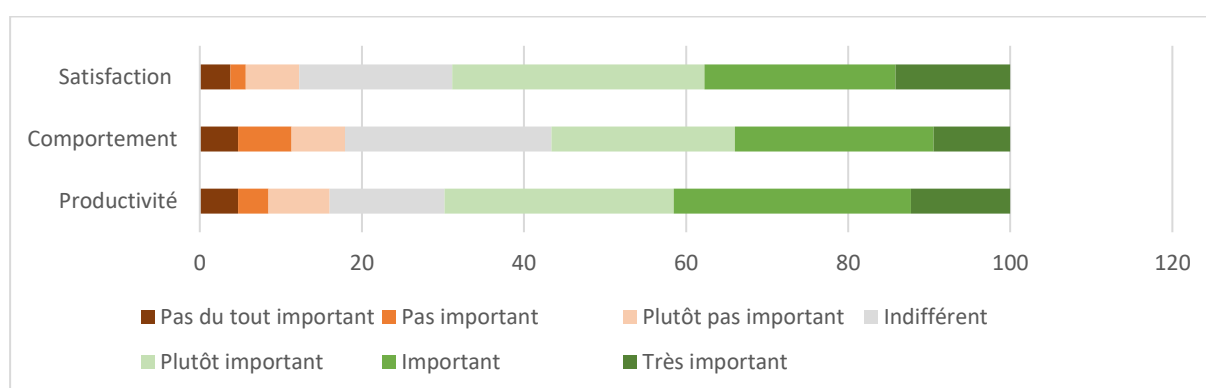


Figure 48 Importance de la satisfaction, du comportement et de la productivité des occupants en cas d'utilisation d'une plateforme BIM pour la gestion des bâtiments

Les résultats du test du chi carré ont également montré que la perception de l'impact du BIM sur la productivité, la satisfaction et le comportement n'était pas influencée par l'âge, l'entreprise, la maturité de la numérisation, le sexe ou l'espace de travail.

Table 6 Table de contingence et analyse du chi carré de l'impact sur la satisfaction, productivité et comportement des occupants lors de l'utilisation de la plateforme BIM pour la gestion des bâtiments par entreprise

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
Satisfaction (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	p-value = 0.170
Entreprise A-France	22	39	8	
Entreprise B-Espagne	18	14	5	
X-squared = 3.5477, df = 2				

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
Comportement (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	26	30	13	
Entreprise B-Espagne	18	15	4	
	X-squared = 1.7152, df = 2			p-value = 0.424

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable	Tableau de données:			P-value:
Productivité (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	24	30	15	
Entreprise B-Espagne	12	21	4	
	X-squared = 2.5265, df = 2			p-value = 0.283

La question concernant l'impact de l'utilisation des outils BIM sur la productivité des occupants a été incluse dans le questionnaire en raison de son importance fréquemment abordée dans les enquêtes de post-occupation. Les données recueillies à partir du questionnaire indiquent une corrélation positive entre l'utilisation des outils BIM et la perception des occupants concernant l'amélioration de leur productivité et de leur satisfaction. Cette observation est cohérente avec les travaux de B. Haynes qui ont montré l'impact bénéfique du confort sur la productivité et la satisfaction des employés dans les bâtiments de bureaux (Haynes, 2008). Ces résultats suggèrent que l'utilisation d'outils favorisant le confort peut potentiellement être perçue comme un moyen d'améliorer la productivité et la satisfaction des employés.

En résumé, les résultats des réponses des occupants quant à l'impact perçu de l'utilisation des outils BIM dans l'exploitation suggèrent qu'ils sont réceptifs à cette approche et la trouvent plutôt satisfaisante.

4.1.5. L'intérêt pour les occupants dans la gestion des bâtiments : une approche SocioBIM

Un dernier aspect concernant l'implication des occupants concerne l'approche *SocioBIM* ou *Social BIM*. L'aspect social du BIM se concentre sur la collaboration, sur les compétences des parties prenantes et sur l'intégration de toutes les personnes concernées par le projet. Cette approche met en avant les acteurs impliqués dans toutes les phases, en considérant les usagers finaux comme un élément-clé du système d'acteurs autour du bâtiment. En impliquant les occupants dans la gestion du bâtiment, cette approche a également été associée à une stratégie plus durable de la gestion du bâtiment. Selon A. Shoolestani, ces technologies fourniront des

commentaires des occupants et des retours précieux à l'exploitation, mais aideront également à comprendre l'impact des différents domaines de gestion des bâtiments sur la santé, le confort ou le comportement des occupants (Shoolestani et al., 2015). Ainsi, l'implémentation des outils pour la gestion interactive des bâtiments en BIM permettrait d'impliquer les occupants dans l'exploitation des bâtiments, ce qui leur donnerait le sentiment de pouvoir participer à l'organisation de leur cadre de travail. T. Souami soutient que lorsque l'interaction entre les occupants et les nouvelles technologies telles que le BIM est possible, les habitants acquièrent une co-responsabilité directe dans la production et la gestion de la ville en tant que destinataires des informations générées par ces technologies et de leur utilisation (Souami, 2017).

En se basant sur les résultats de cette étude, la manière d'implémenter les fonctionnalités et la visualisation de la gestion du bâtiment à l'aide d'une plateforme BIM accessible par les occupants devrait être étudiée et définie dans une analyse future. Pendant l'exploitation du bâtiment, la connexion des occupants avec la plateforme BIM leur offre un large éventail de possibilités à travers une visionneuse 3D : vérification de l'état des installations, contrôle de la température, connexion directe avec les gestionnaires, gestion de l'espace, économie d'énergie, etc. (Alavi et al., 2021; Oti et al., 2016; S. Tang et al., 2019). La visionneuse 3D intégrée dans la plateforme est fondamentalement plus intuitive que les autres outils de gestion du bâtiment qui sont souvent centrés sur les données et utilisent un codage que les occupants ne connaissent pas. Ainsi, la contribution des citoyens en tant que générateurs de données est essentielle pour assurer une participation numérique, cependant ces démarches peuvent faire face à la fracture numérique⁸⁹ (Gooch et al., 2015; Schelings & Elsen, 2018). Les manières d'intégrer la maquette numérique du bâtiment dans une plateforme de gestion BIM sont très nombreuses : la maquette numérique pourrait être une image 3D réalisée à partir de nuages de points (Stojanovic et al., 2018) ou pourrait intégrer des informations SIG (Kang & Hong, 2015). Toutes ces variables peuvent affecter la façon dont les occupants interagissent avec le modèle numérique et les informations auxquelles ils pourraient accéder. Étant donné que la gestion de bâtiments avec une plateforme BIM offre une grande variété d'options et d'outils, la proposition aux personnes enquêtées au début du questionnement d'un logiciel ou hyperviseur spécifique aurait pu influencer les résultats de l'étude.

⁸⁹ La notion de fracture numérique, telle que définie par F. Granjon, désigne l'ensemble d'écarts de pratiques constitutifs d'inégalités sociales.(Granjon, 2011)

L'inclusion des occupants dans le processus de gestion des bâtiments pourrait être étendue à la phase de conception et impliquerait la prise en compte de leurs besoins et intérêts dès le début. Le défi de débiter le processus dans la phase de programmation et d'identifier les rôles, les missions et les besoins des acteurs du projet, y compris les occupants et les exploitants, n'est pas nouveau ni exclusif aux projets BIM ou au domaine de la construction. Tels que nous l'avons constaté dans les chapitres précédents, cette façon de travailler est présente dans toutes les démarches de gestion intégrée (à savoir conception intégrée des projets ou *lean management*). Cependant, ces processus de gestion intégrée faisant partie d'un processus lié aux chaînes de production sont principalement axés sur les questions économiques et managériales de réduction des coûts (Boton & Forgues, 2018). Par conséquent, dans le cadre de ces projets, si l'on prend en compte les occupants, il est essentiel d'étudier de manière approfondie les éventuelles frictions qui pourraient surgir lorsque les intérêts des occupants, tels que ceux liés à l'environnement ou au confort, sont confrontés à des impératifs économiques de la part du client.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence plusieurs points importants. Tout d'abord, nous avons constaté que l'intérêt des occupants à interagir avec les outils de gestion des bâtiments ne dépendait pas de leur niveau de connaissances préalables sur les technologies BIM, de leurs caractéristiques professionnelles ou de leur sexe. Par ailleurs, il serait opportun d'étendre ce questionnaire à des entreprises non familières avec le BIM afin d'évaluer son efficacité. Si les intérêts des occupants demeurent similaires, quel que soit le type d'entreprise, cela indiquerait que les outils interactifs de gestion des bâtiments BIM peuvent être avantageusement déployés dans un éventail plus large d'entreprises, au-delà du secteur de la construction.

Par ailleurs, les occupants ont exprimé un niveau de satisfaction élevé quant à l'utilisation des outils de gestion des bâtiments. Les données obtenues suggèrent qu'utiliser ces outils pourrait avoir des effets bénéfiques sur la productivité des occupants et leur engagement au sein de

l'entreprise. En ce qui concerne les domaines de la gestion des bâtiments qui intéressent le plus les occupants, il a été observé qu'ils sont enclins à interagir positivement avec presque toutes les catégories de gestion, même s'ils sont légèrement plus intéressés par les domaines qui touchent à leur confort, tels que la lumière, le bruit ou la température. L'étude a également montré que l'environnement est la catégorie qui intéresse le plus les occupants. La préoccupation des occupants pour l'environnement et leur intérêt pour l'utilisation des outils BIM peuvent favoriser la transition vers la durabilité. Les occupants, en particulier les plus jeunes, sont plus intéressés à interagir avec les gestionnaires de bâtiments sur les plateformes de gestion de bâtiments en ce qui concerne l'environnement. La combinaison de la préoccupation des occupants pour le changement climatique et leur intérêt pour les outils BIM semble être la meilleure façon de promouvoir la durabilité parmi les usagers finaux.

Ainsi, en vue de gérer efficacement un bâtiment, il est nécessaire de prendre en compte les occupants qui sont les destinataires finaux et auront le plus d'interaction avec l'immeuble. En effet, le résultat de cette étude atteste que les occupants devraient être inclus dans le processus de gestion BIM, non seulement parce qu'ils sont bénéfiques pour le processus de gestion du bâtiment, mais également parce que la plupart d'entre eux ont exprimé leur satisfaction à interagir avec ces outils. L'approche *SocioBIM* qui encourage les habitants à être des acteurs du projet et non simplement des « occupants » semble être l'une des voies de développement les plus adaptées pour la gestion de bâtiments actuellement.

Les conclusions de cette étude suggèrent un intérêt à développer des outils de gestion de bâtiments plaçant les intérêts et le point de vue des occupants au centre de leurs fonctionnalités. L'intégration d'une approche centrée sur l'utilisateur final dans le développement des outils BIM en exploitation peut faciliter l'implication des occupants dans les activités de gestion de bâtiments, ce qui pourrait améliorer également l'efficacité des démarches des exploitants. Par ailleurs, l'implication des occupants dans le processus de gestion de bâtiments pourrait s'étendre à la phase de conception et impliquerait de prendre en compte leurs besoins et leurs intérêts dès le début du projet. Ainsi, l'intégration de dispositifs plus participatifs dans les projets BIM est un domaine de recherche et de développement pour l'avenir dans toutes les phases.

Conclusion de la deuxième partie

Au cours de la thèse, nous avons conjugué les analyses quantitatives et qualitatives pour étudier la réalité du BIM chez les acteurs du projet. Dans la deuxième partie, nous avons mené des entretiens semi-directifs qui nous ont permis d'avoir un accès direct aux discours des professionnels de la gestion des bâtiments. Ensuite, pour les usagers finaux, nous avons utilisé un questionnaire adressé à plus d'une centaine d'occupants pour effectuer une étude statistique de leurs intérêts informationnels. Nous avons utilisé ces analyses pour découvrir les obstacles qui empêchent une continuité informationnelle après la construction du bâtiment. Nous avons également observé que les phases de conception, de construction et d'exploitation présentent des similitudes en termes d'intérêts informationnels partagés et de nécessité de prendre en compte des concepts tels que le cycle de vie dans les projets BIM.

Ainsi, les enjeux et les besoins informationnels des acteurs génèrent une continuité entre les phases, car la manière dont ces catégories sont structurées (technique, fonctionnelle, administrative, réglementaire, géographique et économique) est adaptée aux acteurs de la conception et de la construction, mais aussi aux exploitants. Néanmoins, la phase d'exploitation présente des caractéristiques spécifiques car les préoccupations des acteurs en termes de confort, de santé et de sécurité deviennent alors des priorités. Bien que ces aspects soient réglementés et pris en compte dans les phases antérieures, ils sont souvent relégués au second plan et regroupés dans les certifications et les normes. Les questions environnementales, comme le cycle de vie et l'économie circulaire, qui sont apparues lors des phases de construction et de conception, ont également été abordées dans les entretiens avec les exploitants et les questionnaires auprès des occupants. Il a été observé que les enjeux environnementaux ont un impact significatif pendant la phase d'exploitation et que la continuité entre les phases, nécessaire pour répondre à ces enjeux, pourrait également favoriser la continuité de l'information dans les projets BIM.

D'autres thématiques, telles que la participation des usagers finaux tout au long du projet et pendant l'exploitation, contribuent également à la continuité informationnelle entre les phases dans les projets BIM. Toutefois, l'un des principaux obstacles à cette continuité entre les phases est le manque de communication entre les acteurs de l'exploitation et ceux des phases

précédentes. Impliquer les acteurs dès les phases amont du projet renforcerait la continuité du système d'acteurs. En conséquence, l'intégration de dispositifs impliquant les habitants dans les projets en BIM reste un sujet de recherche pour l'avenir.

Par ailleurs, les projets BIM sont confrontés à de nombreuses difficultés pour atteindre une continuité informationnelle, comme en témoigne la multitude d'obstacles qui entravent l'utilisation des maquettes numériques pour la gestion des bâtiments. Les ruptures informationnelles qui ont été identifiées pendant la phase d'exploitation comme dans les phases précédentes sont liées à des facteurs tels que l'organisation (par exemple, l'arrivée de l'exploitant, les compétences requises, les méthodologies de travail), le marché (notamment l'absence d'outils interopérables, les coûts), les connaissances (le manque de compétences et de retour d'expérience), ou l'aspect financier (notamment en ce qui concerne le manque d'investissement dû à la résistance au changement des acteurs). Dans le dernier chapitre, nous approfondirons ces thématiques afin de mieux les caractériser et les identifier dans les projets BIM.

Troisième partie

Les enjeux informationnels et la
continuité entre les phases

INTRODUCTION

Dans les chapitres précédents, nous avons constaté que l'intégration des informations relatives aux bâtiments et leurs équipements dans les maquettes numériques peut être bénéfique pour la gestion du bâtiment en exploitation. Cependant, l'absence d'une intégration adéquate de ces informations dans les phases antérieures peut entraîner des interruptions significatives dans la continuité de l'information entre les différentes phases du projet. Cette partie vise à démontrer les avantages potentiels d'une intégration complète des informations dans les maquettes numériques tout au long du cycle de vie du bâtiment. Des études récentes ont montré que l'intégration précoce des informations dans les maquettes numériques est essentielle pour garantir la continuité de l'information tout au long du cycle de vie du bâtiment et optimiser les avantages de cette technologie en termes de gestion et d'impact environnemental (Akanbi et al., 2018; Eadie et al., 2013b; R. Jin et al., 2019; Talebi, 2014; J. K. W. Wong & Zhou, 2015; Xu et al., 2021).

Nous reprenons donc l'hypothèse de départ :

« La façon dont les données sont prises en compte pendant la conception et la construction d'un bâtiment BIM est complètement différente de la prise en main de ces données en phase exploitation. La rupture informationnelle entre les phases est la conséquence d'un changement significatif du système des acteurs, de leurs outils et enjeux. En même temps, l'information peut devenir le vecteur de connexion entre les phases. »

Cette partie cherche à identifier les obstacles qui perturbent la communication entre les parties prenantes tout au long du projet de construction, de la conception à l'exploitation, et à proposer des solutions pour les surmonter. Les études de cas ont révélé des obstacles d'information similaires tout au long du projet qui ont été catégorisés pendant l'analyse de la phase d'exploitation en termes de connaissances, de marché, organisationnels et financiers. Pour résoudre ces problèmes, nous proposons d'utiliser les maquettes numériques pour connecter les parties prenantes dès le début du projet, en tenant compte de leurs enjeux et besoins. De plus, nous avons utilisé une catégorisation transversale de l'information pendant la conception et la

construction qui s'est avérée pertinente également lors des échanges avec les exploitants (à savoir, technique, fonctionnelle, réglementaire, économique, administrative et géographique). Ainsi, cette partie évalue l'efficacité de cette catégorisation pour faire converger les besoins et les enjeux des acteurs tout au long du cycle de vie du bâtiment.

5. L'information du bâtiment comme vecteur de ruptures et de connexions entre les acteurs

Ce chapitre procède à une évaluation simultanée des phases de conception, de construction et d'exploitation des bâtiments, en tenant compte des spécificités de chaque phase en termes de ruptures causées par l'information, mais également en termes de connexions potentielles. La base de données des maquettes numériques de bâtiments doit évoluer pour répondre aux besoins informationnels spécifiques des acteurs tout au long du projet, ce qui doit être pris en compte dans cette analyse transversale des phases. Par exemple, pendant la construction d'un bâtiment, les acteurs impliqués peuvent requérir l'ajout d'informations liées au phasage du chantier ou à la pose d'éléments structurels spécifiques. Et pourtant, ces informations doivent être retirées de la base de données de la maquette numérique lors de la phase d'exploitation car leur durée de vie est limitée à la période de construction. Ainsi, en anticipant l'existence des potentielles évolutions et modifications des bases de données des maquettes dès le début du projet, il serait possible d'assurer plus de flexibilité dans le processus de construction tout en minimisant l'impact de ces changements sur la transmission d'informations entre les acteurs.

En somme, cette approche met en évidence l'importance de la collaboration et du partage des besoins et des enjeux des différents acteurs impliqués dans la transmission de l'information tout au long du projet, en prenant en compte les particularités de chaque phase. De plus, les résultats de ce chapitre mettent en évidence l'importance des dimensions sociales et environnementales du BIM dans la résolution des obstacles qui se présentent entre les acteurs impliqués dans le projet, ainsi que dans l'optimisation de la continuité de l'information.

5.1. La nature des ruptures informationnelles

En examinant les ruptures d'information survenues au cours des différentes phases d'un projet (conception, construction, exploitation), cette section analyse leurs conséquences sur les systèmes d'acteurs et les phases du projet. En utilisant une approche comparative basée sur les trois cas d'étude analysés dans cette thèse, nous avons constaté que les obstacles à l'origine de ces ruptures d'information ont des causes similaires. Afin d'étudier les similitudes entre les obstacles rencontrés tout au long d'un projet BIM, nous avons appliqué une catégorisation basée sur les travaux de recherche portant sur les barrières à l'innovation dans l'adoption de nouvelles technologies. Cette catégorisation des obstacles a été initialement utilisée pour identifier les barrières qui affectent la continuité informationnelle pendant la phase d'exploitation (Chapitre 3) et nous chercherons ensuite à déterminer si elle est également applicable à la conception et à la construction.

5.1.1. Quand l'aspect innovant du BIM nuit à la continuité informationnelle

L'introduction du BIM dans les projets représente une innovation majeure dans l'industrie de la construction qui vise à intégrer l'information au cœur des processus métiers. Comme toute innovation, l'intégration des tâches informationnelles dans les métiers de la construction est confrontée à des obstacles liés à la non-familiarité des professionnels, du marché et de la société avec cette nouvelle approche. Les obstacles à la continuité informationnelle observés au cours de la thèse sont souvent attribuables aux contraintes inhérentes à l'adoption de nouvelles technologies, telles que celles décrites par M. Gaglio en termes de « contraintes du réel et ses aspérités », dans son travail sur l'innovation et la sociologie (Gaglio, 2012). Selon M. Gaglio, le rejet initial et les obstacles inhérents à l'introduction d'une innovation sont courants. Par exemple, les téléphones mobiles ont initialement rencontré une certaine résistance de la part de nombreux utilisateurs, tout comme le jazz était considéré à ses débuts comme un genre musical stigmatisant. Or, ces innovations sont maintenant bien intégrées dans la société contemporaine et les réticences initiales ont disparu. Dans ce contexte, N. Alter expose la nature conflictuelle

de l'innovation qui se heurte au cadre normatif existant car elle n'est pas prévue et devient une transgression et une modification de cet ordre : « *L'innovation se fait toujours, au moins momentanément, contre l'ordre, même si elle finit souvent par participer à une autre conception de l'ordre* » (Alter, 2000).

Au cours du troisième chapitre, les travaux de recherche portant sur les obstacles aux technologies innovantes ont permis d'identifier les freins à la mise en œuvre du BIM en exploitation et leurs conséquences sur la continuité de l'information dans les différents domaines de gestion d'un bâtiment (Arza & López, 2021; Bukstein et al., 2019; D'Este et al., 2012; dos Santos Paulino & Tahri, 2014; Pereira Cabral et al., 2020; Zahler et al., 2018). Cette observation est issue de l'analyse lexicale du contenu des entretiens menés avec des professionnels de la construction. Les résultats ont mis en évidence, pour la phase exploitation, la présence d'obstacles liés à la connaissance, au marché, à l'organisation et aux questions financières. Cependant, chacune des catégorisations présentées par la littérature scientifique montre de légères variations ou particularités, ce qui a conduit, pour l'analyse des phases de conception et de construction, à la proposition de nouvelles catégories, telles que les obstacles externes, également appelés « obstacles de contexte » dans certaines recherches (Bukstein et al., 2019; Pereira Cabral et al., 2020). Deux autres catégories récurrentes sont celles des obstacles institutionnels ou réglementaires (Arza & López, 2021), et celle des obstacles organisationnels qui apparaît dans les publications de M. Pinheiro et B. Pereira Cabral – dénommée « obstacles de coopération » par A. Zahler (Pereira Cabral et al., 2020; Pinheiro et al., 2018; Zahler et al., 2018). Ainsi, la prise en compte de l'ensemble des phases du projet a conduit à une révision de la liste des obstacles. Par exemple, l'analyse globale de toutes les phases du projet a montré que les obstacles institutionnels et réglementaires peuvent entraver la continuité de l'information dans les projets BIM. Bien que ces obstacles aient été partiellement pris en compte dans l'analyse de la phase d'exploitation en les reliant à un manque de connaissances des guides et des normes par les acteurs, nous ne les avons pas considérés comme une catégorie d'obstacles distincte dans le chapitre 3. Ainsi, nous avons étendu la liste d'obstacles pour inclure les obstacles réglementaires et les obstacles externes (ou de contexte) afin de mieux caractériser les potentielles ruptures informationnelles dans les phases de conception et de construction. Nous avons donc procédé à l'analyse combinée des trois cas d'étude de ce travail de recherche pour déterminer les obstacles communs à l'origine

des ruptures d'information survenues tout au long de ces projets, à la fois entre les parties prenantes et les différentes phases.

a) Obstacles de connaissances

Dans son article sur l'analyse sociologique de l'innovation, G. Gaglio a défini l'acteur innovateur comme celui qui recherche l'efficacité, qui possède des compétences multidisciplinaires et qui aspire à agir et à construire collectivement (Gaglio, 2012). Dans les études de cas, certains acteurs tels que les BIM managers des projets ont assumé ce rôle d'acteur innovateur. Toutefois, une grande partie du système d'acteurs n'a pas ce caractère innovateur par défaut, en conséquence de quoi la transformation des métiers et la montée en compétences sont plus difficiles. Au fil des chapitres précédents, la transformation des métiers en lien avec la création et la gestion de l'information a été un sujet récurrent. Nous avons constaté que cette transformation est réelle et qu'elle peut entraver la continuité informationnelle entre les différentes phases du projet BIM. Ainsi, l'amélioration des compétences et l'acquisition de connaissances sont nécessaires pour atteindre cette transformation, ce qui n'est pas toujours accompli, comme en témoignent les situations suivantes :

Tableau 13 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles de connaissance

Obstacles de connaissances		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Manque de compétences et transformation des métiers et des pratiques existantes	Lors de la phase de conception, le responsable du projet au sein d'un bureau d'études ne possède pas les compétences nécessaires pour utiliser les outils BIM et n'est pas en mesure de comprendre les commentaires formulés lors des réunions concernant les maquettes numériques.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 2)
	En phase exploitation, l'exploitant n'a pas la compétence requise pour extraire les données des modèles numériques et les incorporer dans ses outils d'exploitation.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)

	Au cours de la phase de conception, les architectes et le bureau d'études en structure sont chargés de fournir des informations sur les matériaux utilisés dans le projet. Cette information est nécessaire pour que les autres parties prenantes puissent réaliser des analyses environnementales, des évaluations économiques et des évaluations énergétiques. Toutefois, ces tâches supplémentaires représentent une charge de travail qui n'était pas présente auparavant et pour lesquelles les acteurs n'ont pas encore été formés.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 1)
	En phase exploitation, les exploitants ont besoin d'une cellule BIM dédiée à la mise à jour de la maquette numérique en cas de modifications apportées à la structure du bâtiment.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)

Ces situations montrent que le manque de connaissances en BIM a des répercussions négatives sur la plupart des métiers du secteur de la construction. Ce manque de connaissances est en partie dû à l'absence d'intégration du BIM dans les cursus des écoles d'architecture et d'ingénierie qui sont encore en cours d'adopter cette technologie dans leur programme pédagogique. Selon la revue de littérature menée par A. Besné et M. Mandhar sur les programmes d'études en architecture et en ingénierie dans divers pays, le principal obstacle à l'intégration de la technologie BIM dans ces programmes réside dans la perception souvent réduite de cette dernière en tant qu'outil isolé plutôt qu'en tant que transformation méthodologique majeure résultant de l'intégration de tâches informationnelles dans le processus de construction (Besné et al., 2021 ; Mandhar & Mandhar, 2013). Cette perception limite ainsi son incorporation dans les programmes pédagogiques.

Par ailleurs, les études de cas ainsi que l'observation participante réalisée dans le cadre de la convention CIFRE ont également révélé que dans certaines entreprises, une seule personne possède la plupart des compétences en matière de BIM. Ainsi, le départ de ces acteurs peut entraîner une perte de compétences pour l'entreprise, mettant en évidence un problème de transfert de compétences. D'après les recherches menées par K. Law en gestion sur l'ambiguïté des connaissances et les obstacles au transfert des compétences, il est souligné que les connaissances tacites, acquises de manière autonome par les individus, peuvent souvent être plus difficiles à transférer, ce qui peut entraver la transmission et l'acquisition de compétences par d'autres (Law, 2014). Ainsi, les compétences liées au BIM, qui sont souvent acquises de manière autonome, en dehors des programmes pédagogiques des écoles, pourraient être plus difficiles à transférer. Les obstacles auxquels sont confrontés les processus d'innovation en ce

qui concerne le transfert des compétences sont communs à plusieurs champs disciplinaires. Par exemple, dans le secteur de la santé, L. Sheng alerte sur deux phénomènes qui causent des obstacles de connaissance : l'ambiguïté des connaissances et la rigidité des connaissances (Sheng et al., 2013). La rigidité des connaissances est associée à la notion de *sticky information* ou « information rigide », introduite par E. von Hippel pour décrire l'information difficile à transférer vers un nouvel environnement (von Hippel, 1994). G. Szulanski explique en 1996 que les transferts de connaissances, plutôt que fluides, sont souvent « rigides » ou difficiles à réaliser. L'auteur suggère que la difficulté de transmettre de nouvelles compétences peut résulter d'une mauvaise compréhension de ce processus. Il ne s'agit pas simplement d'une action ponctuelle, mais plutôt d'un processus complexe comprenant plusieurs phases et facteurs-clés pour acquérir efficacement de nouvelles compétences (Szulanski, 2000).

Dans nos cas d'étude, nous avons observé que la plupart des entreprises n'ont pas mis en place tout ce processus d'apprentissage lié à l'adoption des méthodologies BIM et du traitement de l'information. Dans leur publication sur l'adoption du BIM dans les entreprises de construction en France, E. Hochscheid et G. Halin font également remarquer que « *l'implémentation du BIM est un processus complexe pour les entreprises* ». Ils soulignent que ce processus fait suite à l'adoption du BIM qui est influencée par des aspects culturels, financiers, légaux, techniques, managériaux, de formation, ainsi que par la structure du secteur (É. Hochscheid & Halin, 2018). En ce qui concerne le développement de compétences, C. Botton et S. Kubicki affirment que la capacité d'une entreprise à mettre en place un processus BIM est reflétée également par sa maturité en matière de collaboration BIM (Botton & Kubicki, 2014b).

Par ailleurs, les compétences requises à l'échelle d'une entreprise pour maîtriser une innovation technologique peuvent être très variées. En 1992, P. Attewell a souligné l'importance des obstacles liés à la connaissance pour expliquer les interruptions ou les retards dans la diffusion des innovations (Attewell, 1992). L'auteur explique que les entreprises retardent l'adoption interne de technologies complexes jusqu'à ce qu'elles acquièrent un savoir-faire technique suffisant pour les mettre en œuvre et les exploiter avec succès ; cependant, atteindre ce savoir-faire n'est pas toujours facile. Dans ce contexte, V. dos Santos et N. Tahri mettent en évidence que même si l'acquisition du savoir-faire technique est importante, les compétences commerciales sont également essentielles, et que les deux sont indispensables pour assurer le succès de l'innovation (dos Santos Paulino & Tahri, 2014). Les connaissances techniques des

employés d'une entreprise du secteur de la construction permettent de prendre en compte au mieux les performances et les spécifications techniques en matière de gestion de l'information dans les projets BIM. Les auteurs suggèrent ainsi que la responsabilité de l'analyse des avantages et de la position de l'entreprise sur le marché, ainsi que la prise de décisions concernant la formation des employés et la transformation de l'entreprise, revient à l'équipe de direction ayant une bonne connaissance des affaires. Enfin, le développement des compétences commerciales met en évidence l'existence d'obstacles du marché qui perturbent également la continuité informationnelle entre les acteurs et les phases des projets BIM.

b) Obstacles du marché

Les pays européens ont une longue histoire de développement d'innovations basées sur la science. Néanmoins, leur compréhension limitée de l'innovation du point de vue des marchés crée des obstacles dans l'adoption commerciale de ces innovations. Comme l'a souligné V. dos Santos Paulino, en France, l'innovation est souvent gérée par des techniciens qui manquent de compétences commerciales nécessaires pour exploiter pleinement le potentiel des innovations (dos Santos Paulino & Tahri, 2014). Selon M. Crozier, qui a souligné le lien entre marché et innovation, l'innovation n'est pas simplement un phénomène individuel déterminé par une rationalité économique stricte. Elle est plutôt un système collectif dont le succès dépend également de facteurs humains (Crozier, 1968). L'auteur souligne que le marché et le type d'organisation du marché auront un impact significatif sur l'innovation, comme le démontrent les exemples suivants, qui illustrent l'influence du marché sur la continuité de l'information dans les démarches BIM :

Tableau 14 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles du marché

Obstacles du marché		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Problèmes d'interopérabilité technologique	Pendant la phase de construction, les entreprises utilisent divers outils de modélisation. Lorsque les maquettes sont exportées d'un outil à un autre, des informations disparaissent.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 3)
	En phase exploitation, l'AMO BIM explique que la plateforme de gestion BIM fournit un <i>viewer</i> pour accéder à la maquette numérique, mais il n'est pas possible d'y apporter des modifications à partir de cet outil dans la maquette numérique.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 1)
Nouveaux outils	Pendant les phases de construction et d'exploitation, la mise à jour des maquettes numériques des bâtiments à la dernière version de Revit (le logiciel de modélisation) entraîne la perte d'informations.	Continuité informationnelle entre les phases et entre les acteurs (Cas d'étude 3)
	En phase d'exploitation, la cellule d'exploitation ne dispose pas d'outils BIM pour accéder à la maquette numérique. En conséquence, la maquette ne peut pas être récupérée plusieurs années après, car elle est devenue obsolète.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)
Marketing	Les intervenants interrogés au cours des entretiens menés à différentes phases ont évoqué leur méfiance à l'égard des nouvelles technologies disponibles sur le marché, ce qui a pour effet de freiner l'adoption de certains outils. Les concepteurs d'un projet et les exploitants d'un autre ont exprimé cette réticence.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 2 et 3)

Les problèmes d'interopérabilité dans les projets BIM sont principalement liés à des obstacles technologiques du marché et représentent l'un des plus grands défis à relever pour ces projets. Les obstacles au transfert des données dans le domaine technologique se produisent lorsqu'il est impossible d'échanger des fichiers ou d'accéder à la base de données d'un système tiers (Ullberg et al., 2009). Par ailleurs, il convient de noter que l'interopérabilité ne se limite pas à un simple aspect technologique, mais qu'elle a également une incidence directe sur la collaboration entre les différents intervenants tout au long du projet (Sattler et al., 2019). Les problèmes liés à l'interopérabilité et le marché sont assez complexes, comme l'illustre la publication d'A. Grilo et R. Jardim-Goncalves qui expliquent que l'interopérabilité est généralement dictée par les demandes du marché. Bien que des normes d'échange de données libres, telles que les IFC, aient été mises en place pour assurer l'interopérabilité entre tous les

logiciels, il est encore difficile d'assurer l'interopérabilité des outils développés par le marché privé, malgré les efforts déployés en ce sens par les institutions publiques (Grilo & Jardim-Goncalves, 2010).

Par ailleurs, la structure du marché peut imposer des contraintes sévères selon les conditions de concurrence, de taille d'entreprise et d'appropriabilité, comme le souligne P. D'Este dans ses travaux de recherche sur les barrières aux technologies innovantes (D'Este et al., 2012). Par exemple, dans les projets BIM, en ce qui concerne la gestion des bâtiments, le marché des outils d'exploitation est caractérisé par une fragmentation importante, avec la présence de nombreux outils de gestion et de maintenance. Cette fragmentation nécessite que les développeurs créent des connecteurs pour tous ces outils afin de satisfaire les besoins des clients. S'agissant des phases de conception et de construction, il convient de noter que le marché est largement dominé par des entreprises de logiciels de grande envergure telles qu'Autodesk ou Graphisoft. Les logiciels de modélisation les plus répandus rencontrent toujours des difficultés en termes d'interopérabilité des données, ce qui contraint les parties prenantes à travailler exclusivement avec la gamme de logiciels proposée par ces entreprises (Tomek & Matějka, 2014). Dans son travail sur les obstacles à l'innovation des petites et moyennes entreprises (PME), E. Carayannis suggère que ces dernières présentent certains atouts (Carayannis et al., 2006) : ainsi, dans les projets BIM, contrairement aux grandes entreprises du monde de la construction qui dominent le marché et font face à des problèmes d'interopérabilité des données avec les logiciels de modélisation les plus utilisés, les PME ont la capacité de réagir rapidement aux évolutions du marché, ce qui peut leur conférer un avantage concurrentiel. Néanmoins, les petites et moyennes entreprises sont confrontées à un défi important quant à l'adoption de la technologie en tant que pratique standard. Selon E. Caravannis, ces entreprises doivent faire face à des obstacles majeurs sur le marché tels que la concurrence accrue due à la mondialisation, les restrictions d'accès au financement, la mise en place de réseaux avec des partenaires étrangers et la rapide évolution technologique. Ces barrières peuvent limiter leur accès au marché.

Une dernière question concernant les obstacles du marché concerne les campagnes de marketing des démarches et des outils BIM. S. Fox, dans son article intitulé « La réalité du BIM », affirme que les discours tenus lors de conférences et dans la presse spécialisée ne représentent souvent pas fidèlement la réalité du terrain, ce qui rend difficile la distinction entre les perspectives

authentiques et les slogans promotionnels (Fox, 2014). S. Fox présente des perspectives critiques réalistes qui mettent en évidence les avantages du BIM par rapport aux représentations partiales issues du marketing actuel qui ne reflètent pas la réalité. M. Robinson aborde cette situation en se concentrant sur ce qu'elle désigne comme « *le phénomène des désillusions associées aux innovations* », et met en évidence le risque de divergence entre la rhétorique et la réalité dans un environnement compétitif inhérent à la nature hétérogène de l'industrie de la construction (Robinson, 2021).

En somme, les défis que le marché pose au BIM en tant qu'innovation sont multiples et complexes, allant des difficultés techniques liées à l'interopérabilité des outils jusqu'à l'accessibilité du marché et les discours commerciales des entreprises impliquées.

c) Obstacles organisationnels ou de coopération

Les obstacles organisationnels sont les plus analysés dans le premier chapitre et supposent un impact important, du point de vue managérial, sur le transfert des informations entre les acteurs. Sur le plan de l'innovation, plusieurs études accordent une attention particulière aux capacités organisationnelles nécessaires pour développer le processus d'innovation au sein d'une entreprise (Schumpeter, 1942; Sedkaoui, 2016; von Hippel, 1994). Les entraves organisationnelles désignent les difficultés rencontrées lorsque les membres d'une organisation ne coopèrent pas suffisamment. Ces entraves sont appelées également « barrières de coopération ». Dans le rapport intitulé « *Collaboration barriers in BIM-based construction networks* », les chercheurs indiquent que maintenir la collaboration entre des membres issus de disciplines et d'organisations multiples est problématique (Oraee et al., 2019). Ainsi, A. Nikas souligne que cela peut exposer les projets BIM à divers risques tels que des malentendus, une mauvaise interprétation des données et une augmentation des modifications du travail (Nikas et al., 2007). Les exemples présentés ci-dessous illustrent ces risques et démontrent leur impact sur la continuité de l'information au sein du projet :

Tableau 15 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles organisationnels ou de coopération

Obstacles organisationnels ou de coopération		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Manque de management intégré	Au cours de la phase de conception, le BIM manager a peu tenu de réunions avec l'équipe de concepteurs et s'est tenu à l'écart du processus. Par conséquent, au début de la construction, les maquettes ont présenté des problèmes dans les données de géoréférencement car elles n'avaient pas été suffisamment contrôlées.	Continuité informationnelle entre les phases et entre les acteurs (Cas d'étude 2)
	Au cours de la phase d'exploitation, lorsque l'exploitant arrive sur le projet, il n'a pas eu la possibilité de poser des questions aux concepteurs concernant les maquettes.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 3)
Conflits de pouvoir et négociations	Au cours de la phase de conception, le bureau d'études environnemental a demandé aux architectes d'intégrer les données des matériaux pour effectuer des analyses. Cependant, l'architecte, qui est également le BIM manager, ne souhaitait pas répondre à cette demande.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 1)
	Au cours de la phase d'exécution, le BIM manager occupant une position d'autorité au sein du projet, a décidé de ne pas inclure certaines informations essentielles pour l'exploitation telles que les revêtements de sol, qui ne figuraient pas dans la maquette numérique. Au lieu d'ajouter ces informations lui-même ou de demander aux architectes de le faire, il a décidé de les laisser manquantes.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)

Dans nos analyses, nous avons constaté que le manque de coopération informationnelle au sein des projets BIM est la conséquence du manque de prise en compte des enjeux et des besoins du reste des acteurs. En 1962, Litwak et Hylton ont avancé l'idée de porter attention aux besoins des autres dans le domaine de la gestion en définissant l'interdépendance comme une situation dans laquelle deux ou plusieurs organisations doivent tenir compte les unes des autres pour atteindre leurs objectifs, même à l'échelle de l'entreprise ou de l'organisation (Litwak & Hylton, 1962). Plus tard, en 1994, K. Crowston développe une taxonomie des dépendances organisationnelles et des mécanismes de coordination entre les acteurs en proposant la coordination comme une réponse aux problèmes provoqués par les dépendances (Crowston, 1994). En effet, dans les négociations résultant de conflits informationnels entre acteurs, il existe une dépendance à l'information ou à une manière de structurer cette information afin qu'elle puisse être récupérée par l'acteur « dépendant ». D'après K. Crowston, la dépendance entre deux acteurs découle du niveau de pouvoir qu'un acteur détient sur les résultats des

actions de l'autre ou sur les échanges de ressources entre eux. Cette perspective s'appuie sur la théorie de la dépendance d'E. Thomas, qui souligne que certaines formes de dépendance peuvent favoriser la réussite du projet, malgré la connotation couramment négative associée à celle-ci (Thomas, 1957). Par ailleurs, il suggère que plus la dépendance augmente, plus les mécanismes de coordination sont utilisés. Ainsi, dans nos études de cas, nous avons observé que la dépendance d'information entre les acteurs impliqués dans la conception ou entre les exploitants et les entreprises de construction est une réalité difficilement évitable. Cependant, plutôt que de chercher à les éviter, nous avons jugé plus pertinent d'étudier ces dépendances et de trouver des mécanismes de coordination adaptés pour les gérer. Par exemple, en 1979, H. Mintzberg propose un ensemble de mécanismes de coordination qui sont l'ajustement mutuel, la supervision directe et la normalisation des processus de travail, des résultats, des normes et des compétences (Mintzberg, 1979). Dans le contexte des projets BIM, l'application de la théorie de H. Mintzberg suggère que les mécanismes de coordination doivent reposer sur trois démarches. Tout d'abord, un ajustement mutuel des besoins et des enjeux des parties prenantes en utilisant les usages BIM du projet ainsi que les informations requises pour répondre à ces besoins. Ensuite, une supervision directe et objective de la part du BIM manager. Enfin, une prise en compte de toutes les recommandations organisationnelles contenues dans les normes ISO qui traitent de la gestion des informations et les méthodologies de travail tout au long du projet.

Dans toutes les situations, les obstacles rencontrés mettent en évidence un manque de considération des besoins des autres acteurs, ce qui illustre plusieurs exemples de collaboration insuffisante, notamment du point de vue informationnel, dans les démarches BIM.

d) Obstacles réglementaires

Les difficultés réglementaires observées dans les cas d'étude analysés révèlent un décalage entre les directives, normes et standards existants et leur mise en application par les acteurs impliqués, ainsi qu'une perception d'un manque de cadre juridique complet en ce qui concerne la propriété intellectuelle des maquettes numériques. Dans ce contexte, il est important de se référer aux travaux de recherche de N. Alter qui montrent à plusieurs reprises la confrontation entre l'innovation et le cadre normatif existant, ainsi que la nécessité pour toute innovation de définir son propre espace réglementaire (Alter, 1993, 2000). Les recherches de P. Flichy mettent

également en évidence le manque de stabilisation du cadre normatif pour les innovations en phase d'objet-frontière, telles que le BIM, même lorsqu'elles sont déjà mises en œuvre (Flichy, 2017). Ainsi, dans les travaux de recherche sur les maquettes numériques, P. Marin et J. Cuba Segura demandent l'émergence d'un cadre administratif et juridique structurant son usage (Marin & Segura, 2014). Ainsi, les observations réalisées lors des cas d'étude confirment que la réglementation du BIM, considéré comme une technologie innovante, est toujours en cours de stabilisation :

Tableau 16 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles organisationnels ou de coopération

Obstacles règlementaires		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Manque de suivi des guides et des normes existants	En phase conception, certaines maquettes contenaient des objets modélisés en double ou des éléments qui n'ont pas été supprimés correctement, ce qui a eu une incidence dans l'extraction des quantitatifs.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 1 et 2)
	Pendant la phase d'exploitation, les maquettes étaient incomplètes et certaines informations n'étaient que partiellement saisies car les acteurs de phases précédentes n'ont pas suivi la norme ISO 19650, ce qui oblige les exploitants à compléter ces données en se basant sur le DOE ou lors des interventions nécessaires.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)
	En phase de construction les concepteurs ont alerté que la maquette numérique n'est pas considérée comme une « pièce contractuelle » contenant toutes les informations nécessaires, car pour eux, les plans PDF extraits des maquettes sont les seuls livrables officiels.	Continuité informationnelle entre les acteurs et entre les phases (Cas d'étude 2)
La propriété intellectuelle	En phase de conception et de construction, le partage de fichiers non modifiables dans la plateforme collaborative est accepté entre les acteurs de la MOE. Cependant, certains concepteurs sont réticents à partager leurs fichiers REVIT natifs, car cela pourrait compromettre leur propriété intellectuelle en permettant à d'autres entreprises d'utiliser leurs développements.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 2)

La réglementation concernant le BIM est formalisée à travers la norme ISO 19650 qui spécifie les exigences relatives à l'information pour assurer sa continuité tout au long du projet. Les normes ISO ne sont pas des lois et cela soulève aussi des obstacles juridiques liés à la réglementation en BIM. Actuellement, plusieurs pays comme la France n'ont pas encore imposé le BIM. Par suite, il n'existe pas de cadre juridique de référence à respecter. Le gouvernement

a finalement opté pour un soutien et un accompagnement institutionnel avec la rédaction de guides et la mise en place de dispositifs et outils accessibles à tous les utilisateurs plutôt que d'adopter une position coercitive. Toutefois, certaines recherches suggèrent qu'accompagner ces guides par un cadre juridique pourrait lever les obstacles perçus par les utilisateurs, favorisant ainsi une adoption plus large de cette technologie (Bellenger & Blandin, 2019; Eadie et al., 2015).

Malgré cela, les guides établis par des associations telles que BuildingSMART France et la réglementation ISO existante ne sont souvent pas bien communiquées aux parties prenantes des entreprises, ce qui peut entraver leur adoption. Ce phénomène a été identifié par P. Mohnen et J. Rosa parmi les barrières réglementaires à l'innovation comme « *l'existence d'un contexte réglementaire trop lourd et désincitatif* » qui peut empêcher l'adoption de nouveaux produits, technologies ou formes organisationnelles (Mohnen & Rosa, 2001). Dans les projets BIM, nous avons observé, notamment pendant les entretiens avec les acteurs et l'analyse de leurs maquettes numériques, un écart entre les normes existantes et leurs connaissances. Il est également possible que certains experts n'aient pas eu accès à l'ISO, que la norme n'apporte pas de solution à tous les problèmes existants, ou que le simple fait qu'il s'agisse de normes et qu'elles n'aient pas force de loi les rende moins importantes pour les professionnels du secteur.

En outre, une question finale se pose quant à la réglementation et au cadre juridique émergent en matière de propriété intellectuelle des modèles numériques et des données associées. D. Arensman et M. Ozbek soulignent que le problème de savoir qui sera propriétaire de la maquette numérique à la fin du projet est l'un des obstacles juridiques et réglementaires qui suscitent actuellement la méfiance des concepteurs (Arensman & Ozbek, 2012). Cette méfiance résulte du fait que, traditionnellement, dans le secteur de la construction, les concepteurs détenaient des droits intellectuels sur les maquettes numériques de leurs projets ; par conséquent, ils sont souvent réticents à autoriser l'utilisation du modèle par d'autres entreprises. Cependant, d'autres auteurs comme Bedrick suggèrent qu'étant donné que le modèle BIM est produit en collaboration, la propriété du modèle final devrait appartenir au client (Bedrick, 2006).

En résumé, bien que les obstacles réglementaires n'aient pas été mis en évidence lors de l'analyse de la phase d'exploitation dans le chapitre 3, l'analyse globale du projet montre leur impact

significatif sur la continuité de l'information, en particulier lors des phases de conception et de construction.

a) Obstacles financiers

Les entretiens menés avec les maîtrises d'ouvrage des cas d'étude ont révélé que les contraintes financières étaient l'une de leurs préoccupations majeures. De même, dans le chapitre 3, les professionnels de l'exploitation ont également indiqué que ces obstacles étaient considérés comme particulièrement prioritaires par les clients. Le travail de B. Hall et J. Lerner sur le financement de l'innovation démontre que la recherche et le développement (R&D) et les activités innovantes sont difficiles à financer dans un marché librement concurrentiel (Hall & Lerner, 2010). Les auteurs notent que même si les problèmes liés à la mise en œuvre d'une technologie innovante comme le BIM sont résolus grâce à des subventions ou des incitations fiscales, le financement de ces projets peut rester difficile ou coûteux pour les entreprises en raison de considérations telles que le retour sur investissement. Les exemples présentés ci-dessous illustrent les conséquences du sous-investissement sur la continuité de l'information, en mettant en évidence les défis rencontrés dans le cas d'étude 3 :

Tableau 17 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles financiers

Obstacles financiers		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Manque d'investissement	Au cours des phases de conception et de construction, le client a décidé de ne pas allouer un budget supplémentaire au BIM. Certaines entreprises décident alors de ne pas utiliser les outils BIM. Cela a entraîné des pertes d'informations lors du partage de documents entre ces entreprises et celles qui utilisent des outils BIM.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 3)
	En phase exploitation, le client a décidé de ne pas investir dans une cellule BIM dédiée et les outils informatiques nécessaires. En conséquence, les maquettes numériques fournis n'ont pas été utilisées	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)

Les barrières qui entravent la continuité de l'information sont directement liées au manque de ressources pour la mise en place d'outils BIM et à l'absence de formations pour les salariés des entreprises du domaine de la construction. Le manque d'investissement affecte donc les compétences et l'accès aux technologies empêchant les parties prenantes d'accéder ou de savoir

travailler avec les informations du projet. Bien que les obstacles financiers soient souvent liés aux coûts élevés des outils, il est important de souligner que le manque de ressources et d'investissement est souvent dû à des décisions budgétaires prises par les clients ou les directions des entreprises. En effet, certaines entités qui pourraient se permettre d'investir dans ces outils ne les considèrent pas comme suffisamment utiles ou les perçoivent comme un gaspillage d'argent.

Dans ce contexte, M. Crozier fait appel au rôle-clé du management public dans la mise en place des innovations. Il soutient que « *tout renouvellement des missions, du raisonnement, des méthodes et des pratiques passe par un renouvellement du management public* » (Crozier, 1989). V. dos Santos Paulino met également l'accent sur le soutien à l'innovation de la part des institutions en France, car elles doivent proposer un accompagnement des entreprises au début du processus d'innovation (Dos Santos Paulino & Tahri, 2014). En France, avec la mise en place du Plan de Transition Numérique du Bâtiment, suivi par le Plan BIM 2022, l'État a visé à accélérer la transformation numérique dans la construction, en fournissant aux professionnels de nouvelles méthodes et outils pour faciliter et améliorer la construction BIM des bâtiments (Panteli et al., 2020). Effectivement, le soutien institutionnel à l'innovation peut avoir une grande influence sur le marché de chaque pays. En Allemagne, par exemple, le ministère des Transports a élaboré un plan d'action BIM qui met l'accent sur les infrastructures, ce qui a conduit à une expertise BIM principalement concentrée sur ce type de projets sur le marché allemand (Borrmann et al., 2016).

Malgré des exemples révélant une certaine réticence des entreprises à investir dans des projets BIM durant les phases de conception et de construction, la question de la rentabilité est généralement moins sujette à débat économique durant ces phases, comparativement à la phase d'exploitation où le retour sur investissement peut être plus difficile à mesurer à court terme. Ainsi, les phases de conception et de construction peuvent apporter des bénéfices quantifiables en termes de gain de temps et d'efficacité décisionnelle, comme l'ont démontré les études scientifiques de B. Giel, R. Jin ou A. Sompolgrunk (Giel & Issa, 2013 ; Jin et al., 2017 ; Sompolgrunk et al., 2021). Toutefois, les projets en exploitation sont considérés comme ayant une durée de vie significative et l'évaluation de leur rentabilité peut s'avérer complexe et incertaine, et entraîner une remise en question constante. Ce type de contraintes est présent également dans les travaux de recherche visant des enjeux environnementaux tels que

l'économie circulaire et les analyses du cycle de vie. J. Hart, dans son article sur les obstacles rencontrés dans la mise en place de l'économie circulaire, accuse les entreprises de fonctionner avec « *des œillères à court terme* » et de prioriser les dépenses opérationnelles qui ont un rapide retour sur investissement (Hart et al., 2019). L'auteur explore également une autre entrave à l'adoption de l'économie circulaire qui se manifeste par des études de cas échouées souvent citées comme des exemples des inconvénients de ces démarches. Ces retours d'expérience ne présentent pas d'arguments commerciaux et environnementaux solides, et les études de cas sont insuffisantes, incomplètes ou mal communiquées. Les clients hésitent souvent à investir dans des projets futurs impliquant des outils BIM, tout comme les entreprises de construction peuvent être réticentes à investir dans la transformation de leurs méthodologies de travail. Cette situation est fréquente dans la mise en œuvre des outils BIM, ce qui peut constituer un frein à l'adoption de cette technologie.

De même que les obstacles réglementaires étaient moins fréquents pendant la phase d'exploitation, les obstacles financiers y sont plus prévalents. Le manque d'investissement dans cette phase conduit à ce qu'une grande partie des maquettes numériques créées pendant la construction ne soient pas utilisées pour la gestion du bâtiment.

b) Obstacles externes ou de contexte

Pour finir, nous avons également étudié les obstacles externes au processus d'innovation, qui découlent du contexte ou de facteurs culturels divers. V. dos Santos Paulino décrit les obstacles de contexte comme les spécificités du secteur d'activité, ici le secteur de la construction, qui peuvent impacter une technologie innovante (dos Santos Paulino & Tahri, 2014). E. Bond et M. Houston, en analysant les barrières contextuelles dans la mise en place des nouvelles technologies, ont identifié une catégorie particulière que sont les barrières culturelles et de langage (Bond & Houston, 2003). Dans ce cadre, nous avons remarqué que les problèmes de sémantique entre les vocabulaires utilisés par les différents métiers du domaine de la construction sont responsables d'un grand nombre de ruptures informationnelles entre les acteurs et les phases du projet. Comme pour les obstacles financiers, ces problèmes ont un impact plus important sur le cas d'étude en phase exploitation que sur ceux en phases de conception et de construction.

Tableau 18 Description des situations ayant affecté la continuité informationnelle en raison des obstacles externes ou de contexte

Obstacles externes ou de contexte		
Cause	Situations rencontrées	Impact
Problèmes de sémantique	Pendant la phase de conception, les concepteurs ont incorporé plusieurs paramètres différents pour fournir les informations sur les matériaux tels que les finitions, les matériaux de construction, les revêtements, etc. Cette pluralité de paramètres rend difficile aux exploitants l'extraction des informations nécessaires pour la gestion des bâtiments.	Continuité informationnelle entre les acteurs (Cas d'étude 3 et 1)
	Pendant la phase d'exploitation, les exploitants ont eu accès au paramètre « date » des équipements, mais ils ne disposaient pas d'informations précises pour distinguer s'il s'agissait de la date d'installation ou de mise en service.	Continuité informationnelle entre les phases (Cas d'étude 3)

Les barrières linguistiques sont fréquemment observées dans le contexte de l'innovation lorsque des individus de diverses cultures et pays collaborent (Grosbois, 2009; Lévy, 1997; Nakamura, 2009). Cependant, dans le contexte de l'information des projets BIM, le langage prend une importance différente du point de vue de la sémantique. Ce problème a été déjà étudié par Y. Bishr dans le cas des systèmes d'information géographique : l'auteur explique que « *bien que les utilisateurs puissent interroger les bases de données, une connaissance adéquate de leur sémantique est toujours nécessaire*⁹⁰ » (Bishr, 1998). Il soutient également que l'hétérogénéité sémantique peut constituer un obstacle important à l'interopérabilité. En général, cela constitue une source de rupture informationnelle dans la mise en œuvre de plusieurs technologies. S. Nadis, en 1996, dans sa publication sur les barrières sémantiques computationnelles, explique que les différences de vocabulaire entre les domaines rendent difficile, voire impossible, de trouver un concept familier dans des collections de données provenant d'un domaine peu familier (Nadis, 1996).

Cet état de fait a généré, depuis les années 1990, des publications comme celle de la bibliothèque digitale d'Illinois qui met en valeur un projet de recherche dont l'objectif était de développer un système qui traduise automatiquement la terminologie d'un domaine à l'autre, permettant à l'utilisateur de rechercher et de faire correspondre des concepts plutôt que des mots (H. Chen et al., 1996). En 1992, D. Dougherty a également exposé les barrières contextuelles sous l'angle de l'interprétation et de la communication ; il a montré comment les individus organisent leurs pensées et leurs actions en fonction de schémas d'interprétation selon leur rôle ou leur fonction

⁹⁰ Traduction d'un extrait de l'article "Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability" (Bishr, 1998)

(Dougherty, 1992). Selon D. Dougherty, chaque secteur fonctionnel a son propre ensemble de schémas conceptuels uniques pour percevoir la technologie et cela peut entraîner des problèmes de communication entre des acteurs de domaines différents. En d'autres termes, les enjeux de chaque type d'acteur lui font voir la réalité d'une manière qui va guider son action et sa méthodologie de travail, ce qui peut créer des obstacles et des ruptures d'information entre les acteurs dans les projets BIM. E. Bond et M. Houston recommandent que, plutôt que d'éliminer la spécialisation qui crée des obstacles à l'interprétation et à la communication, les gestionnaires de l'innovation encouragent une interaction riche qui permette aux spécialistes de connaître les perspectives et les enjeux propres à chacun et de forger une image commune pour travailler ensemble (Bond & Houston, 2003).

En résumé, les obstacles sémantiques sont souvent difficiles à surmonter, et dans le cas des technologies BIM, l'existence de normes, de classifications et de dictionnaires de propriétés constitue la meilleure solution pour éviter les ruptures d'informations qu'ils peuvent causer. Cependant, ces classifications et normes doivent être communes aux phases de conception, de construction et d'exploitation.

5.1.2. L'écart entre l'informatique et la société, la responsabilité de l'ingénieur

Au cours des différentes phases du projet, un dernier facteur de rupture a été identifié qui découle d'un écart entre les avancées technologiques et les évolutions sociétales. Comme l'explique M. Castells, l'introduction des nouvelles technologies de l'information dans le domaine de la construction est étroitement liée à la transformation de la société pendant « l'ère de l'information », mais la vitesse d'évolution de l'informatique dépasse souvent les capacités des individus à acquérir les compétences nécessaires (Castells, 2001). Les professionnels interviewés au cours de la thèse alertent sur la vitesse du développement technologique et l'écart que cela produit avec la société et la réalité du quotidien : « *Les individus ne sont pas toujours conscients de la rapidité avec laquelle les domaines de l'informatique, de l'électronique et de l'intelligence artificielle se développent, ainsi que des possibilités qu'ils offrent pour les méthodes de*

*travail de demain*⁹¹» ou « *Il faut comprendre qu'il y a encore beaucoup de professionnels dans le domaine de la construction qui ne sont pas capables de travailler même en 2D* ⁹². »

Les recherches techniques sur le développement d'outils BIM ont connu une avancée remarquable en matière d'innovations technologiques, mais une limitation notable en ce qui concerne les aspects sociologiques. Ainsi, il serait envisageable d'inverser cette tendance pour établir un équilibre entre la technologie et la société dans les réflexions scientifiques. Par exemple, le cas des *Google Glass* illustre la disparité entre les progrès technologiques et les changements sociaux. Selon D. Corpelet, Google a été contraint de retirer ces lunettes connectées du marché en 2015 en raison du rejet de leur utilisation, perçue comme intrusive par les utilisateurs (Corpelet, 2018). D'après E. Sadin dans son ouvrage sur la siliconisation du monde, la dimension anthropologique a freiné les progrès technologiques (Sadin, 2016). L'auteur suggère que les ingénieurs et les développeurs de logiciels doivent prendre en compte les répercussions sociales de leurs outils, et que cela fasse partie intégrante de leur travail.

Les études sur le BIM ont démontré la dualité socio-technologique inhérente à cette technologie. C. Eastman, un expert reconnu en la matière, a souligné que les obstacles à la mise en œuvre du BIM ont leur fondement à la fois dans les aspects technologiques et sociologiques. Cette constatation met en évidence l'importance de prendre en compte les aspects sociaux et technologiques lors de la mise en œuvre et de l'utilisation du BIM (Ahmad et al., 2012; C. M. Eastman et al., 2011). En effet, il est possible de classifier les obstacles précédemment identifiés en deux catégories : les obstacles technologiques, tels que les obstacles liés à l'interopérabilité du marché, et les obstacles socio-économiques. Bien que l'impact de chaque obstacle n'ait pas été mesuré, il a été constaté que la plupart de ces barrières sont de nature socio-économique. Ainsi, l'analyse des acteurs impliqués et de leurs enjeux est d'autant plus importante pour surmonter ces obstacles.

⁹¹ Acteur 1 - Entretien avec le directeur de l'ingénierie des bâtiments et de la gestion et maintenance des bâtiments d'une entreprise de services énergétiques en France, septembre 2021.

⁹² Acteur 8 - Entretien avec le directeur spécialiste dans la maintenance des bâtiments d'une entreprise spécialisée dans la gestion globale du patrimoine en Espagne, novembre 2021.

5.2. Les enjeux et besoins BIM des acteurs : une approche systémique de la continuité informationnelle

La synergie entre l'innovation sociale et technologique est influencée par les enjeux et besoins des parties prenantes impliquées dans la mise en œuvre de la technologie. Pour atteindre cette synergie, une compréhension approfondie des besoins et enjeux des acteurs est nécessaire afin de mettre en place des solutions adaptées au contexte. Comme le soulignent les travaux de recherche menés par J. Klein et D. Harrison sur l'innovation et la transformation sociale, une innovation technologique ne conduit pas par défaut à une innovation sociale, car cette dernière est plutôt définie comme une réponse aux « désirs, aspirations ou problèmes » des acteurs impliqués (Klein et al., 2016; Klein & Harrison, 2006). C. Ambrosino met en évidence que, dans le contexte urbain, les logiques qui sous-tendent l'innovation ne sont pas indépendantes des dynamiques sociales, culturelles et politiques qui les encadrent. Selon C. Ambrosino, les enjeux des métropoles actuelles dépassent largement le domaine strict de l'innovation industrielle pour englober davantage les contours de la société collaborative émergente (Ambrosino et al., 2018). Ainsi, les travaux de recherche sur l'innovation insistent sur deux concepts-clés pour lier innovation et société : la collaboration et les approches systémiques. D'après les travaux de S. Gupta portant sur l'innovation sociale et les technologies émergentes, cette forme d'innovation est souvent utilisée pour répondre aux défis sociaux en mettant en place des solutions systémiques qui répondent aux besoins et enjeux des utilisateurs (Gupta et al., 2016, 2020). Par ailleurs, S. Ram en 1987 explique comment souvent apparaît une résistance face à l'innovation quand elle s'applique de manière imposée, et ajoute que tout changement n'est pas nécessairement bon et les obstacles qui apparaissent en soi peuvent être souhaitables et utiles (Ram, 1987). Dans ce cadre, P. Mohnen, dans ses travaux de recherche sur les obstacles à l'innovation, adopte une approche systémique qui considère l'innovation comme un système constitué de multiples composantes interdépendantes (Mohnen & Hall, 2013; Mohnen & Rosa, 2001).

En ce qui concerne les technologies BIM, pour que l'introduction de l'information dans les métiers de la construction ne soit pas perçue comme une contrainte, mais plutôt comme une innovation et une transformation sociale, il est essentiel de prendre en compte les enjeux et les

besoins des acteurs, tant au niveau institutionnel que sur le marché. Cela implique une analyse approfondie des attentes et des exigences de ces acteurs pour garantir une transition efficace vers l'utilisation des technologies BIM. Nous proposons donc une approche systémique pour l'analyse de l'information dans les projets BIM qui englobe l'ensemble des phases du projet, de la conception à l'exploitation, ainsi que tous les métiers impliqués et les facteurs externes du système telles que la réglementation ou les conditions du marché qui peuvent influencer ces démarches.

Chaque phase d'un projet de construction présente des particularités qui peuvent rendre difficile la transition, notamment entre la construction du bâtiment et sa gestion ultérieure. Cependant, nous proposons que la clé pour surmonter ces difficultés est d'identifier clairement et de manière partagée les enjeux et besoins des différents acteurs impliqués dans le projet. En prenant en compte les attentes des acteurs, il est possible de trouver des solutions efficaces pour assurer une transition harmonieuse entre les différentes phases du projet. Ces enjeux peuvent fonctionner comme véhicules entre les phases et ils peuvent également être partagés entre les acteurs, de façon à faire face aux problèmes de continuité identifiés tout au long de ces chapitres. Ainsi, la continuité informationnelle ne peut être analysée que dans l'ensemble du projet, avec toutes les phases et tous les acteurs. La continuité est définie par N. Drozdow en 1998 comme « *la préservation d'un ou plusieurs éléments de base essentiels et uniques, qui impliquent à leur tour un ensemble de compromis ou d'éléments pouvant être sacrifiés* » (Drozdow, 1998). Cette définition implique que la continuité dépend d'un ensemble de compromis qui nécessite la mise en commun des enjeux de tous les acteurs impliqués, et que sans cet exercice décisionnel collectif, il sera difficile d'assurer une continuité cohérente.

Par ailleurs, nous avons constaté que de nombreux obstacles rencontrés dans les projets BIM étaient d'ordre socio-économique et nécessitaient une approche axée sur les acteurs pour être surmontés. En réalisant une analyse systémique des enjeux et besoins à chaque phase du projet, en mettant l'accent sur la communication entre les acteurs, nous avons pu mieux comprendre les cas d'étude analysés dans leur ensemble et établir les bases d'une continuité, en ce qui concerne les enjeux et les obstacles, qui existait déjà mais qui n'était pas encore exploitée. Nous suggérons donc qu'en menant une analyse approfondie et systémique des besoins et des enjeux reflétant les désirs et les aspirations des acteurs dès le début du projet BIM, il serait possible

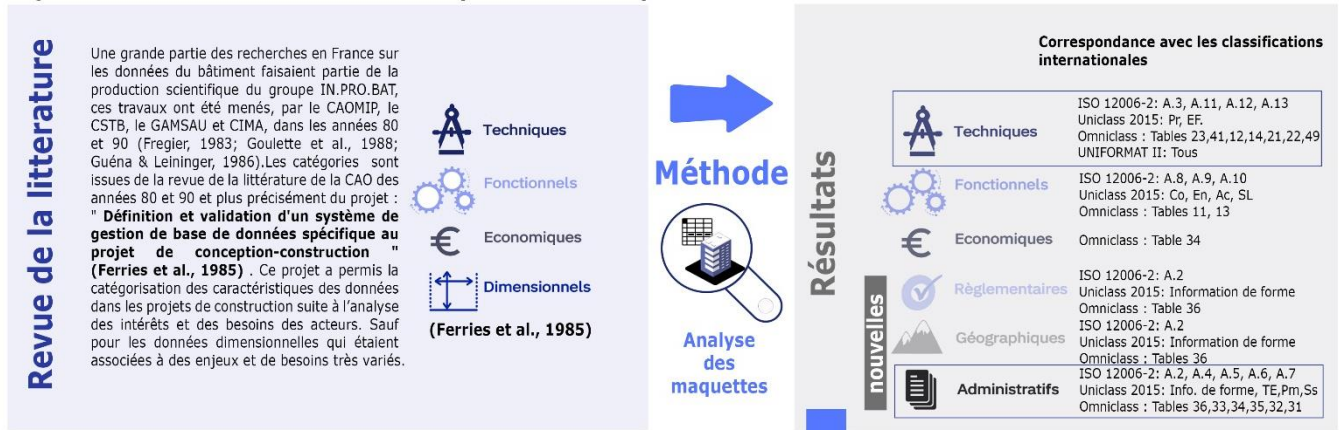
d'aboutir à une transformation sociale véritablement démocratique et participative au sein de ces projets.

5.2.1. Les enjeux et les besoins tout au long du projet

Les besoins et les enjeux des acteurs sont des éléments décisifs pour surmonter les négociations et les obstacles de communication qui émergent dans les projets BIM, car leur non-respect peut provoquer des conflits et des ruptures dans la transmission de l'information. Dans l'introduction de la thèse, nous avons adopté la définition d'« enjeux » comme étant les préférences ou positions variées des acteurs face à un même problème ou situation (Brugidou, 1985)(Itoua, 2016). Par ailleurs, dans ses travaux de recherche en science de gestion, D. Susniené soutient qu'il est impossible que toutes les parties prenantes aient les mêmes enjeux et besoins et qu'il est important d'établir des priorités dans leur satisfaction en fonction des objectifs globaux du projet (Susniené & Purvinis, 2015; Susniené & Vanagas, 2007). En ce qui concerne les enjeux dans les projets BIM, les décisions relatives à l'introduction de données dans les maquettes numériques sont prises par les acteurs en fonction de leur domaine d'activité, de leurs besoins et des exigences spécifiques du projet, et influencent la structure de la base de données du bâtiment et l'exploitation de ces données ultérieurement.

Dans les chapitres précédents, nous avons constaté qu'effectivement, les enjeux diffèrent par type d'acteur et par phase et que la compréhension des besoins et des enjeux des autres est un facteur-clé dans un processus collaboratif. La manière dont nous traitons les choix informationnels des acteurs tout au long du projet est basée sur la catégorisation illustrée dans la Figure 49 ci-dessous, qui permet de structurer les informations importantes pour les acteurs à chaque phase du projet, et qui a été développée tout au long de la thèse. Les enjeux sont privilégiés dans cette catégorisation car les besoins ne sont pas toujours exprimés clairement, ce qui les rend plus difficiles à identifier. Toutefois, comme évoqué précédemment, pour favoriser la collaboration et la coopération de tous les acteurs, il est recommandé que les enjeux d'un acteur reflètent également les besoins ou les demandes des autres parties prenantes.

Enjeux et besoins informationnels en phase de conception et de construction



Enjeux et besoins informationnels en phase d'exploitation

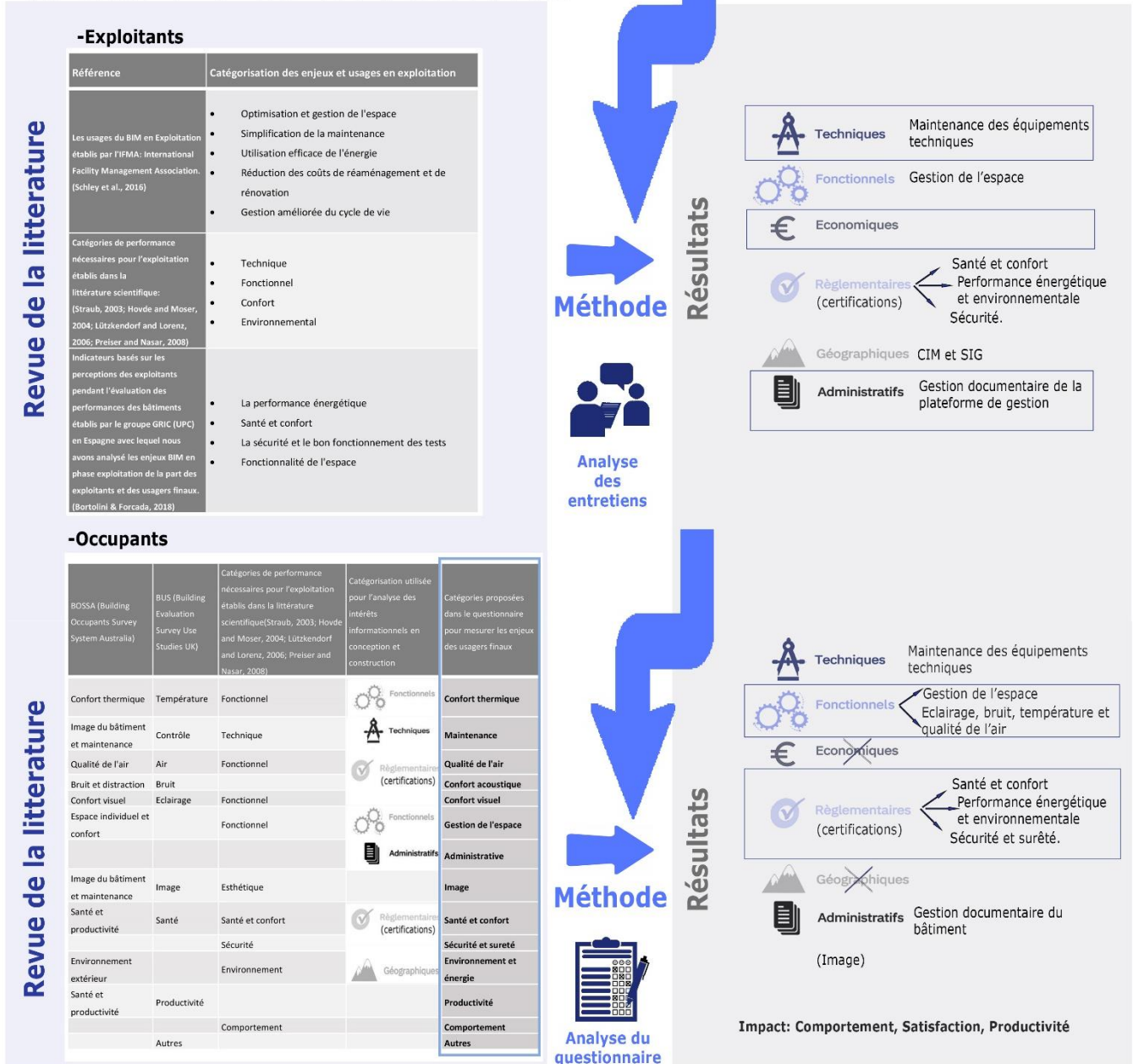


Figure 49 Schéma qui montre l'élaboration d'une catégorisation des enjeux et besoins informationnels des acteurs pendant les phases de conception, de construction et d'exploitation

Le schéma précédent décrit comment la catégorisation des enjeux et besoins des acteurs a été développée en utilisant l'état de l'art des classifications d'informations pour chaque phase du projet. Ces catégories ont été validées durant toutes les étapes du projet en utilisant diverses méthodes comme les entretiens, l'analyse des bases de données de maquettes, ou encore les questionnaires adressés aux occupants, afin d'évaluer son applicabilité dans les projets BIM. L'utilisation de cette catégorisation nous a permis de considérer l'information comme un vecteur de connexion tout au long du projet. Ces catégories, même avec des différences subtiles pour chaque phase, permettent de favoriser un continuum ou flux informationnel entre la conception, la construction et l'exploitation, ce qui facilite l'évaluation de l'information du projet en fonction des enjeux et besoins des acteurs. En outre, cette grille ou classification, lors de son application, permet également d'identifier les principales contraintes informationnelles associées à chaque projet BIM, qu'il s'agisse de contraintes réglementaires, techniques, administratives ou autres.

Pendant les phases de conception et de construction, la classification des informations est la même, mais la Figure 49 montre que cette classification est plus détaillée en phase d'exploitation pour répondre aux enjeux des exploitants et des occupants des bâtiments. Dans chaque phase, certaines catégories – celles qui sont encadrées dans le schéma – sont plus fréquentes, tandis que d'autres sont moins présentes ou absentes, selon l'acteur ou la phase analysée. Par exemple, nos analyses des maquettes numériques ont révélé que les acteurs se concentraient principalement sur des questions techniques et administratives lors des phases de conception et de construction. Cependant, lors des entretiens avec les gestionnaires des bâtiments pendant la phase d'exploitation, une plus grande attention a été portée non seulement à ces catégories, mais aussi aux questions économiques, tel que l'illustrent certains extraits d'entretien : « *Ce qui motive le client c'est gagner de l'argent à priori ou dépenser le moins, donc il y a vraiment un enjeu économique pendant l'exploitation*⁹³ » ; « *On est souvent sollicités par le client pour suivre et réduire les consommations, et faire des propositions afin de faire des économies*⁹⁴. » Par ailleurs, les occupants ont mis en avant les informations relatives à la catégorie fonctionnelle et réglementaire, en particulier celles liées au confort et à

⁹³ Acteur 3 - Entretien avec le directeur du développement d'une plateforme collaborative BIM pour l'exploitation dans une entreprise de développement informatique appartenant à un groupe d'ingénierie en France, août 2021.

⁹⁴ Acteur 4 - Entretien avec un chef de projet dans un projet d'exploitation dans une entreprise de services énergétiques en France, mars 2021.

l'environnement, avec lesquelles ils aimeraient le plus interagir. Toutefois, lors de l'analyse des informations d'un projet BIM du point de vue des acteurs impliqués, il est insuffisant de se focaliser exclusivement sur les données les plus abondantes ou les plus sollicitées. Il est important de compléter les résultats obtenus lors de l'application de cette catégorisation avec des analyses supplémentaires tels que les entretiens. Par exemple, à la suite de l'analyse des maquettes numériques – qui a révélé la prédominance des informations administratives et techniques dans les projets –, l'analyse des entretiens a mis en évidence une lacune en termes d'informations pour les études économiques ou la conformité environnementale pendant la phase de conception. Ainsi, il est crucial de valoriser également les informations moins fréquentes dans les maquettes numériques car elles peuvent révéler des ruptures informationnelles.

5.2.2. Les enjeux environnementaux et le BIM

Les enjeux environnementaux visant à réduire les impacts de l'homme sur l'environnement sont présents dans l'analyse des enjeux de tous les acteurs dans toutes les phases, y compris pour les habitants. Même si nous avons classé ces questions dans les enjeux réglementaires parce qu'elles sont étroitement liées à l'obtention de certifications environnementales, nous souhaitons réfléchir davantage sur le lien entre le BIM et l'impact environnemental.

Les problématiques environnementales liées à l'industrie de la construction ont historiquement été associées au concept de « développement durable » qui était très répandu dans les années 2000 (Souami, 2008; Theys, 2020). Toutefois, tel qui est expliqué par l'ouvrage « La fabrique de la ville en transition », cette expression est en train de perdre en popularité dans la littérature scientifique et les discours politiques, au profit du concept de « transition énergétique ». Cette évolution est le résultat de l'influence des ingénieurs dans les politiques françaises de sobriété énergétique⁹⁵, ce qui a eu pour conséquence de favoriser la prise en compte de la question énergétique dans la fabrique urbaine, parfois au détriment d'autres considérations

⁹⁵ Notamment en ce qui concerne les Lois Grenelle I et II, puis la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte en 2015 (Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite « loi Grenelle I ». Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite « loi Grenelle II ». Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.)

environnementales (Fenker et al., 2022). En 2015, F. Bally souligne que le développement durable ne remet pas en cause le modèle de croissance actuel et met l'accent sur l'économie locale et les interactions sociales, alors que la transition énergétique adopte une approche plus pessimiste de la situation actuelle et exige un changement de mentalité et de comportement en faveur d'une consommation réduite (Bally, 2015). La littérature considère généralement le développement durable comme le fondement d'un ensemble d'initiatives citoyennes visant à protéger l'environnement, tandis que le protocole de Kyoto a recentré l'attention sur les gaz à effet de serre et les questions énergétiques. Dans ce contexte, F. Bally considère désormais l'énergie comme un objet sociologique qui, en 2012, a donné lieu aux premières Journées Internationales de Sociologie de l'Énergie.

Dans les projets BIM, il arrive souvent que les notions de développement durable et de transition énergétique soient confondues, car il est parfois difficile de faire la distinction entre les enjeux strictement énergétiques et les enjeux environnementaux. D. Oloke, dans sa publication sur le déploiement du BIM pour l'efficacité énergétique au Royaume-Uni, souligne que les questions énergétiques ont été l'une des premières contributions identifiées par le gouvernement britannique du BIM aux questions environnementales (Oloke, 2021). L'implémentation du BIM est intégrée dans le programme environnemental de construction du Royaume-Uni qui vise à atteindre une réduction du coût initial de la construction (de 33 %), une réduction de 50 % des émissions de gaz à effet de serre dans l'environnement bâti et une réduction de 50 % de la durée totale de construction des nouveaux bâtiments et des actifs restaurés (Alhamami et al., 2020). Le Royaume-Uni est reconnu pour avoir adopté le BIM de manière exhaustive dans les domaines de la construction et des infrastructures, en l'appliquant à toutes les phases des projets. Cette mise en œuvre se reflète dans les normes publiées au Royaume-Uni qui régissent l'utilisation du BIM tout au long du cycle de vie des projets (Eleftheriadis et al., 2017).

En effet, lors de nos cas d'étude, des concepts tels que l'analyse du cycle de vie et l'économie circulaire sont apparus de manière fréquente dans nos analyses. L'intégration de l'analyse du cycle de vie et la promotion de l'économie circulaire vers la construction durable à travers le BIM sont présentes dans plusieurs publications (O'Grady et al., 2021; J. K. W. Wong & Zhou, 2015; Xue et al., 2021). L'article de R. Jin sur le BIM et l'analyse du cycle de vie explique que les avantages de l'intégration du BIM dans ce type d'analyse sont, d'une part, l'intégration

d'outils de simulation énergétique dans le logiciel de modélisation, et d'autre part, l'accès à la base de données du bâtiment (R. Jin et al., 2019). D'autres publications comme celle de J. Wong et J. Zhou parlent déjà en 2015 du Green BIM, « *un processus basé sur un modèle permettant de générer et de gérer des données coordonnées et cohérentes sur les bâtiments pendant le cycle de vie du projet, afin d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et de faciliter la satisfaction des enjeux de durabilité établis*⁹⁶ » (J. K. W. Wong & Zhou, 2015). La terminologie « Green BIM » est largement utilisée dans la presse professionnelle et la littérature scientifique (Bernstein et al., 2010; Dall'O' et al., 2020).

Par ailleurs, la notion de cycle de vie est parfois même intégrée dans la définition du BIM : en 2006, H. Penttilä a défini le BIM comme « *une méthodologie pour gérer les données essentielles de la conception du bâtiment et du projet au format numérique tout au long du cycle de vie du bâtiment* » ; et en 2010, Y. Arayici et G. Aouad soulignent que « *le BIM est défini comme l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour rationaliser les processus du cycle de vie des bâtiments afin de fournir un environnement plus sûr et plus productif à ses occupants*⁹⁷ » (Arayici & Aouad, 2010) (Penttilä, 2006). La littérature BIM traite également largement de l'économie circulaire. En effet, le mode actuel de consommation linéaire des ressources, de leur extraction à leur élimination, est considéré comme préjudiciable pour l'environnement. C'est pourquoi, de plus en plus, les gouvernements, notamment dans le domaine de la construction, demandent un mode de consommation circulaire. L'idée de considérer les bâtiments comme une banque de données de matériaux (*buildings as material banks*) permet aussi de relier le BIM avec l'économie circulaire. Cette notion est même mise en avant par l'Union européenne dans son programme BAMB et dans tous les projets visant à établir des « passeports de matériaux » qui désignent des ensembles de données décrivant les caractéristiques des matériaux pour faciliter leur récupération et leur réutilisation (Benachio et al., 2020; Copeland & Bilec, 2020). Selon L. Akabani et T. O'Grady, l'un des principaux bénéfices associés à l'utilisation du BIM dans ces projets est la capacité à stocker des informations permettant d'identifier à l'avance les matériaux et les composants pouvant être réutilisés, facilitant ainsi les opportunités de recyclage et de réutilisation (Akanbi et al., 2018; O'Grady et al., 2021). Cependant, les acteurs restent un facteur essentiel dans la réussite de

⁹⁶ Traduction d'un extrait de l'article : "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review" (J. K. W. Wong & Zhou, 2015)

⁹⁷ Traduction d'un extrait du livre : « Building information modelling (BIM) for construction lifecycle management » (Arayici & Aouad, 2010)

ces projets, R. Charef, dans ses travaux de recherche sur l'économie circulaire et le BIM, précise : « *Les exigences doivent être stipulées au début du projet et pour chaque partie prenante impliquée dans le cycle de vie du bâtiment*⁹⁸ » (Charef, 2022; Charef & Lu, 2022).

Les enjeux environnementaux mettent donc en évidence la nécessité de considérer le projet dans son ensemble et l'importance de la continuité informationnelle. Nous pouvons alors émettre l'hypothèse qu'un projet BIM qui parvient à satisfaire les enjeux environnementaux tels que l'économie circulaire présenterait également moins de ruptures informationnelles car les acteurs sont plus conscients de la notion de cycle de vie et de l'intégration des besoins informationnels des autres acteurs et des autres phases.

5.2.3. La notion de cycle de vie et la continuité informationnelle

Dans le point précédent, nous avons constaté comment l'intégration de considérations environnementales dans les projets BIM pouvait faciliter l'établissement de processus de travail plus axés sur la continuité de l'information. M. Marzouk a souligné que le lien entre le cycle de vie et les enjeux environnementaux ne doit pas être négligé car cette approche peut aider les concepteurs à optimiser l'utilisation de l'énergie et à réduire la pollution environnementale (Marzouk et al., 2018). Toutefois, la notion de cycle de vie ne se limite pas aux enjeux environnementaux : elle a également un impact, notamment, sur les questions administratives, et l'efficacité de la mise en place de processus de gestion intégrés.

Actuellement, les obstacles rencontrés, tels que l'absence d'interopérabilité ou les problèmes de collaboration, sont abordés de manière très spécifique par phase, et même par type d'acteur (Eadie et al., 2013b). Les publications que nous avons examinées concernant l'utilisation du BIM dans le domaine de la construction présentent fréquemment des études portant sur les obstacles rencontrés par les agences d'architecture (Ding et al., 2015; É. Hochscheid & Halin, 2018), par les exploitants (Halmetoja & Lepkova, 2022; M. R. Hosseini et al., 2018), ou par les clients (Abubakar et al., 2014). Cependant, le fait d'analyser les obstacles par métier ou par phase réduit la visibilité des chercheurs sur l'ensemble du projet. Le BIM est communément

⁹⁸ Traduction d'un extrait de l'article : « Circular economy and building information modeling » (Charef, 2022; Charef & Lu, 2022).

considéré par la littérature scientifique comme l'utilisation collaborative de modèles numériques de bâtiment 3D riches en informations sémantiques tout au long du cycle de vie du bâtiment (Xu et al., 2014). Cependant, la prise en compte du cycle de vie est souvent ignorée dans les démarches BIM, malgré le fait que cette technologie permette de suivre un projet de la conception à la démolition en fournissant une maquette numérique ou un jumeau numérique du bâtiment.

La gestion du cycle de vie de la construction était déjà un enjeu majeur avant l'arrivée du BIM, en raison de la complexité des projets impliquant des équipes multidisciplinaires et des processus multiphasés, comme l'exposent Y. Arayici et G. Aouad dans leurs travaux sur la gestion du cycle de vie de la construction BIM (Arayici & Aouad, 2010). Toutefois, Y. Arayici et G. Aouad alertent sur les problèmes émergents liés à l'acquisition et à la gestion des données, ainsi qu'à la collaboration multi et interdisciplinaire impliquées dans la gestion du cycle de vie de la construction. Lors de notre analyse des projets BIM, nous avons identifié des problèmes similaires à ceux signalés par ces auteurs. Ainsi, ces problèmes ne semblent pas être directement liés à la technologie BIM, mais plutôt à la nature multiphase des projets de construction. Par ailleurs, une analyse des rapports de la stratégie BIM du gouvernement britannique⁹⁹ réalisée par R. Eadie montre que l'utilisation du BIM est associée à de nombreux avantages en termes d'efficacité et de bénéfices tout au long du cycle de vie des projets (Eadie et al., 2013b). Par conséquent, résoudre les problèmes liés au cycle de vie des bâtiments pourrait avoir un impact positif sur l'amélioration des processus BIM, et vice versa.

Actuellement, les environnements communs de données (*common data environment* ou CDE) ou plateformes BIM sont des outils qui permettent le suivi du cycle de vie au sein des projets. Il a été constaté que la collaboration avec les acteurs du CDE dans la gestion de la construction est possible en utilisant une plateforme BIM telle qu'elle a été présentée dans les chapitres 3 et 4 pour la gestion du bâtiment. Cependant, ce type de plateforme doit être utilisé depuis la phase de conception afin de suivre une approche basée sur la notion de cycle de vie. Pour bénéficier d'un soutien informatique optimal tout au long du cycle de vie des projets de construction, K. Losev affirme que l'un des prérequis est de mettre en place un environnement

⁹⁹ A report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper. BIM Industry working Group. <https://www.cdcb.ac.uk/system/files/documents/BISBIMstrategyReport.pdf> (2011).

de données commun à l'ensemble des parties prenantes (Losev, 2020). En effet, cet environnement de données est nécessaire, tel celui qui établit les normes ISO (ISO, 2019). Les environnements communs de données assurent la cohérence de l'information dans les projets de construction en permettant la collecte, la gestion et la distribution des données. Par ailleurs, ces plateformes contiennent des données qui peuvent être exploitées pour créer des modèles analytiques¹⁰⁰ liés aux bâtiments, lesquels pourraient être utilisés pour encourager l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le secteur de la construction (Jang et al., 2021). Ainsi, il convient de souligner que la prise en compte du cycle de vie ne se limite pas aux enjeux environnementaux, mais peut également favoriser l'établissement de processus BIM plus collaboratifs entre les différentes phases du projet et faciliter la connexion entre les outils utilisés à chaque étape.

5.3. Une continuité informationnelle « SocioBIM »

Une dernière approche permettant d'intervenir sur l'amélioration de la continuité informationnelle entre les phases et les acteurs sont les démarches dites « SocioBIM » ou « Social BIM ». Selon M. Das, le SocioBIM peut être défini comme une approche visant à encourager la collaboration et l'intégration des parties prenantes, y compris les occupants, dans le processus de construction (Das et al., 2014). En fait, des évaluations post-occupation basées sur le SocioBIM se sont révélées utiles dans différents scénarios tels que l'évaluation des espaces d'apprentissage, concluant que cette technologie augmentait la responsabilisation des occupants (Abisuga et al., 2018). Selon Shoolestani, le SocioBIM transforme les « occupants » (destinataires passifs) en « habitants » et leur permet d'avoir un sentiment d'appartenance et d'engagement dans le bâtiment (Shoolestani et al., 2015). En outre, ce concept a également été lié à une approche plus durable de la gestion des bâtiments. D'après certaines recherches, l'utilisation de cette technologie peut fournir des retours d'informations utiles pour la gestion de la part des occupants, tout en permettant de mieux comprendre l'impact des facteurs de

¹⁰⁰ Selon K. Jang, les modèles analytiques basés sur les données des bâtiments pendant plusieurs décennies peuvent être utilisés pour effectuer des prévisions relatives aux bâtiments, améliorer la qualité et la durabilité des constructions et optimiser le processus de construction dans son ensemble (Jang et al., 2021).

confort sur la santé, le confort et la durabilité environnementale (Mousa et al., 2016; Shoolestani et al., 2015).

Au-delà des occupants, le BIM social est également utilisé dans la co-conception des bâtiments et dans l'établissement de relations entre les acteurs. Selon R. Aragao et T. El-Diraby, le social BIM soutient le processus de co-conception et permet une « connaissance partagée de la situation » en permettant aux participants le contrôle visuel et à distance des modèles BIM à l'aide d'un « logiciel de groupe », plateforme ou CDE (Aragao & El-Diraby, 2021). Dans la même optique, Z. Adamu affirme que le Social BIM peut permettre d'appliquer la connaissance partagée de la situation aux aspects méthodologiques du BIM à des fins de cocréation (Adamu et al., 2015). S. Suwal considère que le concept de Social BIM fait également référence à la dimension sociale du BIM représentant les aspects de collaboration entre le système d'acteurs, également appelée « BIM collaboratif » ou « BIM intégré » (iBIM) (Suwal, Jävājā, & Lic, 2013). Le iBIM est aussi un autre type de démarche qui se focalise sur la façon dont l'équipe de conception peut être intégrée ou améliorée, et qui ferait partie des démarches SocioBIM (AlMashjary et al., 2020; Gabro, 2014). En fin de compte, M. Owen souligne que l'aspect social du travail est celui qui favorise le sentiment d'appartenance à une communauté, la démocratie participative, le travail d'équipe, la collaboration et la communication (Owen et al., 2006). En conséquence, l'aspect social du BIM est celui qui permet de se focaliser sur la collaboration, les compétences des acteurs et leur intégration. Cette approche considère les acteurs comme le moyen de relier toutes les phases, en définissant les usagers finaux comme un élément-clé du système d'acteurs autour du bâtiment.

Conclusion

Nous pouvons conclure que l'information est source de rupture et de lien entre toutes les phases du cycle de vie du bâtiment. La manière d'introduire, de récupérer, de gérer ou même de nommer les données devient capitale dans la bonne articulation entre les phases. En considérant que l'information est l'élément central du BIM, les projets BIM ont nécessairement une influence accrue sur la continuité de l'information tout au long des différentes phases. Nous avons constaté que l'impact informationnel du BIM sur un projet est une arme à double tranchant, car il peut soit rapprocher les acteurs, soit les éloigner davantage.

Actuellement, la plupart des publications sur le BIM sont orientées sur une phase ou un type d'acteur particulier, ce qui empêche de faire un diagnostic global du projet et de promouvoir des concepts tels que l'économie circulaire, la participation des occupants ou le BIM intégré. Nous avons développé différents outils afin de mieux caractériser les enjeux des acteurs – une grille, un questionnaire, etc. – qui font partie de la méthodologie de travail et devraient être développés davantage dans le cadre de futurs travaux de recherche. Par ailleurs, ces outils nous ont permis de réaliser que les enjeux et le système d'acteurs dans un projet BIM doivent être considérés dans leur ensemble, sans la traditionnelle division en phases distinctes de conception, construction et exploitation. Ainsi, nous avons besoin d'outils et de méthodologies d'analyse car les projets de construction étant très différents, le processus d'échange d'informations dans un projet sera très éloigné d'un autre.

Dans ce dernier chapitre, nous avons observé que dans les publications sur le BIM, les chercheurs arrivent souvent à des solutions et des conclusions similaires par des voies différentes. L'amélioration de la communication au sein du système d'acteurs est présente dans les analyses de cycle de vie, dans les projets de gestion intégrée, ou dans la création d'environnements de données communs. De même, la participation des occupants est mise en avant dans le Social BIM, dans les démarches environnementales, en prenant en compte leur qualité de vie et leur confort, mais aussi dans les projets de gestion intégrée. Nous pouvons conclure que les obstacles liés aux connaissances, au marché, aux questions financières, à la réglementation, au contexte sémantique et à l'organisation apparaissent tout au long du projet,

et que la recherche de solutions doit prendre en compte toutes ces notions. Ainsi, les obstacles informationnels peuvent nous aider à mieux comprendre et diagnostiquer le projet, s'ils émergent de l'évaluation globale de la transmission des informations entre les acteurs et les phases. En somme, une approche multiphase et multi-acteur semble être le principal moyen d'identifier et de lever les obstacles rencontrés dans la continuité informationnelle des projets BIM.

Conclusion générale

L'information dans les projets BIM s'est révélée être un objet d'analyse très précieux dans la compréhension des systèmes d'acteurs, de leur articulation et des enjeux qui sous-tendent les prises de décision au sein du projet. Nous avons pu constater chez les acteurs un intérêt croissant aux diverses phases de la conception et de la réalisation des édifices ayant fait l'objet de nos études de cas, pour des questions qui s'éloignent de la technique constructive et se rapprochent de celles liées par exemple à l'environnement, à la santé ou à la gestion. Cette ouverture à un large éventail d'intérêts informationnels, que les projets BIM éveillent chez tous les acteurs, évoque aussi la transversalité des connaissances qui représente l'essence même du domaine de l'architecture, et encourage la réflexion et la discussion sur des sujets variés.

Ces résultats s'appuient sur la logique décrite par M. Akrich qui soutient que la société et la technologie ne sont pas des réalités autonomes, et qu'au contraire, la technologie devient une construction fondamentalement sociale. Ce travail de recherche démontre qu'en appliquant la notion de « dispositif sociotechnique » de M. Akrich aux technologies BIM, l'analyse de ces dispositifs à travers les acteurs, leurs choix techniques, leur formation ou leurs relations sociales peut caractériser et définir une technologie. Par ailleurs, notre approche multidisciplinaire est en cohérence avec les dispositifs sociotechniques qui comprennent, selon J. Ruault, une partie technique relevant de l'ingénierie système, et une partie humaine et organisationnelle relevant des sciences humaines et sociales (Ruault et al., 2011). Nous utilisons le concept de « flux informationnel » de P. Marin pour appréhender le contexte de ces projets, au-delà des aspects purement techniques (Marin, 2020). Ainsi, en utilisant l'information comme moyen de liaison entre les parties prenantes, le BIM se transforme en un dispositif technique qui intègre une représentation du monde social, économique et organisationnel dans lequel il opère. En effet, ce sont ces réflexions et les enjeux de la part des acteurs qui nous ont permis d'observer les obstacles informationnels, ainsi que les questions ou les aspects qui aident à créer une continuité de l'information au sein du projet, tels que l'intégration des usagers finaux dans le système d'acteurs et les considérations environnementales.

C1. La continuité informationnelle en danger face aux obstacles systémiques

Nous avons conclu que les démarches BIM doivent s'étudier comme un système global dans lequel l'information circule entre les différentes parties prenantes du projet. Ce système est impacté par six catégories d'obstacles – financiers, réglementaires, de connaissance, de marché, organisationnels et externes – qui peuvent se manifester à n'importe quel moment du projet et perturber la communication et l'échange d'informations entre les acteurs du projet.

La continuité informationnelle devient alors une question à analyser pendant toute la durée du projet BIM, de sa conception jusqu'à sa mise en exploitation. Les obstacles rencontrés ont un caractère systémique car lorsqu'ils affectent un acteur, les conséquences peuvent avoir un impact sur d'autres, même lors des phases suivantes. Dans la recherche scientifique, le concept de « BIM systémique » a été décrit comme une transformation majeure du domaine de la construction (Murguia et al., 2017; Taylor & Levitt, 2004). Cette transformation implique l'adoption d'une nouvelle technologie qui impacte les outils, les processus et l'organisation, et qui requiert une modification simultanée des pratiques de plusieurs entreprises. Comme le note P. Love, il existe encore des problèmes dans les projets BIM qui affectent la productivité et la performance, et l'identification de ces obstacles nécessite une vision plus globale de la causalité des erreurs (Love et al., 2011). Pour résoudre ces problèmes, il est proposé de répondre de manière systémique aux erreurs, ce qui implique la prise en compte de tous les éléments au sein de l'organisation du projet pour trouver une solution efficace (Goh et al., 2012).

C2. Les enjeux informationnels comme moyen « social » de connecter les phases

Nous avons pu observer que les enjeux informationnels des acteurs évoluent d'une phase à l'autre, mais qu'en général ils répondent toujours aux mêmes catégories – administrative, technique, fonctionnelle, économique, géographique et réglementaire –, ce qui apporte une continuité dans la façon dont ces enjeux sont structurés et permet de mettre en relation et comparer les volontés des acteurs avec le même langage. L'analyse des intérêts, objectifs et

besoins des acteurs devient donc une approche sociale qui peut être complémentaire aux démarches techniques visant l'amélioration de la collaboration.

La structuration et la catégorisation des enjeux informationnels des différentes parties prenantes révèle un langage commun à tous les acteurs du projet lors des phases de conception, de construction et d'exploitation. Cette structuration des enjeux, qu'au début de la thèse nous avions l'intention d'utiliser comme un outil pour identifier les ruptures informationnelles, nous a permis également de trouver un espace de discussion commun à tous les acteurs du projet.

En théorie, les usages BIM du projet, établis par le BIM manager, devraient faciliter l'identification des enjeux informationnels. Pourtant, actuellement, les concepteurs, les entreprises de construction ou les exploitants n'ont pas l'habitude, la volonté ou la possibilité de participer à l'établissement de ces usages. Il semble donc nécessaire de travailler davantage les usages BIM du projet afin qu'ils correspondent aux enjeux BIM de toute l'équipe et pas uniquement du client, et d'encourager la participation de tous les acteurs, y compris les entités qui ne modélisent pas. Les entités qui ne fournissent pas de maquette, comme l'économiste, le bureau d'études environnementales ou le coordinateur de la santé et de la sécurité, ont également des besoins d'information et doivent savoir quelles informations ils peuvent extraire des maquettes des autres membres de l'équipe, comment, et à quel moment.

L'un des aspects défendus par le BIM social concerne l'amélioration de la communication et de la collaboration au sein des équipes. Or, nous avons constaté que celles-ci ne sont pas acquises sans la mutualisation des enjeux et des besoins des acteurs tout au long du projet. Selon P. Flichy, l'analyse du processus d'innovation qui a engendré des nouvelles technologies telles que le BIM est cruciale pour comprendre leur impact social (Flichy, 2017). Par conséquent, une approche sociologique orientée vers les acteurs et la communication entre eux semble nécessaire pour faire face à certains des obstacles rencontrés, notamment de nature organisationnelle. Ce positionnement concerne les relations au sein du système d'acteurs de chaque phase du projet mais aussi avec ceux des autres phases, et défend une démocratisation de l'information au sein des systèmes d'acteurs.

C3. Un système d'acteurs intégrant les habitants dans les projets BIM

Nous pouvons conclure que les occupants, en tant que récepteurs du bâtiment, devraient être pris en compte dans tous les projets de construction. En particulier, nous avons constaté que dans les projets BIM, l'intégration des habitants, leurs enjeux et besoins dans le processus de conception, construction et gestion pourrait influencer positivement sur la continuité informationnelle et de connaissances du bâtiment.

La participation des occupants de la conception à l'exploitation des projets BIM et la responsabilisation des habitants permet d'introduire un nouvel acteur au sein du projet, présent en continu pendant toutes les phases, en plus du client, et qui aura des enjeux et des besoins différents de celui-ci. Ainsi, les nouvelles technologies de l'information, telles que le BIM, offrent aux habitants des villes intelligentes une position de co-responsabilité dans la fabrication et la gestion urbaine, en les reliant directement à ces processus (Souami, 2017). En réalité, dans un projet de construction, il y a deux types de destinataires : les propriétaires de l'immeuble, et ses occupants. Le propriétaire a des enjeux très variés vis-à-vis du bâtiment tel que nous l'avons constaté lors des études de cas (économiques, techniques, administratifs, etc.), alors que l'occupant intègre la notion de confort à ces enjeux. En fait, le projet de construction devrait satisfaire ces deux types de destinataires. Actuellement, certaines certifications (par exemple, WELL ou HQE) se basent sur des critères qui cherchent à mesurer le bien-être des habitants. Dans nos analyses, nous nous sommes appuyée également sur le rôle du cadre bâti et aménagé dans l'action collective tel que décrit par M. Fenker, car il existe actuellement une absence d'analyse des pratiques sociales dans une vision globale, et un manque de réflexion approfondie sur les intentions et finalités des groupes d'utilisateurs, y compris les occupants (Fenker, 2017). Nous avons alors choisi d'analyser l'impact du BIM sur les utilisateurs et les usagers finaux afin d'avoir une vision plus complète de son impact social. Nous pouvons conclure que l'intégration des occupants dans un projet BIM aiderait à obtenir certaines certifications environnementales ; que l'habitant devient un acteur susceptible d'accompagner le projet durant toutes les phases et de créer des liens entre elles ; et que le recueil de son avis durant

l'exploitation pourrait favoriser une gestion et une maintenance plus adaptées à la réalité du bâtiment et à ses usagers.

En outre, la participation des citoyens aux projets BIM n'est pas une contrainte : les enquêtes post-occupation ainsi que le questionnaire adressé pour les deux études de cas du chapitre 4 témoignent d'un intérêt croissant des occupants pour la gestion du bâtiment et l'amélioration des conditions de confort.

Cette thèse porte ainsi sur l'analyse approfondie des dimensions sociologiques de la technologie BIM. Malgré l'existence de notions tels que le « BIM social » ou « SocioBIM » qui visent à prendre en compte l'impact des nouvelles technologies de l'information sur les acteurs, celles-ci ne sont pas encore intégrées dans les documents contractuels. Toutefois, il semble important de considérer l'intégration du BIM social dans les processus de mise en œuvre du BIM afin de garantir que les impacts sociaux des nouvelles technologies soient pris en compte dès le début du processus. En effet, en évaluant les conséquences sociales des innovations et en les intégrant dans les documents contractuels, nous pouvons mieux protéger les intérêts de toutes les parties concernées et assurer que ces technologies soient utilisées de manière plus responsable et éthique. Par ailleurs, il est possible de capitaliser ces technologies et de les orienter vers un futur plus respectueux de l'environnement et davantage centré sur les habitants. Ces technologies ont des avantages mais aussi de nombreux inconvénients : idéalement, une approche plus sociale dans l'analyse de ces technologies et une meilleure implication des habitants dans ce type de projets pourraient aider à créer un avenir plus équilibré entre les dimensions sociologiques, managériales et technologiques.

Limites et pistes d'investigation future

Pour atteindre l'objectif de la thèse qui est de mener à bien une recherche sur un sujet spécifique, nous avons pris le parti de limiter l'exploration à l'intérieur du cadre théorique et pratique de ce travail. Cependant, les avancées de cette recherche ouvrent sur quatre questions qui supposeraient un traitement ultérieur.

a) La participation citoyenne et la coconception en BIM

Nous avons abordé l'implication des occupants dans les projets BIM pendant la phase de gestion du bâtiment. Cependant, l'absence de cas d'études intégrant une coconception qui inclue les occupants ne nous a pas permis d'analyser leur rôle et leurs enjeux avant la livraison du bâtiment. Les initiatives de participation citoyenne ne sont pas exclusives des projets BIM. Toutefois, dans ceux-ci, les usagers finaux disposent de la maquette numérique comme d'un support de discussion de la géométrie et des espaces en cours de conception. La maquette numérique devient alors un support de communication. Néanmoins, à l'exception des projets de réhabilitation, il est généralement difficile de rencontrer les usagers avant la livraison du bâtiment, car celui-ci sera vendu ou loué à une autre société ou propriétaire et, tout simplement, les futurs occupants ne sont pas connus. En outre, l'introduction de nouvelles technologies telles que la réalité augmentée et la réalité virtuelle facilite les interactions entre l'habitant et la maquette numérique en cours de construction (Caixeta & Fabricio, 2021; Schranz et al., 2021). Les démarches de participation citoyenne sont également présentes dans les recherches sur le CIM (*city information modelling*) car à l'échelle urbaine, il y a davantage d'initiatives visant à promouvoir la participation des habitants avec des modèles BIM (Medina et al., 2011). Le projet de T. Fernandez à Eindhoven et le projet de recherche de J. Gnaedinger sur le modèle 3D intégré pour le district urbain de Cologne-Muehlheim sont des exemples de processus de transformation urbaine qui tendent à améliorer l'efficacité énergétique et la personnalisation des logements (Fernandez et al., 2020; Gnaedinger et al., 2018). En utilisant les outils BIM, les locataires peuvent personnaliser les ensembles de rénovation énergétique de leur logement dans

le but de passer d'une zone d'habitations à bas prix à une zone moderne et économe en énergie. Ainsi, ces projets font partie d'un processus de transformation urbaine fondamentale en cours.

b) Le BIM social et la continuité informationnelle à l'échelle de la ville intelligente

Même si les projets CIM (*City Information Modeling*) ne font pas encore partie de la réalité urbaine quotidienne des villes en France ou en Europe, cette notion est utilisée dans la littérature scientifique depuis plus de dix ans (Atzori et al., 2010; Montenegro, 2012; Stavric et al., 2012). Tandis que l'impact du BIM sur les habitants à l'échelle du bâtiment est considéré comme essentiel, il revêt une importance encore plus grande à l'échelle de la ville. Ainsi, R. Ledrut argumente que « *la ville en tant qu'unité collective réelle exige l'analyse sociologique des mécanismes de l'organisation collective en milieu urbain* » (Ledrut, 1979). L'analyse de la continuité informationnelle et des enjeux des acteurs de la fabrication de la ville nous semble donc la suite logique de cette recherche afin de mieux comprendre le contexte urbain dans lequel se développent ces types de projets. Le contexte urbain englobe une diversité d'acteurs tels que les politiques, les financiers, les publics et les privés, qui offrent une opportunité d'analyser un contexte social plus complet que celui qui entoure le bâtiment. Du point de vue économique, nous ne pouvons pas négliger le fait que le BIM en tant qu'innovation impacte des phénomènes tels que la concurrence sur les prix, les stratégies, etc. (Dardot & Laval, 2010). Cependant, cette thèse n'avait pas pour objet d'étudier l'influence purement économique ou politique de la technologie analysée car le système d'acteurs considéré ne va pas au-delà des acteurs du projet. Par ailleurs, il est proposé que les modèles BIM et CIM soient utilisés pour surveiller avec précision le développement des villes en temps réel, en automatisant les indicateurs pour une meilleure préparation (Marin, 2020). Ces indicateurs incluent par exemple l'évaluation de la consommation d'énergie et d'eau, la production de déchets, ainsi que le taux d'occupation des villes à différents moments de l'année (Dantas et al., 2019).

Bien que l'analyse du système d'acteurs dans le cadre de la thèse nous ait fourni une base pour étudier les enjeux informationnels des acteurs dans la fabrication de la ville, il serait pertinent d'étendre cette analyse à d'autres domaines pour une compréhension plus exhaustive des enjeux urbains. Nous postulons que l'analyse que nous avons menée sur les enjeux des gestionnaires

de bâtiments et des occupants durant l'exploitation serait la meilleure base pour entamer des enquêtes auprès des acteurs impliqués dans la gestion urbaine. Cette ligne de recherche se focalise sur l'analyse du système d'acteurs de l'amont du projet : encadrement juridique, financier et politique. Tout comme certaines phases du cycle de vie n'ont pas été abordées au cours de ce projet de recherche, l'analyse du système d'acteurs reste à élargir également. La plupart des acteurs impliqués en amont du projet, y compris ceux qui élaborent les normes, les lois et les règles, les collectivités locales, les aménageurs et les investisseurs, ont également des enjeux qui peuvent influencer le développement du projet BIM. La rédaction des cahiers des charges BIM répond aux enjeux de ce type d'acteurs qui n'ont été ni inclus ni sollicités dans notre projet de recherche. Cet approfondissement est lié aux analyses sociologiques urbaines, car les collectivités et les aménageurs sont des acteurs qui opèrent plutôt à l'échelle de la ville.



Figure 50 L'élargissement du système d'acteurs à l'échelle de la ville

Ainsi, la Figure 50 illustre la grande variété d'acteurs qui doit être prise en compte dans une étude du système d'acteurs à l'échelle de la ville. Elle montre également que l'élargissement du système d'acteurs dans ce contexte inclut des entités telles que les fabricants ou les bailleurs sociaux qui feront partie d'une analyse du cycle de vie.

c) La sociologie des usages appliquée aux technologies BIM

Une des limites de cette recherche est l'utilisation d'une littérature multidisciplinaire et variée qui ouvre plusieurs pistes de recherche. Au cours de cette thèse, nous avons privilégié la prise en compte des enjeux et des besoins des acteurs plutôt que des usages, car bien que l'approche

de la sociologie des usages pour l'analyse de l'appropriation des technologies par les utilisateurs ait été mise en avant par A. Coutant ou P. Chambat dans le cas des dispositifs sociotechniques et des technologies de l'innovation, notre vision holistique du processus et du système d'acteurs serait contradictoire à l'analyse des pratiques par type d'acteur requise dans ce type d'observations (Chambat, 1994; Coutant, 2015). Ainsi, ces usages sont conditionnés par le type de travail et de formation ainsi que par l'outil informatique utilisé, nécessitant une étude approfondie du contexte des acteurs observés.

Par conséquent, certains travaux de recherche suggèrent que l'adoption sociale des nouvelles technologies, leur intégration dans la vie quotidienne des utilisateurs, dépend moins de leurs caractéristiques techniques « intrinsèques », de leurs performances et de leur sophistication, que des significations d'usage projetées par les utilisateurs (Philippe & Yves, 1994). Des travaux de recherche ultérieurs pourraient se concentrer sur les effets des usages des technologies BIM sur la continuité de l'information et sur la façon dont ces appropriations des outils sont en train de transformer les méthodologies et pratiques actuelles dans les différents secteurs de la construction, pour chaque acteur concerné. Ainsi, par exemple, l'usage de l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de la construction est une piste de recherche prometteuse, d'après L. Castro Pena. Il préconise une approche exploratoire qui vise à identifier les exigences et les solutions potentielles à l'étape conceptuelle (Castro Pena et al., 2021). De plus, l'IA peut être utilisée pour améliorer l'analyse de la qualité des maquettes numériques des projets BIM (Sacks et al., 2019), ainsi que pour augmenter l'efficacité des tâches d'exploitation et de maintenance grâce à l'information des capteurs et de la maquette numérique (de Boissieu, 2021; Leclercq & Magnaval, 2022; Zhang et al., 2022). Un autre aspect intéressant à développer en lien avec la sociologie des usages est celui de l'appréhension des outils de modélisation évoquée dans les travaux de recherche d'A. Stals (Stals et al., 2018).

d) La responsabilité des acteurs dans la promotion des technologies BIM

Enfin, la dernière approche théorique émergeant des résultats obtenus et que nous souhaitons explorer davantage concerne la notion de « responsabilité » des acteurs impliqués dans le développement de nouvelles technologies ou de dispositifs sociotechniques. Comme le dit E.

Sadin à propos de la mise en œuvre des nouvelles technologies : « *Nous sommes tous tenus au devoir de responsabilité, à l'égard de nous-mêmes, des autres et de la société* » (Sadin, 2016). E. Sadin s'inspire, entre autres, des déclarations d'A. Grothendieck dans la revue *Survivre et vivre* en 1970 recueillies par C. Pessis : « *Le savant, principal ouvrier des progrès technologiques, doit assumer une part majeure des responsabilités dans les abus souvent révoltants qui sont faits de ces progrès, et des périls sans précédent que ces progrès représentent pour l'espèce humaine.* » (Pessis, 2014). Ce n'est pas l'évolution des nouvelles technologies qui a introduit les réflexions sur l'aspect "social" de l'ingénieur, car celui-ci était déjà présent en 1954 dans l'ouvrage de G. Lamirand intitulé "Le rôle social de l'ingénieur" (Lamirand, 1954).

Dans le cadre de la responsabilité de l'ingénieur, M. Escudié argumente que même si l'éthique de conviction incombe au scientifique et l'éthique de responsabilité au politique, elles se confondent lorsque le politique fait appel à l'ingénieur en tant qu'expert ; il recommande que ces diverses perspectives éthiques soient incluses dans la formation des étudiants en ingénierie (Escudié, 2019). Bien que cette thèse ne traite pas spécifiquement des analyses éthiques du projet, nous tenons à souligner que la gestion des données du bâtiment par les acteurs peut servir de point d'entrée pour des études et analyses plus larges, notamment sur les dimensions sociales et éthiques des nouvelles technologies appliquées dans le domaine de la construction. Une dernière question concernant la responsabilité des professionnels qui développent et mettent en œuvre ce type de technologie est celle de la confidentialité et de la sécurité des données des habitants. C. Schelings et C. Elsen soulignent que l'utilisation de nouvelles formes de participation numérique pose des problèmes spécifiques, notamment la sécurité des « données privées » (Schelings & Elsen, 2018). Ainsi, les citoyens peuvent être méfiants quant au partage d'informations jugées trop privées.

Comme l'explique H. Boyes, des changements rapides sont en cours dans l'environnement bâti. Deux évolutions importantes que sont l'adoption croissante de la modélisation des informations du bâtiment (BIM) et les progrès vers la création de biens « intelligents » dotés de capteurs – également connus sous l'appellation d'« Internet des objets » (IoT) –, développent des technologies de l'information très puissantes qui peuvent porter à conséquence sur le traitement des données personnelles des utilisateurs et des occupants (Boyes, 2015). Par conséquent, l'étude des enjeux informationnels des acteurs devient la porte d'entrée vers d'autres analyses sur la confidentialité et la sécurité des données dans le monde de la construction BIM qui

pourraient fournir davantage de connaissances sur le type d'informations introduites dans les projets, la manière dont elles sont structurées, ou le type d'informations que les acteurs cherchent à obtenir pendant la phase d'exploitation.

En conclusion, en étudiant la continuité informationnelle entre les acteurs, cette thèse met en lumière la nature sociotechnique des technologies BIM car elle permet d'ouvrir de nouvelles perspectives de recherche sur des thèmes tels que l'éthique, l'environnement, la sociologie et l'économie. Ce travail démontre également que de nouvelles approches, allant au-delà des considérations purement techniques, peuvent être développées pour mieux comprendre l'interaction entre le BIM, le contexte et la société. Enfin, en adoptant une approche systémique de l'information dans les projets BIM, des opportunités émergent pour explorer des questions-clés telles que l'impact environnemental et le rôle des occupants qui représentent deux domaines d'intérêt majeurs pour la recherche en développement du cadre bâti et aménagé dans les années à venir.

Bibliographie

- Abbasnejad, B., Nepal, M. P., Mirhosseini, S. A., Moud, H. I., & Ahankoob, A. (2021). Modelling the key enablers of organizational building information modelling (BIM) implementation : An interpretive structural modelling (ISM) approach. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 974-1008.
- Abdellatif, M. (2019). Du BIM au BEM en phase d'exploitation. *Academic Journal of Civil Engineering*, 37(1), Article 1. <https://doi.org/10.26168/ajce.37.1.77>
- Abdirad, H. (2015). Advancing in Building Information Modeling (BIM) contracting : Trends in the AEC/FM Industry. In *AEI 2015 : Birth and Life of the Integrated Building—Proceedings of the AEI Conference 2015*. <https://doi.org/10.1061/9780784479070.001>
- Abdirad, H., & Dossick, C. S. (2016). BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education : A systematic review. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21(17), 250-271.
- Abdou, D. m S., & Hussein, R. (2020). How fear of change, lack of innovation led to Nokia's failure? *International Journal of Business Ecosystem & Strategy* (2687-2293), 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.36096/ijbes.v2i4.222>
- Abdulkareem, R., & Gherghiceanu, M. (2022). *Evaluations of Product Data Template initiatives*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-59413>
- Abubakar, M., Ibrahim, Y. M., Kado, D., & Bala, K. (2014). *Contractors' Perception of the Factors Affecting Building Information Modelling (BIM) Adoption in the Nigerian Construction Industry*. 167-178. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.022>
- Ackoff, R. (1989). *From Data to Wisdom*.
- Adamu, Z. A., Emmitt, S., & Soetanto, R. (2015). Social BIM : Co-creation with shared situational awareness. *Journal of Information Technology in Construction*, 20, 230-252.
- Afsari, K., & Eastman, C. (2016). *A Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20388.27529>
- Afsari, K., & Eastman, C. M. (2014). Categorization of building product models in BIM Content Library portals. *SiGraDi 2014 [Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISBN: 978-9974-99-655-7] Uruguay-Montevideo 12,13,14 November 2014, pp. 370-374*. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show_id=caadria2010_003/paper/sigradi2014_075
- Ahmad, A. M., Demian, P., & Price, A. D. (2012). *Building information modelling implementation plans a comparative analysis*.
- AIA. (2007). *Integrated project delivery : A guide*. American Institute of Architects, California.
- Aigrain, P. (2013). *Cause commune : L'information entre bien commun et propriété*. publie.net.

- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, M., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy : A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>
- Akcamete, A., Akinci, B., & Garrett, J. (2010). Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. In *Proc., Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*.
- Akhnoukh, A., Kaloush, K., Elabyad, M., Halleman, B., Erian, N., II, S. E., & Henry, C. (2022). *Advances in Road Infrastructure and Mobility : Proceedings of the 18th International Road Federation World Meeting & Exhibition, Dubai 2021*. Springer Nature.
- Akintola, A. A., Venkatachalam, S., Root, D., & Oti, A. H. (2021). Distilling agency in BIM-induced change in work practices. *Construction Innovation*, 21(3), 490-522. <https://doi.org/10.1108/CI-09-2019-0088>
- Akintola, A., Venkatachalam, S., & Root, D. (2017). New BIM Roles' Legitimacy and Changing Power Dynamics on BIM-Enabled Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9), 04017066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001366](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001366)
- Akrich, M. (1989). La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques. *Anthropologie et Sociétés*, 13(2), 31-54. <https://doi.org/10.7202/015076ar>
- Akrich, M., Callon, M., & Latour, B. (1988). A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement; 2 : Le choix des porte-parole. *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, 11 & 12, 4. <https://shs.hal.science/halshs-00081741>
- Akrich, M., Callon, M., & Latour, B. (2006). *Sociologie de la traduction, textes fondateurs*. (p. 304). Presses de l'Ecole des Mines. <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00397086>
- Alavi, H., Bortolini, R., & Forcada, N. (2022). BIM-based decision support for building condition assessment. *Automation in Construction*, 135, 104117. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104117>
- Alavi, H., & Forcada, N. (2019). *BIM LOD for facility management tasks* (p. 163). <https://doi.org/10.35490/EC3.2019.187>
- Alavi, H., Forcada, N., Bortolini, R., & Edwards, D. J. (2021). Enhancing occupants' comfort through BIM-based probabilistic approach. *Automation in Construction*, 123, 103528. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103528>
- Alexander, K. (1999). *Facilities Management : European Practice 1999*.
- Alhamami, A., Petri, I., Rezgui, Y., & Kubicki, S. (2020). Promoting Energy Efficiency in the Built Environment through Adapted BIM Training and Education. *Energies*, 13(9), 1-24.
- AlMashjary, B. M., Zolkafli, U. K., & Razak, A. S. A. (2020). Measurement model of iBIM implementation in AECO industry : PLS-PM approach. *Malaysian Construction Research Journal (MCRJ)*, 63.
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2017). Factors for effective BIM governance. *Journal of Building Engineering*, 10, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.02.006>
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2018). Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects. *Requirements Engineering*, 23(1), 1-31. <https://doi.org/10.1007/s00766-016-0254-6>
- Alshabab, M. S., Vysotskiy, A., Khalil, T., & V, P. M. (2017). BIM-Based Quantity Takeoff. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 55(4), 124-134. <https://doi.org/10.18720/CUBS.55.8>

- Alshawhi, M., Goulding, J., Khosrowshahi, F., Lou, E., & Underwood, J. (2008). Strategic positioning of IT in construction, an industry leaders' perspective. *UK: Construct IT for Business, The University of Salford*.
- Alter, N. (1993). La lassitude de l'acteur de l'innovation. *Sociologie du Travail*, 35(4), 447-468.
- Alter, N. (2000). L'innovation ordinaire. *Puf, Coll., Quadrige-Essais et Débats*.
- Ambrosino, C., Guillon, V., & Talandier, M. (2018). Résiliente, collaborative et bricolée. Repenser la ville créative à « l'âge du faire ». *Géographie, économie, société*, 20(1), 5-13. <https://doi.org/10.3166/ges.20.2017.0026>
- Ameziane, F. (1998). *Structuration et représentation d'informations dans un contexte coopératif de production du bâtiment* [These de doctorat, Aix-Marseille 3]. <https://www.theses.fr/1998AIX30012>
- André, E., Boulekbache, H., & Gallas, M.-A. (2020). Le BIM peut-il être un agent facilitant les démarches de développement durable dans la construction ? *SHS Web of Conferences*, 82, 02005. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208202005>
- Andrés, S., del Solar, P., de la Peña, A., & Vivas, M. D. (2017). Implementation of BIM in Spanish construction industry. *Building & Management*, 1(1), 1-8.
- Anggraini, D. (2015). *Impact de la disparition d'un noeud sur la structure d'un réseau social* [PhD Thesis]. Université du Québec en Outaouais.
- Anker Jensen, P., & Ingi Jóhannesson, E. (2013). Building information modelling in Denmark and Iceland. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(1), 99-110. <https://doi.org/10.1108/09699981311288709>
- Aragao, R., & El-Diraby, T. E. (2021). Network analytics and social BIM for managing project unstructured data. *Automation in Construction*, 122, 103512. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103512>
- Arayici, Y., & Aouad, G. F. (2010). *Building information modelling (BIM) for construction lifecycle management* (S. G. Doyle, Éd.; p. 99-118). Nova Science Publishers. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=23104
- Arayici, Y., Onyenobi, T., & Egbu, C. (2012). Building Information Modelling (BIM) for Facilities Management (FM) : The Mediacity Case Study Approach. *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)*, 1(1), 55-73. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2012010104>
- Arensman, D. B., & Ozbek, M. E. (2012). Building Information Modeling and Potential Legal Issues. *International Journal of Construction Education and Research*, 8(2), 146-156. <https://doi.org/10.1080/15578771.2011.617808>
- Arnold, H. E., Cohen, F. G., & Warner, A. (2009). Youth and Environmental Action : Perspectives of Young Environmental Leaders on Their Formative Influences. *The Journal of Environmental Education*, 40(3), 27-36. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.3.27-36>
- Arrotéia, A. V., Freitas, R. C., & Melhado, S. B. (2021). Barriers to BIM Adoption in Brazil. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2021.520154>
- Arza, V., & López, E. (2021). Obstacles affecting innovation in small and medium enterprises : Quantitative analysis of the Argentinean manufacturing sector. *Research Policy*, 50(9), 104324. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104324>
- Ashworth, S., Tucker, M., & Druhmman, C. K. (2018). Critical success factors for facility management employer's information requirements (EIR) for BIM. *Facilities*, 37(1/2), 103-118. <https://doi.org/10.1108/F-02-2018-0027>

- Atkin, B., & Bildsten, L. (2017). A future for facility management. *Construction Innovation*, 17(2), 116-124. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2016-0059>
- Atta, I., Bakhoun, E. S., & Marzouk, M. M. (2021). Digitizing material passport for sustainable construction projects using BIM. *Journal of Building Engineering*, 43, 103233. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103233>
- Attewell, P. (1992). Technology Diffusion and Organizational Learning : The Case of Business Computing. *Organization Science*, 3(1), 1-19. <https://doi.org/10.1287/orsc.3.1.1>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things : A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- AUTODESK. (2016). *Autodesk Whitepaper—Classification Systems*. <https://cupdf.com/document/autodesk-whitepaper-classification-systems.html>
- AUTODESK. (2019). *Maîtrise d'oeuvre et maîtrise d'ouvrage en pleine révolution BIM – état des lieux, perceptions et axes de développement*. Disponible à l'adresse : <https://www.autodesk.fr/solutions/bim/explore-building-design/bim-study>. [Google Scholar]
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM) : Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12, 15. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032>
- Aziz, N. D., Nawawi, A. H., & Ariff, N. R. M. (2016a). Building Information Modelling (BIM) in Facilities Management : Opportunities to be Considered by Facility Managers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 353-362. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.252>
- Aziz, N. D., Nawawi, A. H., & Ariff, N. R. M. (2016b). ICT Evolution in Facilities Management (FM) : Building Information Modelling (BIM) as the Latest Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 363-371. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.253>
- Azman, N., Buang, A., & Hakim, A. (2014). Facility management history and evolution. *International Journal of Facility Management*, 5(1).
- Baldrich Aragó, A., Roig Hernando, J., Llovera Saez, F. J., & Coll Bertran, J. (2021). Quantity surveying and BIM 5D. Its implementation and analysis based on a case study approach in Spain. *Journal of Building Engineering*, 44, 103234. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103234>
- Ballesteros, J. M. V., & Martín, F. da C. (2018). La gestión integral especializada del Patrimonio Arquitectónico (Bienes Culturales Inmuebles). *Las Profesiones del Patrimonio Cultural : Competencias, formación y transferencia del conocimiento: reflexiones y retos en el Año Europeo del Patrimonio Cultural 2018*, 2018, ISBN 9788409047314, págs. 159-163, 159-163. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8184242>
- Bally, F. (2015). Vers une transition énergétique citoyenne. *Rives méditerranéennes*, 51, Article 51. <https://doi.org/10.4000/rives.4940>
- Baranzini, L. (2007). *Quando in italiano: Un cas de subordination inverse?* (p. 145-157). Brill. https://doi.org/10.1163/9789401205191_010
- Baribeau, C. (2005). Le journal de bord du chercheur. *Recherches qualitatives*, 2, 98-114.

- Bastien, S. (2007). Observation participante ou participation observante? Usages et justifications de la notion de participation observante en sciences sociales. *Recherches qualitatives*, 27(1), 127-140. <https://doi.org/10.7202/1085359ar>
- BATIACTU, G. (2018). Le BIM dans le secteur du BTP [en ligne]. 2018. *Disponible à l'adresse*.
- Beaufils, M., Grellet, S., Hello, B. L., Lorentz, J., Beaudouin, M., & Moreno, J. C. (2020). Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructures and tunnels. In *Tunnels and Underground Cities : Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art*. CRC Press.
- Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 431-442. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)
- Becerik-gerber, B., & Kent, D. (2010). *Implementation of Integrated Project Delivery and Building Information Modeling on a Small Commercial Project*.
- Bechir, M. (2022). *De la conception à l'exploitation ? : L'intégration des préoccupations d'exploitation des systèmes énergétiques dans la conception des projets urbains* [These de doctorat, Marne-la-vallée, ENPC]. <https://www.theses.fr/2022ENPC0003>
- Becker, F. D. (1990). *The total workplace : Facilities management and the elastic organization*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Beddiar, K., & Imbault, F. (2017). *BIM et énergétique des bâtiments*. Dunod.
- Bedoiseau, M., Martin, D., & Botton, C. (2022). Use of KROQI as a Level-2 Common Data Environment in the French Construction Industry. *Sustainability*, 14(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su141610455>
- Bedrick, J. (2006). Virtual design and construction : New opportunities for leadership. *The architect's handbook of professional practice update 2006*, 33-45.
- Bellenger, A.-M., & Blandin, A. (2019). *Le BIM sous l'angle du droit : Pratiques contractuelles et responsabilités*. Editions Eyrolles.
- Benachio, G. L. F., Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry : A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Benn, M., & Stoy, C. (2022). BIM for CREM : Exploring the Benefit of Building Information Modelling for Facility Management in Corporate Real Estate Management. *Buildings*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/buildings12040400>
- Bergin, M. S. (2011). History of BIM. *Architecture Research Lab online*.
- Bernoux, P., & Gagnon, Y.-C. (2008). Une nouvelle voie pour réussir les changements technologiques : La co-construction. *La Revue des Sciences de Gestion*, 233(5), 51-58. <https://doi.org/10.3917/rsg.233.0051>
- Bernstein, H. M. (2014). *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets : How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling*. https://www.academia.edu/27756523/The_Business_Value_of_BIM_for_Construction_in_Major_Global_Markets_How_Contractors_Around_the_World_Are_Driving_Innovation_With_Building_Information_Modeling

- Bernstein, H. M., Russo, M. A., & Jones, S. A. (2010). *Green BIM : How Building Information Modeling is Contributing to Green Design and Construction*. McGraw-Hill Construction.
- Bertin, I. (2020). *Economie circulaire des bâtiments : Capitalisation de la donnée*. <https://www.batylab.bzh/wp-content/uploads/fbe-ecb-enjeu-e-v6.pdf>
- Bertrand, C. (2005). *Guide pratique de la loi MOP*. EYROLLES.
- Besson, M., Gossart, C., & Jullien, N. (2017). Les enjeux de la transformation numérique dans l'entreprise du futur. *Terminal. Technologie de l'information, culture & société*, 120, Article 120. <https://journals.openedition.org/terminal/1607>
- Biau, V. (2009). *La place du travail de conception et la régulation de la qualité architecturale en PPP*. Presses de l'ENPC. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01250858>
- Biau, V. (2014). Les architectes et les contrats globaux : L'expérience d'un "monde à l'envers". *Lieux Communs - Les Cahiers du LAUA*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01711480>
- 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*. <https://journals.openedition.org/cybergeog/29387>
- Biau, V. (2020). *Les architectes au défi de la ville néolibérale*. Parenthèses. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02872411>
- Biau, V., & Tapie, G. (2009). *La fabrication de la ville : Métiers et organisations*. Éditions Parenthèses. <https://hal-univ-paris8.archives-ouvertes.fr/hal-01073243>
- Billon, R., Fasse, I., & Parinaud, T. (2020). Interopérabilité et automatisme dans les études du Bâtiment. *SHS Web of Conferences*, 82, 02006. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208202006>
- Bishr, Y. (1998). Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(4), 299-314. <https://doi.org/10.1080/136588198241806>
- Biswas, T., Wang, T.-H., & Krishnamurti, R. (2013). FROM DESIGN TO PRE-CERTIFICATION USING BUILDING INFORMATION MODELING. *Journal of Green Building*, 8(1), 151-176. <https://doi.org/10.3992/jgb.8.1.151>
- Björk, B.-C. (1992). A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures. *Automation in Construction*, 1(3), 193-214. [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90013-A](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90013-A)
- Blanc, M. (2009). La transaction sociale : Genèse et fécondité heuristique. *Pensée plurielle*, 20(1), 25-36. <https://doi.org/10.3917/pp.020.0025>
- Blanc, M. (2010). Métiers et professions de l'urbanisme : L'ingénieur, l'architecte et les autres. *Espaces et sociétés*, 142(2), 131-150. <https://doi.org/10.3917/esp.142.0131>
- Boateng, E. (2011). THE FUTURE OF FACILITY MANAGEMENT IN FINLAND. *Language*, 74.
- Bond, E. U., & Houston, M. B. (2003). Barriers to Matching New Technologies and Market Opportunities in Established Firms. *Journal of Product Innovation Management*, 20(2), 120-135. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.2002005>
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J., & Labianca, G. (2009). Network Analysis in the Social Sciences. *Science*, 323(5916), 892-895. <https://doi.org/10.1126/science.1165821>

- Borrmann, A., Hochmuth, M., König, M., Liebich, T., & Singer, D. (2016). *Germany's governmental BIM initiative – Assessing the performance of the BIM pilot projects*. Proceedings of the 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. <https://mediatum.ub.tum.de/1316173>
- Bortolini, R., & Forcada Matheu, N. (2020). Operational Performance Indicators and Causality Analysis for Non-Residential Buildings. *Informes de La Construcción*, 72(557), e333:1-e333:11. <https://doi.org/10.3989/ic.67792>
- Bortolini, R., & Forcada, N. (2018). Facility managers' perceptions on building performance assessment. *Frontiers of Engineering Management*, 5(3), 324-333. <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2018010>
- Bortolini, R., Forcada, N., & Macarulla, M. (2016). BIM for the integration of building maintenance management : A case study of a university campus. In *EWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. CRC Press.
- Boton, C., & Forgues, D. (2018). Comprendre l'impact du numérique sur la gestion de projet en construction. *Lien social et Politiques*, 81, 41-60. <https://doi.org/10.7202/1056303ar>
- Boton, C., & Kubicki, S. (2014a). Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. *SCAN'14, 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, 45-56. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01025675>
- Boton, C., & Kubicki, S. (2014b). *Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies*.
- Bouchlaghem, D. (2012). *Collaborative Working in Construction*. Routledge.
- Bougrain, F. (2010). L'énergie dans les contrats de partenariat. *CSTB, rapport ronéoté*.
- Bouillon, J.-L. (2015). Digital technologies Information-communication in organizational rationalizations : « digital skills » and modeling process. *Les Enjeux de l'information et de la communication*, 161(1), 89-103.
- Boutemadja, A. (2017). *MÉTIER D'AVENIR : Du dessinateur en bâtiment au BIM Modelleur*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/227011>
- Boyes, H. (2015). Security, Privacy, and the Built Environment. *IT Professional*, 17, 25-31. <https://doi.org/10.1109/MITP.2015.49>
- Brioso, X. (2015). Integrating ISO 21500 Guidance on Project Management, Lean Construction and PMBOK. *Procedia Engineering*, 123, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.060>
- Brugidou, M. (1985). L'élection présidentielle : Discours et enjeux politiques. *L'élection Présidentielle*, 1-300.
- Buhl, H., Kerosuo, H., & Andersen, M. (2017). *SOCIAL BIM as driver for creativity and innovation?*
- BuildingSMART Finland. (2012). *Common BIM requirements*.
- BuildingSmart France. (2020). *Systèmes de classification*. Mediaconstruct. Mediaconstruct. <https://bimstandards.fr/data-bim/systemes-de-classification/>
- BuildingSmart France, Mediaconstruct. (2021). *Guide Convention BIM*. <https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/wp-content/uploads/2021/05/Guide-Convention-BIM.pdf>

- Bukstein, D., Hernández, E., Usher, X., Bukstein, D., Hernández, E., & Usher, X. (2019). Assessing the Impacts of Market Failures on Innovation Investment in Uruguay. *Journal of technology management & innovation*, 14(4), 137-157. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242019000400137>
- Caillaud, S., & Flick, U. (2016). *Triangulation méthodologique. Ou comment penser son plan de recherche*. 227.
- Caixeta, M. C. B. F., & Fabricio, M. M. (2021). Physical-digital model for co-design in healthcare buildings. *Journal of Building Engineering*, 34, 101900. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101900>
- Callon, M. (1986). ÉLÉMENTS POUR UNE SOCIOLOGIE DE LA TRADUCTION : La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique (1940/1948-)*, 36, 169-208.
- Callon, M., Lhomme, R., & Fleury, J. (1999). Pour une sociologie de la traduction en innovation. *Recherche & formation*, 31(1), 113-126. <https://doi.org/10.3406/refor.1999.1574>
- Candido, C., de Dear, R., Thomas, L. E., Kim, J., & Parkinson, T. (2012). BOSSA - Building Occupants Survey System Australia. <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/23250>
- Cann, S., Mahamadu, A.-M., Prabhakaran, A., Dziekonski, K., & Joseph, R. (2022). An approach for semi-automated data quality assurance within BIM models. *Engineering Management in Production and Services*, 14(4), 114-125. <https://doi.org/10.2478/emj-2022-0034>
- Capdevila, I. (2015). Les différentes approches entrepreneuriales dans les espaces ouverts d'innovation. *Innovations*, 48(3), 87-105. <https://doi.org/10.3917/inno.048.0087>
- Carayannis, E. G., Popescu, D., Sipp, C., & Stewart, M. (2006). Technological learning for entrepreneurial development (TL4ED) in the knowledge economy (KE): Case studies and lessons learned. *Technovation*, 26(4), 419-443. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.04.003>
- Carton, S., & Farastier, A. (2012). Intégration des connaissances client dans un projet en systèmes d'information : Influence de l'environnement de connaissance du projet. *Systèmes d'information & management*, 17(2), 39-80. <https://doi.org/10.3917/sim.122.0039>
- Castells, M. (1997). An introduction to the information age. *City*, 2(7), 6-16. <https://doi.org/10.1080/13604819708900050>
- Castells, M. (2001). *La Société en réseaux* (Nouv. éd édition). Fayard.
- Castells, M. (2002). *Information Technology, Globalization and Social Development*. <https://policycommons.net/artifacts/2263920/information-technology-globalization-and-social-development/3022974/>
- Castro Pena, M. L., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (2021). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*, 124, 103550. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>
- Chambat, P. (1994). Usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) : Évolution des problématiques. *Usages des technologies de l'information et de la communication (TIC): évolution des problématiques*, 6(3), 249-270.
- Chan, T. W. (2014a). Barriers of Implementing BIM in Construction Industry from the Designers' Perspective : A Hong Kong Experience. *Journal of System and Management Sciences*, 4(2), 024-040.

- Chan, T. W. (2014b). Barriers of Implementing BIM in Construction Industry from the Designers' Perspective : A Hong Kong Experience. *Journal of System and Management Sciences*, 4(2), 024-040.
- Chang, K.-M., Dzung, R.-J., & Wu, Y.-J. (2018a). An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management. *Applied Sciences*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app8071086>
- Chang, K.-M., Dzung, R.-J., & Wu, Y.-J. (2018b). An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management. *Applied Sciences*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app8071086>
- Charef, R. (2022). The use of Building Information Modelling in the circular economy context : Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100414>
- Charef, R., Emmitt, S., Alaka, H., & Fouchal, F. (2019). Building Information Modelling adoption in the European Union : An overview. *Journal of Building Engineering*, 25, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100777>
- Charef, R., & Lu, W. (2022). Circular economy and building information modeling. *Research Companion to Building Information Modeling*, 572-592.
- Chaudet, B. (2020a). Le BIM : Nouvelles formes de collaboration pour les acteurs du bâtiment ? *Interfaces numériques*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.3981>
- Chaudet, B. (2020b). Culture sociotechnique et investissements de formes dans le secteur du bâtiment. L'exemple du BIM. *Communication Organisation*, 58(2), 55-68.
- Chen, H., Schatz, B., Ng, T., Martinez, J., Kirchhoff, A., & Lin, C. (1996). A parallel computing approach to creating engineering concept spaces for semantic retrieval : The Illinois Digital Library Initiative project. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(8), 771-782. <https://doi.org/10.1109/34.531798>
- Chen, S., Jin, R., & Alam, M. (2018). Investigation of interoperability between building information modelling (BIM) and building energy simulation (BES). *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 9(2), 137-144. <https://doi.org/10.1556/1848.2018.9.2.9>
- Cheng, J. C., Chen, W., Tan, Y., & Wang, M. (2016). A BIM-based decision support system framework for predictive maintenance management of building facilities.
- Cheng, J. C. P., Chen, W., Chen, K., & Wang, Q. (2020). Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>
- Chiapello, E., & Boltanski, L. (1999). *Le nouvel esprit du capitalisme* (p. 971). Gallimard. <https://hal-hec.archives-ouvertes.fr/hal-00680085>
- Choi, J., Lee, S., & Kim, I. (2020). Development of Quality Control Requirements for Improving the Quality of Architectural Design Based on BIM. *Applied Sciences*, 10(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/app10207074>
- Clark, C., Jambeck, J., & Townsend, T. (2006). A Review of Construction and Demolition Debris Regulations in the United States. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(2), 141-186. <https://doi.org/10.1080/10643380500531197>
- Conseil national du Numérique. (2020). *Feuille de route sur l'environnement et le numérique*.

- Copeland, S., & Bilec, M. (2020). Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy. *Procedia CIRP*, 90, 143-147. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.122>
- Corpelet, D. (2018). Les lunettes connectées, le sujet omnivoyeur et son regard embarqué : Un regard en court-circuit. *Interfaces numériques*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.25965/interfaces-numeriques.3028>
- Courbet, D. (2004). *COMMUNICATION MEDIATIQUE : LES APPORTS DE LA PSYCHOLOGIE SOCIALE ; Pour une pluralité épistémologique, théorique et méthodologique en SIC.*
- Courdurier, E., & Tapie, G. (2003). *Les professions de la maîtrise d'oeuvre*. La documentation française, Paris.
- Coutant, A. (2015). Les approches sociotechniques dans la sociologie des usages en SIC. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 6. <https://doi.org/10.4000/rfsic.1271>
- Couture, A., Grudet, I., Macaire, É., & Evette, T. (2019). De l'usager à l'acteur de projet. L'habitant dans la recherche sur les métiers (Cahiers Ramau 2000-2018). *Cahiers RAMAU. Revue du Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme*, 10, 61-87.
- Cristia, E. (2020, novembre 12). *Projet architectural et maquette numérique BIM. Enquête ethnographique au sein d'un grand projet de construction*. <http://www.theses.fr>. <http://www.theses.fr/s163352>
- Crowston, K. (1994). A Taxonomy of Organizational Dependencies and Coordination Mechanisms. *Working Paper Series*, Article 174. <https://ideas.repec.org/p/wop/mitccs/174.html>
- Crozier, M. (1968). Le problème de l'innovation dans les organisations économiques. *Sociologie du travail*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.3406/sotra.1968.1375>
- Crozier, M. (1989). L'Etat modeste, une grande ambition. *Politiques et Management Public*, 7(2), 1-13. <https://doi.org/10.3406/pomap.1989.2883>
- Cuba Segura, J., & Lebègue, É. (2015). *Conduire un projet de construction à l'aide du BIM.*
- Cugini, U., Cascini, G., & Ugolotti, M. (2007). Enhancing interoperability in the design process, the PROSIT approach. In N. León-Rovira (Éd.), *Trends in Computer Aided Innovation* (p. 189-199). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75456-7_19
- Dahanayake, K. C., & Sumanarathna, N. (2021). IoT-BIM-based digital transformation in facilities management : A conceptual model. *Journal of Facilities Management*, 20(3), 437-451. <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2020-0076>
- Dainty, A., Leiringer, R., Fernie, S., & Harty, C. (2017). BIM and the small construction firm : A critical perspective. *Building Research & Information*, 45(6), 696-709. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1293940>
- Dakhil, A. J., Underwood, J., & Alshaw, M. (2019). Critical success competencies for the BIM implementation process : UK construction clients. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 24, 80-94. https://doi.org/10.2019_05-ITcon-Dakhil.pdf
- Dall'O', G., Zichi, A., & Torri, M. (2020). Green BIM and CIM : Sustainable Planning Using Building Information Modelling. In G. Dall'O' (Éd.), *Green Planning for Cities and Communities : Novel Incisive Approaches to Sustainability* (p. 383-409). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_17

- D'Amico, F., Calvi, A., Schiattarella, E., Prete, M. D., & Veraldi, V. (2020). BIM And GIS Data Integration : A Novel Approach Of Technical/Environmental Decision-Making Process In Transport Infrastructure Design. *Transportation Research Procedia*, 45, 803-810. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.090>
- Dantas, H. S., Sousa, J. M. M. S., & Melo, H. C. (2019). The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>
- Dao, L., & Forgues, D. (2013). *Transformer la gestion des équipements avec le BIM : Une étude de cas*. 2, 1388-1396. <https://espace2.etsmtl.ca/id/eprint/17212/>
- Darabseh, M., & Martins, J. (2021). *Protecting BIM Design Intellectual Property with Blockchain : Review and Framework*.
- Dardot, P., & Laval, C. (2010). Néolibéralisme et subjectivation capitaliste. *Cités*, 41(1), 35-50. <https://doi.org/10.3917/cite.041.0035>
- Das, M., Cheng, J. C. P., & Shiv Kumar, S. (2014). *BIMCloud : A Distributed Cloud-Based Social BIM Framework for Project Collaboration*. 41-48. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.006>
- De Gaetani, C. I., Mert, M., & Migliaccio, F. (2020). Interoperability Analyses of BIM Platforms for Construction Management. *Applied Sciences*, 10(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/app10134437>
- De Vaujany, F. (1999). Stylisation de l'appropriation individuelle des technologies Internet à partir de la TSA. *Systèmes d'Information et Management (French Journal of Management Information Systems)*, 4(1), 57-74.
- Deamer, P., & Bernstein, P. G. (2011). *BIM in Academia*. Yale School of Architecture.
- de Boissieu, A. (2021). Architecture et pratiques orientées sur les données : Pour un décroisement du BIM et du design computationnel. 9782390611424.
- Delcambre, B. (2014). Mission numérique bâtiment. *Repéré sur le site du Ministère du logement et de l'égalité des territoires et de la ruralité*.
- Demoulin, J., & Tribout, S. (2014). Construire des espaces de réflexivité pour analyser et transformer les pratiques professionnelles : Un travail de légitimation. *Interrogations?* <https://shs.hal.science/halshs-01578591>
- Denzin, N. K. (1978). Triangulation : A case for methodological evaluation and combination. *Sociological methods*, 339-357.
- Desbois, D. (1999). Castells Manuel, La société en réseaux. L'ère de l'information. Tome 1. *Revue française de sociologie*, 40(4), 773-776.
- Descolonges, M. (1996). *Qu'est-ce qu'un métier ?* FeniXX.
- Deshpande, A., Azhar, S., & Amireddy, S. (2014). A Framework for a BIM-based Knowledge Management System. *Procedia Engineering*, 85, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.535>
- Desmarais, C., & Chatillon, E. A. de. (2010). The managers' role of translation : Between allegiance and resistance. *Revue française de gestion*, 205(6), 71-88.
- D'Este, P., Iammarino, S., Savona, M., & von Tunzelmann, N. (2012). What hampers innovation? Revealed barriers versus deterring barriers. *Research Policy*, 41(2), 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.09.008>

- Dias, A. J., & Oliveira, J. P. L. de. (2021). CIM in the context of smart cities : How the interoperability between BIM and SIG can assist the development of smart cities. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 9(70), Article 70. <https://doi.org/10.17271/2318847297020212811>
- Ding, Z., Zuo, J., Wu, J., & Wang, J. (2015). Key factors for the BIM adoption by architects : A China study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(6), 732-748. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2015-0053>
- Dinis, F. M., Poças Martins, J., Guimarães, A. S., & Rangel, B. (2022). BIM and Semantic Enrichment Methods and Applications : A Review of Recent Developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(2), 879-895. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09595-6>
- Dixit, M. K., Culp, C. H., Fernandez-Solis, J. L., & Lavy, S. (2016). Reducing carbon footprint of facilities using a facility management approach. *Facilities*, 34(3/4), 247-259. <https://doi.org/10.1108/F-11-2014-0091>
- Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F., & Lavy, S. (2019). Integration of facility management and building information modeling (BIM): A review of key issues and challenges. *Facilities*, 37(7/8), 455-483. <https://doi.org/10.1108/F-03-2018-0043>
- Dong, B., O'Neill, Z., & Li, Z. (2014). A BIM-enabled information infrastructure for building energy Fault Detection and Diagnostics. *Automation in Construction*, 44, 197-211. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.007>
- dos Santos Paulino, V., & Tahri, N. (2014). Les obstacles à l'innovation en France : Analyse et recommandations. *Management & Avenir*, 69(3), 70-88. <https://doi.org/10.3917/mav.069.0070>
- Dougherty, D. (1992). Interpretive Barriers to Successful Product Innovation in Large Firms. *Organization Science*, 3(2), 179-202. <https://doi.org/10.1287/orsc.3.2.179>
- Drozdown, N. (1998). What Is Continuity? *Family Business Review*, 11(4), 337-347. <https://doi.org/10.1111/j.1741-6248.1998.00337.x>
- Dubar, C., Tripier, P., & Boussard, V. (1998). *Sociologie des professions*. Armand Colin.
- Dulaurans, M. (2012). Une recherche dans l'action : Le cas d'une CIFRE en collectivité territoriale. *Communication et organisation. Revue scientifique francophone en Communication organisationnelle*, 41, Article 41. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.3813>
- Dupuis, M., April, A., Lesage, P., & Forgues, D. (2017). Method to Enable LCA Analysis through Each Level of Development of a BIM Model. *Procedia Engineering*, 196, 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.017>
- Dupuy, C., Leroux, I., & Wallet, F. (2003). Conflits, négociation et gouvernance territoriale. *Droit et société*, 54(2), 377-396. <https://doi.org/10.3917/drs.054.0377>
- Durdyev, S., Ashour, M., Connelly, S., & Mahdiyar, A. (2022). Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management. *Journal of Building Engineering*, 46, 103736. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103736>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013a). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle : An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>

- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013b). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle : An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- Eadie, R., McLernon, T., & Patton, A. (2015). An investigation into the legal issues relating to Building Information Modelling (BIM) : RICS COBRA AUBEA 2015. *Unknown Host Publication*.
- Eastman, C. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*, 63.
- Eastman, C., Lee, J., Jeong, Y., & Lee, J. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 18(8), 1011-1033. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>
- Eastman, C. M. (1980a). Information and databases in design : A survey of uses and issues in building design. *Design Studies*, 1(3), 146-152. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(80\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0142-694X(80)90021-6)
- Eastman, C. M. (1980b). System facilities for CAD databases. *Proceedings of the 17th Design Automation Conference*, 50-56. <https://doi.org/10.1145/800139.804511>
- Eastman, C. M. (1999). *Building Product Models : Computer Environments Supporting Design and Construction*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315138671>
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons.
- Edirisinghe, R., & Woo, J. (2020). BIM-based performance monitoring for smart building management. *Facilities*, 39(1/2), 19-35. <https://doi.org/10.1108/F-11-2019-0120>
- Ekholm, A. (2005). ISO 12006-2 and IFC – prerequisites for coordination of standards for classification and interoperability. *Journal of Information Technology in Construction*, 10(2005/19), 275-289.
- Ekholm, A., & Häggström, L. (2011). *BUILDING CLASSIFICATION FOR BIM – RECONSIDERING THE FRAMEWORK*. CIB W78-W102 2011: International Conference. <http://lup.lub.lu.se/record/2201252>
- Eleftheriadis, S., Mumovic, D., & Greening, P. (2017). Life cycle energy efficiency in building structures : A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 811-825. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028>
- El-Gohary, N. M., & El-Diraby, T. E. (2010). Domain Ontology for Processes in Infrastructure and Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(7), 730-744. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000178](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000178)
- Escudié, M.-P. (2019). Conviction et responsabilité chez l'ingénieur : Deux éthiques en contradiction? *ASLC 2016*, 173.
- Euben, C., & Boeykens, S. (2018). *Le protocole BIM belge, Protocole de référence national pour les bâtiments, Version 2, octobre 2018*. <https://lirias.kuleuven.be/2341161>
- Evette, T. (2001). *Interprofessionnalité et action collective dans les métiers de la conception*.
- Evette, T. (2001). L'interprofessionnalité ? Un point de vue. *Cahiers RAMAU. Revue du Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme*, 2, 9-13.
- Eyrolles, C., & Roxin, A. (2022). *Nouvelles perspectives du BIM : Le jumeau numérique de la construction intelligente (smart building)*. Editions Eyrolles.

- Fang, Z., Liu, Y., Lu, Q., Pitt, M., Hanna, S., & Tian, Z. (2022). BIM-integrated portfolio-based strategic asset data quality management. *Automation in Construction*, 134, 104070. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104070>
- Farias, F. (2013). *Contemporary Strategies for Sustainable Design* [Thesis]. <https://tdl-ir.tdl.org/handle/1969.1/149379>
- Fenker, M. (2017). L'espace comme enjeu de gestion. Éléments pour un élargissement du questionnement sur la ville durable. *Cahiers RAMAU. Revue du Réseau activités et métiers de l'architecture et de l'urbanisme*, 8, 28-46.
- Fenker, M., & Grudet, I. (Éds.). (2022). *La fabrique de la ville en transition*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3561-2>
- Fenker, M., Grudet, I., & Zetlaoui-Léger, J. (Éds.). (2022). *La fabrique de la ville en transition*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3561-2>
- Fernandez, T., Diaz, C., & Stöffler, S. (2020). Smart Cities for Smarter Citizens : Participatory Planning in Housing Renovation using 3D BIM Tools: the Case of Eckart Vaartbroek. *SHAPING URBAN CHANGE – Livable City Regions for the 21st Century. Proceedings of REAL CORP 2020, 25th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society*, 761-766.
- Ferret, O. (2004). Découvrir des sens de mots à partir d'un réseau de cooccurrences lexicales. *Actes de la 11ème conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles. Articles longs*, 41-50. <https://aclanthology.org/2004.jeptalnrecital-long.5>
- Ferries, B., & al. (1991). *Synthèse des modèles conceptuels développés dans le cadre de la recherche bâtiment en France* (GSD). Plan Construction et architecture.
- Ferries, B., & de Boissieu, A. (2018, mai). *Pour une interopérabilité dynamique*. eduBIM. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/265375>
- Ferries, B., Meilhat, V., Pelegrin, F., & Couillet, A. (1985). Définition et validation d'un système de gestion de base de données spécifique au projet de conception-réalisation du projet architectural. *CAOMIP, Toulouse*.
- Figl, H., Ilg, M., & Battisti, K. (2019). 6D BIM–Terminal: Missing Link for the design of CO₂-neutral buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012104>
- Finstad, K. (2010). Response interpolation and scale sensitivity : Evidence against 5-point scales. *Journal of Usability Studies*, 5(3), 104-110.
- Flichy, P. (2003). Technologie et lien social. *colloque national de Paris : POUR UNE REFONDATION DES ENSEIGNEMENTS DE COMMUNICATION DES ORGANISATIONS*.
- Flichy, P. (2017). *L'innovation technique : Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation*. La Découverte.
- Forge, S. (2007). Powering down : Remedies for unsustainable ICT. *Foresight*, 9(4), 3-21. <https://doi.org/10.1108/14636680710773795>
- Forgues, D., Chiocchio, F., Lavallée, A., & Laberge, V. (2017). Performance de la conception intégrée et intégration des technologies de l'information dans un contexte de travail multidisciplinaire : Une étude exploratoire. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(2), 129-137. <https://doi.org/10.1139/cjce-2011-0486>

- Forgues, E.-C., Carignan, V., Forgues, D., & Rajeb, S. B. (2016). A Framework for Improving Collaboration Patterns in BIM Projects. In Y. Luo (Éd.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* (p. 34-42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46771-9_5
- Fornerino, M., & Godener, A. (2006). Être contrôleur de gestion en France aujourd'hui : Conseiller, adapter les outils,... et surveiller. *Revue Finance Contrôle Stratégie*, 9, 187-208.
- Fox, S. (2014). Getting real about BIM : Critical realist descriptions as an alternative to the naïve framing and multiple fallacies of hype. *International Journal of Managing Projects in Business*, 7(3), 405-422. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-12-2013-0073>
- François, J., & Fowler, É. (2022). La continuité dans les milieux d'enseignement universitaire : Explorer le potentiel du Centre de médecine de famille du CMFC. *Canadian Family Physician Medecin De Famille Canadien*, 68(1), e18-e21. <https://doi.org/10.46747/cfp.6801e18>
- Freeman, L. (2004). *The Development of Social Network Analysis*.
- Fregier, M. (1983). *Etude sur la représentation des composantes morphologiques de données du projet architectural dans un contexte de C.A.O* (Plan Construction INPROBAT).
- Freund, J. (1983). *Sociologie du conflit*. FeniXX.
- Frontczak, M., Andersen, R. V., & Wargocki, P. (2012). Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment*, 50, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.012>
- Gabay, J. (2014). *Maîtrise d'ouvrage des projets informatiques - 3e éd. : Guide pour le chef de projet MOA*. Dunod.
- Gabro, J. (2014). *iBIM–integrated Building Information Modeling. An Integrated BIM Team in the Design Phase*. [Master's Thesis].
- Gaglio, G. (2012). Du lien entre l'analyse sociologique de l'innovation et la sociologie : Une lecture simmelienne. *Cahiers de recherche sociologique*, 49. <https://doi.org/10.7202/1023191ar>
- Ganah, A., & Lea, G. (2021). A GLOBAL ANALYSIS OF BIM STANDARDS ACROSS THE GLOBE : A CRITICAL REVIEW. *Journal Of Project Management Practice (JPMP)*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.22452/jpmp.vol1no1.4>
- Garel, G. (2003). Pour une histoire de la gestion de projet. *Gérer et comprendre*, 1(74), 77-89.
- Garreau, L. (2010). *Apport du concept de sens à l'étude du fonctionnement d'équipes projet. Études de cas de développement de centres commerciaux chez Immochan*. Editions universitaires européennes. <https://basepub.dauphine.psl.eu/handle/123456789/7492>
- Georgiadou, M. C. (2019). An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. *Construction Innovation*, 19(3), 298-320. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0030>
- Gerhardt, U. (2008). Modernité et sociologie. *Sociétés*, 3, 35-47.
- Gerrard, A., Zuo, J., Zillante, G., & Skitmore, M. (2010). *Building information modeling in the Australian architecture engineering and construction industry*. IGI Global. <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/84296>
- Giel, B. K., & Issa, R. R. A. (2013). Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 511-521. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000164](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000164)

- Gilligan, B., & Kunz, J. (2007). VDC use in 2007 : Significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity. *TR171*.
- Gless, H.-J. (2019). *Vers une conception architecturale BIM-agile : Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une meilleure appropriation de la technologie BIM* [Phdthesis, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02157569>
- Gnaedinger, J., Freller, S., Schaller, J., Reith, L., Seifert, H., Mattos, C., & Ertac, O. (2018). *Integrated 3d-Gis in Urban and Landscape Planning*. 51-56. <https://doi.org/10.25680/4771.2018.89.32.356>
- Göçer, Ö., Hua, Y., & Göçer, K. (2015). Completing the missing link in building design process : Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance. *Building and Environment*, 89, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.011>
- Godier, P., Tapie, G., Lacroix, G., & Matthey, L. (2019). Ramau et la fabrique de la ville : Trois regards sur la coopération interprofessionnelle et ses évolutions. *Cahiers Ramau*, 10, 42.
- Goh, Y. M., Love, P. E. D., Brown, H., & Spickett, J. (2012). Organizational Accidents : A Systemic Model of Production versus Protection. *Journal of Management Studies*, 49(1), 52-76. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2010.00959.x>
- González, J., Soares, C. A. P., Najjar, M., & Haddad, A. N. (2021). BIM and BEM Methodologies Integration in Energy-Efficient Buildings Using Experimental Design. *Buildings*, 11(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/buildings11100491>
- Gooch, D., Wolff, A., Kortuem, G., & Brown, R. (2015). Reimagining the role of citizens in smart city projects. *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 1587-1594. <https://doi.org/10.1145/2800835.2801622>
- Goode, W. J. (1957). Community Within a Community : The Professions. *American Sociological Review*, 22(2), 194-200. <https://doi.org/10.2307/2088857>
- Goulette, J., Légglise, M., & Pérez, M. (1988). Le poste architecte : Spécifications, session d'utilisation, présentation de la maquette et documentation in Krépis, Rapport final de recherche, Toulouse, CAOMIP, Rapport final d'une recherche financée par le Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports dans le cadre du programme IN. *PRO. BAT., juin*.
- Granjon, F. (2011). Fracture numérique. *Communications*, 88(1), 67-74. <https://doi.org/10.3917/commu.088.0067>
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 19(5), 522-530. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>
- Grosbois, M. (2009). Entre créativité et contraintes. Apports et limites des TIC. *Synergies Europe*, 4, 133.
- Grzegorzewska, M., & Kirschke, P. (2021). The Impact of Certification Systems for Architectural Solutions in Green Office Buildings in the Perspective of Occupant Well-Being. *Buildings*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/buildings11120659>
- Gu, N., & London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*, 19(8), 988-999. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Guéna, F., & Leininger, J. (1986). X2A: Pour un système de conception assistée par ordinateur en avant projet sommaire de bâtiment. *Dire Plan Construction, INPROBAT*.

- Guéneau, J. (2019). Le métier d'architecte et le BIM. Nouvelles répartitions des tâches et des responsabilités dans les métiers de la création. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*. <https://doi.org/10.4000/tc.10327>
- Gulati, R., Wohlgezogen, F., & Zhelyazkov, P. (2012). The Two Facets of Collaboration : Cooperation and Coordination in Strategic Alliances. *Academy of Management Annals*, 6(1), 531-583. <https://doi.org/10.5465/19416520.2012.691646>
- Gupta, S., Kumar, V., & Karam, E. (2020). New-age technologies-driven social innovation : What, how, where, and why? *Industrial Marketing Management*, 89, 499-516. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.09.009>
- Gupta, S., Malhotra, N. K., Czinkota, M., & Foroudi, P. (2016). Marketing innovation : A consequence of competitiveness. *Journal of Business Research*, 69(12), 5671-5681. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.02.042>
- Haëntjens, J., & Lemoine, S. (2015). *L'éco-urbanisme : Défis planétaires, solutions urbaines*. Les Editions Ecosociété.
- Hajnal, I. (2014). *TEACHING FACILITY MANAGEMENT*.
- Hall, B., & Lerner, J. (2010). *The financing of R&D and innovation*. <https://collections.unu.edu/view/UNU:33>
- Halmetoja, E., & Lepkova, N. (2022). Utilising Building Information Models in Facility Maintenance and Operations. *Teknik Dergi*, 33(5), Article 5. <https://doi.org/10.18400/tekderg.748397>
- Hamani, D. O. (2005). *Un système d'information pour le bâtiment—Elaboration d'un modèle conceptuel de données pour les ouvrages façonnés en place issus de la production de bâtiment* [These de doctorat, Aix-Marseille 3]. <https://www.theses.fr/2005AIX30035>
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D. D., & Pomponi, F. (2019). Barriers and drivers in a circular economy : The case of the built environment. *Procedia CIRP*, 80, 619-624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Haynes, B. P. (2008). The impact of office comfort on productivity. *Journal of Facilities Management*, 6(1), 37-51. <https://doi.org/10.1108/14725960810847459>
- Hellec, F. (2014). Le rapport au terrain dans une thèse CIFRE. Du désenchantement à la distanciation. *Sociologies pratiques*, 28(1), 101-109. <https://doi.org/10.3917/sopr.028.0101>
- Hitchcock, R. J., & Wong, J. (2011). *Transforming IFC architectural view BIMs for energy simulation*.
- Hochscheid, É., & Halin, G. (2018). L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. *SHS Web of Conferences*, 47, 01009. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701009>
- Hochscheid, E., & Halin, G. (2020). Les agences d'architecture françaises à l'ère du BIM : Contradictions, pratiques, réactions et perspectives. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*, 9|10, Article 9, 10. <https://doi.org/10.4000/craup.6201>
- Holzer, D. (2015). *The BIM manager's Handbook, Part 2 : Change Management*. John Wiley & Sons.
- Honic, M., Kovacic, I., Aschenbrenner, P., & Ragossnig, A. (2021). Material Passports for the end-of-life stage of buildings : Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128702. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>
- Hosseini, M. R., Roelvink, R., Papadonikolaki, E., Edwards, D. J., & Pärn, E. (2018). Integrating BIM into facility management : Typology matrix of information handover requirements. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 36(1), 2-14. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-08-2017-0034>

- Hosseini, Mr., Banihashemi, S., Chileshe, N., Namzadi, M. O., Udaaja, C., Rameezdeen, R., & McCuen, T. (2016). BIM adoption within Australian Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) : An innovation diffusion model. *Construction Economics and Building*. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/INFORMIT.318901747309690>
- Ignatov, I. I., & Gade, P. N. (2019). Data forming and visualization of BIM and sensor data in building management systems. *Proceedings of the 19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2019)*, 141-151. <https://www.ucviden.dk/en/publications/dataformatering-og-visualisering-af-bim-og-sensordata-i-bygningss>
- Ilozor, B. D., & Kelly, D. J. (2012). Building information modeling and integrated project delivery in the commercial construction industry : A conceptual study. *Journal of engineering, project, and production management*, 2(1), 23-36.
- Irfan, M., Elavarasan, R. M., Hao, Y., Feng, M., & Sailan, D. (2021). An assessment of consumers' willingness to utilize solar energy in China : End-users' perspective. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126008. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126008>
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31, 241-254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005>
- Ismail, Z.-A., & Motawa, I. (2019). Integrating CMMS, expert systems and BIM for IBS building maintenance : Association of Researchers in Construction Management. *Association of Researchers in Construction Management (ARCOM)*, 245-254.
- ISO. (2007). *ISO 12006-3 : 2007 : Building construction—organization of information about construction works—part 3 : Framework for object-oriented information*. ISO Geneva, Switzerland.
- ISO, B. (2018). *ISO 19650-2 : 2018. Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modeling (BIM)-Information Management using Building Information Modeling. Part, 2.*
- ISO, B. (2019). *19650-1 : 2018 : Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)–Information management using building information modelling–Part 1 : Concepts and principles. BSI Standards Limited.*
- Itoua, J. (2016). LES ENJEUX DE LA REFORME LMD EN FRANCE. *Annale des Lettres et Sciences Humaines*, 11(1), Article 1. <http://www.annalesumng.org/index.php/lsh/article/view/154>
- Jackson, P. (2017). Infrastructure asset managers BIM requirements. *Report No TR*.
- Jang, K., Kim, J.-W., Ju, K.-B., & An, Y.-K. (2021). Infrastructure BIM Platform for Lifecycle Management. *Applied Sciences*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/app112110310>
- Jaskula, K., Kifokeris, D. D., Papadonikolaki, D. E., & Rovas, D. (2022). *Common Data Environments in construction : State-of-the-art and challenges for practical implementation* (SSRN Scholarly Paper N° 4249458). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4249458>
- Jaud, Š., Donaubaauer, A., Heunecke, O., & Borrmann, A. (2020). Georeferencing in the context of building information modelling. *Automation in Construction*, 118, 103211. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103211>
- Jawdeh, H. B., Abudul-Malak, M. A., & Wood, G. (2010). *Altering Design Decisions to Better Suit Facilities Management Processes*. <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/94095>

- Jiang, Y., Ming, J., Wu, D., Yen, J., Mitra, P., Messner, J. I., & Leicht, R. (2012). BIM server requirements to support the energy efficient building lifecycle : 2012 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering. *Computing in Civil Engineering - Proceedings of the 2012 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*, 365-372. <https://doi.org/10.1061/9780784412343.0046>
- Jin, R., Hancock, C. M., Tang, L., & Wanatowski, D. (2017). BIM Investment, Returns, and Risks in China's AEC Industries. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(12), Article 12. <https://eprints.whiterose.ac.uk/123946/>
- Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., & Ding, L. (2019). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Automation in Construction*, 106, 102861. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102861>
- Jin, Y., Joblot, L., Lou, R., & Merienne, F. (2020). Utilisation du BIM dans une application RV à des fins de maintenance d'un bâtiment. *eCONFERE*, 1-9. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02988563>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. (2015). Likert Scale : Explored and Explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7, 396-403. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- Jouët, J. (2000). Retour critique sur la sociologie des usages. *Réseaux. Communication - Technologie - Société*, 18(100), 487-521. <https://doi.org/10.3406/reso.2000.2235>
- Jung, N., Häkkinen, T., & Rekola, M. (2018). Extending capabilities of BIM to support performance based design. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 23(2), 16-52.
- Kalantari, S., Shepley, M. M., Rybkowski, Z. K., & Bryant, J. (2017). Designing for operational efficiency : Facility managers' perspectives on how their knowledge can be better incorporated during design. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(6), 457-478. <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1348333>
- Kang, T. W., & Hong, C. H. (2015). A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. *Automation in Construction*, 54, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.019>
- Kassem, M. (2015). BIM in facilities management applications : A case study of a large university complex. *Built Environment Project and Asset Management*, 5. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>
- Katranuschkov, P., Scherer, R., Weise, M., & Liebich, T. (2014). Extending BIM for energy simulation and design tasks. In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (p. 625-632).
- Kavrov, D. (2015). Comparative Analysis of Asset vs. Facility Management—Contemporary Roles and Functions. *UKN: Dayan Kavrov. Retrieved March, 3, 2021.*
- Kelan, E. K. (2007). 'I don't know why'—Accounting for the scarcity of women in ICT work. *Women's Studies International Forum*, 30(6), 499-511. <https://doi.org/10.1016/j.wsif.2007.09.003>
- Kelly, D., & Ilozor, B. (2020). Performance outcome assessment of the integrated project delivery (IPD) method for commercial construction projects in USA. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1-9. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1827340>
- Kelly, G., Serginson, M., Lockley, S., Dawood, N., & Kassem, M. (2013). *BIM for facility management : A review and a case study investigating the value and challenges: 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality.* <http://www.convr2013.com/>

- Kensek, K. (2015). BIM Guidelines Inform Facilities Management Databases : A Case Study over Time. *Buildings*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/buildings5030899>
- Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2012). Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(6), 610-635. <https://doi.org/10.1108/09699981211277531>
- Kim, H., Shen, Z., Kim, I., Kim, K., Stumpf, A., & Yu, J. (2016). BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information. *Automation in Construction*, 68, 183-193. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.002>
- Kivits, R. A., & Furneaux, C. (2013). BIM : Enabling Sustainability and Asset Management through Knowledge Management. *The Scientific World Journal*, 2013, e983721. <https://doi.org/10.1155/2013/983721>
- Kiyak, E. (2012). The effects of aircraft preventive maintenance on reliability. *International journal of applied mathematics and informatics*, 6(1), 9-16.
- Klein, J.-L., Camus, A., Jetté, C., Champagne, C., & Roy, M. (2016). *La transformation sociale par l'innovation sociale*. PUQ.
- Klein, J.-L., & Harrisson, D. (2006). *L' Innovation Sociale : Émergence et Effets Sur la Transformation des Sociétés*. PUQ.
- Kong, S. K., & Ho, M. Q. (2022). Barriers of Applying Building Information Modelling (BIM) According to BIM ISO. *INTI JOURNAL*, 2022(11), Article 11.
- Kota, S., Haberl, J. S., Clayton, M. J., & Yan, W. (2014). Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy and Buildings*, 81, 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.043>
- Kouider, T., Sykes, P., & Hamma-adama, M. (2019). *BIM manager, coordinator, consultant, analyst..., what does a confused AEC industry need?* <https://rgu-repository.worktribe.com/output/824420>;
- Kovacic, I., Honic, M., & Rechberger, H. (2019). Proof of Concept for a BIM-Based Material Passport. In I. Mutis & T. Hartmann (Éds.), *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering* (p. 741-747). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_89
- Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). The uses of BIM. *Classifying and Selecting BIM*, Pennsylvania State University (9th version).
- Kula, B., & Ergen, E. (2021). Implementation of a BIM-FM Platform at an International Airport Project : Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(4), 05021002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002025](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002025)
- Kumar, K., & van Dissel, H. G. (1996). Sustainable Collaboration : Managing Conflict and Cooperation in Interorganizational Systems. *MIS Quarterly*, 20(3), 279-300. <https://doi.org/10.2307/249657>
- Kutaiba, A., & Kwok Chuen, L. (2020). *Research on Bridging the Information Gap of BIM of interoperability and integration in Facilities Management*. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/302179>
- Kuyatt, A. (2011). Managing for innovation : Reducing the fear of failure. *Journal of Strategic Leadership*, 3(2), 31-40.
- La Treille, G. (1980). La naissance des métiers en France, 1950-75. *Étude psycho sociale*, Lyon, Presses Universitaires de Lyon.
- Laakso, M., & Kiviniemi, A. O. (2012). The IFC standard : A review of History, development, and standardization, Information Technology. *ITcon*, 17(9), Article 9.

- Lacombe, E. (2020). *Visible et invisible dans la transformation numérique, l'éclairage des graines d'information*.
- Lagesen, V. A., Pettersen, I., & Berg, L. (2022). Inclusion of women to ICT engineering – lessons learned. *European Journal of Engineering Education*, 47(3), 467-482. <https://doi.org/10.1080/03043797.2021.1983774>
- Lai, J. H. K., & Man, C. S. (2017). Developing a performance evaluation scheme for engineering facilities in commercial buildings : State-of-the-art review. *International Journal of Strategic Property Management*, 21(1), 41-57. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2016.1247304>
- Lai, J. H. K., & Yik, F. W. H. (2007). Perceived Importance of the Quality of the Indoor Environment in Commercial Buildings. *Indoor and Built Environment*, 16(4), 311-321. <https://doi.org/10.1177/1420326X07080463>
- Lamirand, G. (1954). *Le rôle social de l'ingénieur : Scènes de la vie d'usine*. FeniXX.
- Lange, B. (2012). *Visualisation interactive de données hétérogènes pour l'amélioration des dépenses énergétiques du bâtiment* [Theses, Université Montpellier 2]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01108347>
- Lasnier, G. (2007). Le lean-manufacturing. (Système de production à haute performance) dans les industries travaillant en juste-à-temps avec flux régulés par takt-time (rythme de la consommation du client). *La Revue des Sciences de Gestion*, 223(1), 99-107. <https://doi.org/10.3917/rsg.223.0099>
- Lasserre, S. (2003). *Un système d'information pour le bâtiment : Approche métier* [These de doctorat, Aix-Marseille 3]. <https://www.theses.fr/2003AIX30045>
- Lasserre, S., & Ameziane, F. (2005). Dynamic adaptation of user interfaces to enhance information management of a building construction project. *International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV'05)*, 391-396. <https://doi.org/10.1109/CGIV.2005.34>
- Laszczuk, A., & Garreau, L. (2018). Le journal de bord sibyllique. *Finance Contrôle Stratégie*, 21-3, Article 21-3. <https://doi.org/10.4000/fcs.2773>
- Latiffi, A. A., Brahim, J., & Fathi, M. S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. *Applied Mechanics and Materials*, 567, 625-630. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.567.625>
- Latortue, X., Cluzel, F., Yannou, B., Leroy, Y., Gobin, C., François, C., & Frédérique, D.-J. (2020). *Les chantiers de l'éco-conception*. Presses des Mines. <https://hal.science/hal-02489378>
- Law, K. K. (2014). The problem with knowledge ambiguity. *European Management Journal*, 32(3), 444-450. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2013.07.010>
- Le Roy, F., Robert, M., & Lasch, F. (2013). Coopérer avec ses amis ou avec ses ennemis. Quelle stratégie pour l'innovation produit ? *Revue française de gestion*, 232(3), 81-100. <https://doi.org/10.3166/RFG.232.81-100>
- Leblanc, J.-M., & Martinez, W. (2006). L'analyse contrastive des réseaux de cooccurrence. *Le 'monde' dans les discours des présidents de la cinquième République. 8es Journées d'Analyse Statistique des Données Textuelles, Besançon*.
- Leclercq, R., & Magnaval, G. (2022, juin 27). *Intelligence Artificielle & Génie Civil : Enjeux et cas d'usages*. Conférence Nationale en Intelligence Artificielle 2022 (CNIA 2022). <https://hal.science/hal-03866264>
- Ledrut, R. (1979). *Sociologie urbaine*. FeniXX.
- Léger, J.-M. (1990). *Derniers domiciles connus : Enquête sur les nouveaux logements, 1970-1990*. creaphis editions.

- Legros, M. (2014). Thèses en Cifre. *Informations sociales*, 186(6), 126-126.
- Levan, S. K. (2016). *Management et collaboration BIM : Management, organisation, processus et travail collaboratif en mode projet BIM*. Editions Eyrolles.
- Lévy, J. (1997). De territoires et de réseaux. *Quaderni*, 31(1), 135-139. <https://doi.org/10.3406/quad.1997.1180>
- Levy, R. (2005). Les doctorants CIFRE : Médiateurs entre laboratoires de recherche universitaires et entreprises. *Revue d'économie industrielle*, 111(1), 79-96. <https://doi.org/10.3406/rei.2005.3083>
- Lewis, G. A. (2013). Role of Standards in Cloud-Computing Interoperability. *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1652-1661. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.470>
- Leyrie, C., & Boivin, S. (2017). Gestion de projet et co-construction : Utopie ou voie du succès ? Une réflexion exploratoire. *Revue Organisations & territoires*, 26(1-2), 117-129. <https://doi.org/10.1522/revueot.v26i1-2.202>
- Lheureux, C. (2017). *BIM pour le maître d'ouvrage*. Eyrolles.
- Li, J., Yin, G., Wang, X., & Yan, W. (2022). Automated decision making in highway pavement preventive maintenance based on deep learning. *Automation in Construction*, 135, 104111. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104111>
- Lienhard, A. (2006). Les Partenariats Public Privé (PPP) en Suisse. Expériences, risques et possibilités. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, 72(4), 587-604. <https://doi.org/10.3917/risa.724.0587>
- Lindblad, H. (2019). Black boxing BIM : The public client's strategy in BIM implementation. *Construction Management and Economics*, 37(1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1472385>
- Litterer, J. A. (1966). Conflict in Organization : A Re-Examination. *The Academy of Management Journal*, 9(3), 178-186. <https://doi.org/10.2307/255117>
- Litwak, E., & Hylton, L. F. (1962). Interorganizational Analysis : A Hypothesis on Co-ordinating Agencies. *Administrative Science Quarterly*, 6(4), 395-420. <https://doi.org/10.2307/2390723>
- Liu, Lu, & Peh, L. (2019). A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Buildings*, 9, 210. <https://doi.org/10.3390/buildings9100210>
- Liu, S., Xie, B., Tivendale, L., & Liu, C. (2015). *Critical barriers to BIM implementation in the AEC industry*. <https://doi.org/10.5539/ijms.v7n6p162>
- Losev, K. Y. (2020). The common data environment features from the building life cycle perspective. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 913(4), 042012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/4/042012>
- Love, P. E. D., Edwards, D. J., Han, S., & Goh, Y. M. (2011). Design error reduction : Toward the effective utilization of building information modeling. *Research in Engineering Design*, 22(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s00163-011-0105-x>
- Luongo, S., & À Fin. (2020). *Amélioration des critères de performance des bâtiments durables par l'intégration des services écosystémiques*. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/10065>
- Lützkendorf, T., & Lorenz, D. P. (2006). Using an integrated performance approach in building assessment tools. *Building Research & Information*, 34(4), 334-356. <https://doi.org/10.1080/09613210600672914>

- Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and GIS : An Overview. *Procedia Engineering*, 196, 1072-1079. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064>
- Macarulla, M., Forcada, N., Casals, M., Gangoellis, M., Fuertes, A., & Roca, X. (2013). Standardizing Housing Defects : Classification, Validation, and Benefits. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(8), 968-976. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000669](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000669)
- Malone, T., & Crowston, K. (2003). What Is Coordination Theory and How Can It Help Design Cooperative Systems. *Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sloan School of Management, Working papers*.
- Malone, T. W., & Crowston, K. (1994). The interdisciplinary study of coordination. *ACM Computing Surveys*, 26(1), 87-119. <https://doi.org/10.1145/174666.174668>
- Manderson, A., Jefferies, M., & Brewer, G. (2015). Building information modelling and standardised construction contracts : A content analysis of the GC21 contract. *Construction Economics and Building*, 15(3), 72-84. <https://doi.org/10.3316/informit.456362862471565>
- Mangematin, V. (2003). *Les doctorants entre production et transfert de connaissances : Le cas des sciences de la vie*. Economica.
- Mannino, A., Dejaco, M. C., & Re Cecconi, F. (2021). Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management—Literature Review and Future Needs. *Applied Sciences*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app11073062>
- Marin, P. (2020a). Néo-mécanisme et approche informationnelle, culture et architecture numériques. *SHS Web of Conferences*, 82, 04006. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208204006>
- Marin, P. (2020b). *Numérisation du réel, un regard sur le flux informationnel en architecture* [Thesis, Université de Lille]. <https://hal.science/tel-03153388>
- Marin, P., & Segura, J. A. C. (2014). *Outils, méthodes et acteurs : Analyse des limites à l'utilisation de la maquette numérique*. 6, 334. <https://hal.science/hal-02047679>
- Marmo, R., Nicoletta, M., Polverino, F., & Tibaut, A. (2019). A Methodology for a Performance Information Model to Support Facility Management. *Sustainability*, 11(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/su11247007>
- Marquès, S., & Teulier, R. (2020). *Le BIM et l'évolution des pratiques : Ingénierie et architecture, enseignement et recherche*. Editions Eyrolles.
- Martek, I., Hosseini, M. R., Shrestha, A., Edwards, D. J., Seaton, S., & Costin, G. (2019). End-user engagement : The missing link of sustainability transition for Australian residential buildings. *Journal of Cleaner Production*, 224, 697-708. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.277>
- Marzouk, M., Azab, S., & Metawie, M. (2018). BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production*, 188, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.280>
- Marzouk, M., & Othman, A. (2020). Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102120. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120>
- Matarneh, R., & Hamed, S. (2017). Barriers to the Adoption of Building Information Modeling in the Jordanian Building Industry. *Open Journal of Civil Engineering*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.4236/ojce.2017.73022>

- Medina, I. Q., Moreno, M. G., & Royo, E. R. (2011). BIM for urban scale and civic participation : How we have to adapt urban planning for a bottom up citizen participation system in the ICT age. *Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual (CTV)*. <https://doi.org/10.5821/ctv.7780>
- Mehran, D. (2016). Exploring the Adoption of BIM in the UAE Construction Industry for AEC Firms. *Procedia Engineering*, 145, 1110-1118. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.144>
- Meir, I. A., Garb, Y., Jiao, D., & Cicelsky, A. (2009). Post-Occupancy Evaluation : An Inevitable Step Toward Sustainability. *Advances in Building Energy Research*, 3(1), 189-219. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0307>
- Mellado, F., & Lou, E. C. W. (2020). Building information modelling, lean and sustainability : An integration framework to promote performance improvements in the construction industry. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102355. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- Menassa, C. C. (2021). *From BIM to digital twins : A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry*.
- Mendes de Farias, T., Roxin, A., & Nicolle, C. (2014). A Rule Based System for Semantical Enrichment of Building Information Exchange. In A. W. Theodore Patkos & A. Giurca (Éds.), *RuleML 2014: Vol. Vol-1211* (p. 2). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01068809>
- Menet, J.-L., & Gruescu, I. C. (2014). *L'éco-conception dans le bâtiment : En 37 fiches-outils*. Dunod.
- Mesa, H. A., Molenaar, K. R., & Alarcón, L. F. (2019). Comparative analysis between integrated project delivery and lean project delivery. *International Journal of Project Management*, 37(3), 395-409. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.012>
- Michaud, M., Forgues, E.-C., Carignan, V., Forgues, D., & Ouellet-Plamondon, C. (2019). A lean approach to optimize BIM information flow using value stream mapping. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 24, 472-488.
- Miczka, E. (2010). *Le role de l'enchainement rhématique dans la structure informationnelle de discours*. <https://rebus.us.edu.pl/handle/20.500.12128/15902>
- Midler, C. (1998). Évolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception. *Problèmes économiques*, 2.558, 000.
- Mintzberg, H. (1979). The structuring of organizations. Engle-wood Cliffs. J: *Prentice-Hall*.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.
- Mohanta, A., & Das, S. (2016). *BIM as facilities management tool a brief review*. <http://dl.lib.uom.lk/handle/123/12542>
- Mohnen, P., & Hall, B. H. (2013). Innovation and Productivity : An Update. *Eurasian Business Review*, 3(1), 47-65. <https://doi.org/10.14208/BF03353817>
- Mohnen, P., & Rosa, J. (2001). Les obstacles à l'innovation dans les industries de services au Canada. *L'Actualité économique*, 77(2), 231-254. <https://doi.org/10.7202/602351ar>
- Montenegro, N. (2012). *City Information Modelling : Parametric urban models including design support data*.
- Morand, D. (1994). *Liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments : PROJECTOR, un prototype pour la planification*. [Phdthesis, Université de Savoie]. <https://theses.hal.science/tel-00689988>

- Moreno, J. L. (1941). Foundations of Sociometry : An Introduction. *Sociometry*, 4(1), 15-35. <https://doi.org/10.2307/2785363>
- Morozov, E. (2013). *To save everything, click here : The folly of technological solutionism*. Public Affairs.
- Moser, K. (2004). *Performance based Methods for Service Life Prediction*:
- Motamedi, A., Iordanova, I., & Forgues, D. (2018). *FM-BIM preparation method and quality assessment measures*. 153-160. <http://programme.exordo.com/icccb2018/delegates/presentation/302/>
- Motawa, I. (2015, novembre 17). *BIM-Knowledge system for building operations : 13th International Operation and Maintenance Conference in Arab Countries*.
- Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in Construction*, 29, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.008>
- Motawa, I., & Carter, K. (2013). Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.015>
- Mounier, P. (2019). L'agencement thème-rhème à l'échelle de l'énoncé dans le roman vers 1530. *Verbum: revue de linguistique*, 41(2), 3.
- Mousa, M., Luo, X., & McCabe, B. (2016). Utilizing BIM and Carbon Estimating Methods for Meaningful Data Representation. *Procedia Engineering*, 145, 1242-1249. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.160>
- Munir, M., Kiviniemi, A., Jones, S., & Finnegan, S. (2020). BIM-based operational information requirements for asset owners. *Architectural Engineering and Design Management*, 16(2), 100-114. <https://doi.org/10.1080/17452007.2019.1706439>
- Murguia, D., Demian, P., & Soetanto, R. (2017). *A systemic BIM innovation model in the construction supply chain*.
- Nadis, S. (1996). Computation Cracks « Semantic Barriers » Between Databases. *Science*, 272(5267), 1419-1419. <https://doi.org/10.1126/science.272.5267.1419>
- Naghshbandi, S. N. (2016). BIM for Facility Management : Challenges and Research Gaps. *Civil Engineering Journal*, 2(12), Article 12. <https://doi.org/10.28991/cej-2016-00000067>
- Nagy, G., Lebègue, E., & Celnik, O. (2014). *BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Editions Eyrolles.
- Nakamura, S. (2009). *Overcoming the language barrier with speech translation technology*. NISTEP Science & Technology Foresight Center.
- Nam Nguyen, H., Anh Tran, H., Fowler, S., & Souihi, S. (2021). A survey of Blockchain technologies applied to software-defined networking: Research challenges and solutions. *IET Wireless Sensor Systems*, 11(6), 233-247. <https://doi.org/10.1049/wss2.12031>
- Nascimento, D. L. de M., Quelhas, O. L. G., Meiriño, M. J., Caiado, R. G. G., Barbosa, S. D. J., & Ivson, P. (2018). Facility Management using digital Obeya Room by integrating BIM-Lean approaches – an empirical study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(8), Article 8. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.5609>
- Naticchia, B., Corneli, A., & Carbonari, A. (2020). Framework based on building information modeling, mixed reality, and a cloud platform to support information flow in facility management. *Frontiers of Engineering Management*, 7(1), 131-141. <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0071-y>

- Nemeth, C. J. (1997). Managing Innovation : When Less is More. *California Management Review*, 40(1), 59-74. <https://doi.org/10.2307/41165922>
- Ni, C., Sugimoto, C., & Jiang, J. (2011). *Degree, Closeness, and Betweenness : Application of group centrality measurements to explore macro-disciplinary evolution diachronically*.
- Nicał, A. K., & Wodyński, W. (2016). Enhancing Facility Management through BIM 6D. *Procedia Engineering*, 164, 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.623>
- Nikas, A., Poulymenakou, A., & Kriaris, P. (2007). Investigating antecedents and drivers affecting the adoption of collaboration technologies in the construction industry. *Automation in Construction*, 16(5), 632-641. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.10.003>
- Novarina, G. (2000). *Conduite et négociation du projet d'urbanisme*. 51.
- Obrst, L., Ceusters, W., Mani, I., Ray, S., & Smith, B. (2007). The Evaluation of Ontologies. In C. J. O. Baker & K.-H. Cheung (Éds.), *Semantic Web : Revolutionizing Knowledge Discovery in the Life Sciences* (p. 139-158). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-48438-9_8
- O'Donnell, J. T., Maile, T., Rose, C., Mrazovic, N., Morrissey, E., Regnier, C., Parrish, K., & Bazjanac, V. (2013). *Transforming BIM to BEM : Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM* (LBNL-6033E). Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA (United States). <https://doi.org/10.2172/1168736>
- O'Grady, T. M., Brajkovich, N., Minunno, R., Chong, H.-Y., & Morrison, G. M. (2021). Circular Economy and Virtual Reality in Advanced BIM-Based Prefabricated Construction. *Energies*, 14(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/en14134065>
- Oloke, D. (2021). Deployment of Building Information Modelling (BIM) for Energy Efficiency in the UK. In S. M. Ahmed, P. Hampton, S. Azhar, & A. D. Saul (Éds.), *Collaboration and Integration in Construction, Engineering, Management and Technology* (p. 559-564). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1_92
- Olsson, N. O. E., Sørensen, A. Ø., & Leikvam, G. (2015). On the Need for Iterative Real Estate Project Models – Applying Agile Methods in Real Estate Developments. *Procedia Economics and Finance*, 21, 524-531. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00208-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00208-7)
- Oraee, M., Hosseini, M. R., Edwards, D. J., Li, H., Papadonikolaki, E., & Cao, D. (2019). Collaboration barriers in BIM-based construction networks : A conceptual model. *International Journal of Project Management*, 37(6), 839-854. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.004>
- Oti, A. H., Kurul, E., Cheung, F., & Tah, J. H. M. (2016). A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation. *Automation in Construction*, 72, 195-210. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.043>
- Owen, M., Grant, L., Sayers, S., & Facer, K. (2006). *Social software and learning*. Bristol, England : Futurelab.
- Ozturk, G. B. (2020). Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. *Automation in Construction*, 113, 103122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103122>
- Panteli, C., Polycarpou, K., Morsink-Georgalli, F. Z., Stasiulienė, L., Pupeikis, D., Jurelionis, A., & Fokaides, P. A. (2020). Overview of BIM integration into the Construction Sector in European Member States and European Union Acquis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012073>

- Park, C.-S., Kim, H.-J., Park, H.-T., Goh, J.-H., & Pedro, A. (2017). BIM-based idea bank for managing value engineering ideas. *International Journal of Project Management*, 35(4), 699-713. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.015>
- Park, J., & Cai, H. (2017). WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. *Automation in Construction*, 77, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.021>
- Park, S., & Kim, R. (2016). *A Study on BIM Data Exchange for Collaborated Architect & Engineer Design under Low Impact Development Method of Town House*.
- Parsanezhad, P., & Dimyadi, J. (2013). *Effective facility management and operations via a BIM-based integrated information system*. <https://www.researchbank.ac.nz/handle/10652/3034>
- Patacas, J., Dawood, N., & Kassem, M. (2020). BIM for facilities management : A framework and a common data environment using open standards. *Automation in Construction*, 120, 103366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103366>
- Patrascu, M., & Hémont, F. (2019). Propagation du collaboratif comme idéologie : Le cas du processus d'institution du BIM. *Communication & Organisation*, 55(1), 71-90. <https://doi.org/10.4000/communicationorganisation.7752>
- Penttilä, H. (2006). Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 11(29), 395-408.
- Pereira Cabral, B., Lage de Sousa, F., & Canêdo-Pinheiro, M. (2020). Assessing the impacts of innovation barriers : A qualitative analysis of Brazil's natural resources industry. *Resources Policy*, 68, 101736. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101736>
- Pérez-García, A., Martín-Dorta, N., & Aranda, J. Á. (2021). BIM Requirements in the Spanish Public Tender—Analysis of Adoption in Construction Contracts. *Buildings*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/buildings11120594>
- Perriault, J. (2008). La logique de l'usage : Essai sur les machines à communiquer. *La Logique de l'usage*, 1-260.
- Pessis, C. (2014). Survivre et vivre. In [Http://journals.openedition.org/lectures](http://journals.openedition.org/lectures). Échappée (L'). <https://journals.openedition.org/lectures/13500>
- Peyré, P. (2006). La fonction cadre de santé : Entre apprentissage de la gouvernance et complexité des relations à autrui. *Congrès de l'Association Française des Sciences du Système*.
- Philippe, M., & Yves, T. (1994). L'intégration sociale des TIC: une sociologie des usages [The social integration of ICT: A sociology of uses]. *Technologie de l'information et société*, 6, 315-335.
- Phung, Q., & Tong, N. (2021). Developing an Organizational Readiness Framework for BIM Implementation in Large Design Companies. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(3), Article 3.
- Picon, A. (2010). Digital Culture in Architecture : An Introduction for the Design Professions. In *Digital Culture in Architecture*. Birkhäuser. <https://www.degruyter.com/document/isbn/9783034602594/html>
- Picon, A. (2014). *L'architecture saisie par le numérique : Théorie, histoire, archéologie*.
- Pinheiro, M. C., Sousa, F. L. de, & Oliveira, V. B. de. (2018). *Barriers to innovation in the Brazilian economy : Impacts and lessons for public policy*. <http://bibliotecadigital.fgv.br:80/dspace/handle/10438/29474>
- Pinti, L., Codinhoto, R., & Bonelli, S. (2022). A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM) : Implementation in Public Organisations. *Applied Sciences*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/app12031540>

- Piroozfar, P., Farr, E. R. P., Zadeh, A. H. M., Timoteo Inacio, S., Kilgallon, S., & Jin, R. (2019). Facilitating Building Information Modelling (BIM) using Integrated Project Delivery (IPD) : A UK perspective. *Journal of Building Engineering*, 26, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100907>
- Pishdad-Bozorgi, P., Gao, X., Eastman, C., & Self, A. P. (2018). Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). *Automation in Construction*, 87, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.004>
- Poirier, E., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Embedded contexts of innovation : BIM adoption and implementation for a specialty contracting SME. *Construction Innovation*, 15(1), 42-65. <https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0013>
- Porwal, A., & Hewage, K. N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31, 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004>
- Potrč Obrecht, T., Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020). BIM and LCA Integration : A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su12145534>
- Prabhakaran, A., Mahamadu, A.-M., Mahdjoubi, L., Andric, J., Manu, P., & Mzyece, D. (2021). An investigation into macro BIM maturity and its impacts : A comparison of Qatar and the United Kingdom. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(5-6), 496-515. <https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1923454>
- Preidel, C., & Borrmann, A. (2018). BIM-Based Code Compliance Checking. In A. Borrmann, M. König, C. Koch, & J. Beetz (Éds.), *Building Information Modeling* (p. 367-381). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_22
- Preidel, C., Borrmann, A., Mattern, H., König, M., & Schapke, S.-E. (2018). Common Data Environment. In A. Borrmann, M. König, C. Koch, & J. Beetz (Éds.), *Building Information Modeling : Technology Foundations and Industry Practice* (p. 279-291). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_15
- Preiser, W., & Nasar, J. (2008). Assessing Building Performance : Its Evolution from Post-Occupancy Evaluation. *Archnet-IJAR : International Journal of Architectural Research*, 2. <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v2i1.179>
- Price, I. (2002). Facility management as an emerging discipline. In *Workplace Strategies and Facilities Management*. Routledge.
- Pruvost, H., Enge-Rosenblatt, O., & Haufe, J. (2018). Information Integration and Semantic Interpretation for Building Energy System Operation and Maintenance. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 813-818. <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591740>
- PTNB. (2019). *Plan Transition Numérique dans le Bâtiment- Rapport Final*. <https://pdfslide.fr/documents/plan-transition-numrique-dans-le-btiment-ptnb-rapport-final-201810qxpptnb.html>
- Puertos del Estado. (2019). *Guia BIM, del sistema portuario de titularidad estatal*. <https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/Guia%20BIM%2009.pdf>
- Pybourdin, I. (2008). *Appropriation des Technologies de l'information et de la communication : Le cas d'un projet engageant conduit au sein d'une institution éducative du premier degré. Approche communicationnelle, accompagnement, médiations*. [Phdthesis, Université du Sud Toulon Var]. <https://theses.hal.science/tel-00429701>

- Quinn, C., Shabestari, A. Z., Mistic, T., Gilani, S., Litoiu, M., & McArthur, J. J. (2020). Building automation system—BIM integration using a linked data structure. *Automation in Construction*, 118, 103257. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103257>
- Quintrand, P., Autran, J., & Florenzano, M. (1985). *La conception assistée par ordinateur en architecture*. Hermes.
- Ram, S. (1987). A Model of Innovation Resistance. *ACR North American Advances*, NA-14. <https://www.acrwebsite.org/volumes/6688/volumes/v14/NA-14/full>
- Rasolofo-Distler, F. (2009). Conception et mise en œuvre d'un système de pilotage intégrant la responsabilité sociale de l'entreprise : Une méthode combinatoire. *Doctorat en sciences de gestion, Metz: Université Paul Verlaine*.
- Rasolofo-Distler, F., & Zawadzki, C. (2013). Epistémologie et méthodologie des CIFRE : Illustration par des thèses soutenues en Finance Contrôle Stratégie. *Finance Contrôle Stratégie*, 16-4, Article 16-4. <https://doi.org/10.4000/fcs.1406>
- Reisinger, J., Kovacic, I., Kaufmann, H., Kan, P., & Podkosova, I. (2020). *Framework Proposal for a BIM-Based Digital Platform for Flexible Design and Optimization of Industrial Buildings for Industry 4.0* (p. 415). <https://doi.org/10.46421/2706-6568.37.2020.paper029>
- Ren, R., & Zhang, J. (2021). A New Framework to Address BIM Interoperability in the AEC Domain from Technical and Process Dimensions. *Advances in Civil Engineering*, 2021, e8824613. <https://doi.org/10.1155/2021/8824613>
- Rezaei, R., Chiew, T. K., Lee, S. P., & Shams Aliche, Z. (2014). Interoperability evaluation models : A systematic review. *Computers in Industry*, 65(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001>
- Riemer, M., Lynes, J., & Hickman, G. (2014). A model for developing and assessing youth-based environmental engagement programmes. *Environmental Education Research*, 20(4), 552-574. <https://doi.org/10.1080/13504622.2013.812721>
- Rifkin, J. (2011). *The third industrial revolution : How lateral power is transforming energy, the economy, and the world* (First edition). Palgrave Macmillan.
- Riss, S., Talon, A., & Teulier, R. (2017). *Le BIM éclairé par la recherche*. Editions Eyrolles.
- Robinson, M. J. (2021). *The delusion of innovations? An investigation into micro-level factors to an effective macro-level diffusion of Building Information Modelling in the UK*. <https://doi.org/10.17869/ENU.2022.2848547>
- Rojas, M. J., Herrera, R. F., Mourgues, C., Ponz-Tienda, J. L., Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2019). BIM Use Assessment (BUA) Tool for Characterizing the Application Levels of BIM Uses for the Planning and Design of Construction Projects. *Advances in Civil Engineering*, 2019, e9094254. <https://doi.org/10.1155/2019/9094254>
- Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management : Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 210, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>
- Romero Fernández, J., & Garrido Iglesias, A. (2019). La implantación BIM en el sector AEC. Una visión del proceso. *Deplano*, 40, 8-11.
- Rorive, B., Durieux, D., Rondeaux, G., Benedetto, L. M., Bérard, D., Chevallet, R., & Lenain, M.-C. (2003). *La conduite du changement par la traduction*.
- Rouanet-Vetro, D. (2000). *L'APPORT DU COUT DE CYCLE DE VIE DANS LA GESTION DES INNOVATIONS*. CD. <https://shs.hal.science/halshs-00587506>

- Rougerie, C. (2017). L'accueil du chercheur dans une recherche collaborative. *Phronesis*, 6(1-2), 166-176.
- Roumyeh, M., & Badenko, V. (2021). *Integrating BIM and GIS to Move Towards CIM*. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2021.002>
- Roxin, A. (2021). *Nouvelles perspectives du BIM*. Eyrolles. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03538776>
- Ruano-Borbalan, J.-C. (2017). La « grande standardisation » et les transformations du savoir dans les sociétés technoscientifiques. *Innovations*, 52(1), 17-41. <https://doi.org/10.3917/inno.052.0017>
- Ruault, J.-R., Luzeaux, D., Colas, C., & Sarron, J.-C. (2011). Résilience des Systèmes Sociotechniques Application à l'ingénierie système. *Génie logiciel*, 40-52.
- Ruault, J.-R., Vanderhaegen, F., & Kolski, C. (2013). *Sociotechnical systems resilience : A dissonance engineering point of view*. 149. <https://doi.org/10.3182/20130811-5-US-2037.00042>
- Sacks, R., Bloch, T., Katz, M., & Yosef, R. (2019). *Automating Design Review with Artificial Intelligence and BIM : State of the Art and Research Framework*. 353-360. <https://doi.org/10.1061/9780784482421.045>
- Sadin, E. (2016). *La silicolonisation du monde : L'irrésistible expansion du libéralisme numérique*. L'échappée.
- Sampaio, A. Z. (2022). Project management in office : BIM implementation. *Procedia Computer Science*, 196, 840-847. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.083>
- Sattler, L. (2021). *Amélioration de l'interopérabilité BIM via un cadre de co-modélisation par requêtes et enrichissements itératifs de données* [These de doctorat, Paris, HESAM]. <https://www.theses.fr/2021HESAE033>
- Sattler, L., Lamouri, S., Larabi, M., Pellerin, R., & Maigne, T. (2020). L'interopérabilité BIM multimétiers : La collaboration par la requête. *Le BIM et l'évolution des pratiques: Ingénierie et architecture, enseignement et recherche*.
- Sattler, L., Lamouri, S., Pellerin, R., & Maigne, T. (2019). Interoperability aims in Building Information Modeling exchanges : A literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.180>
- Schelings, C., & Elsen, C. (2018, juin). *La participation citoyenne à l'heure des « Smart Cities »*. 01Design.11 - Design in the post digital era. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/222854>
- Schranz, C., Urban, H., & Gerger, A. (2021). Potentials of Augmented Reality in a BIM based building submission process. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 26(24), 441-457. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.024>
- Schumpeter, J. (1942). Capitalism, socialism, and democracy. *Nueva York*.
- Schurmans, M.-N. (2013). Négociations et transactions : Un fondement socio-anthropologique partagé. *Négociations*, 20(2), 81-93. <https://doi.org/10.3917/neg.020.0081>
- Schwartz, Y., Eleftheriadis, S., Raslan, R., & Mumovic, D. (2016). *Semantically Enriched BIM Life Cycle Assessment to Enhance Buildings' Environmental Performance*.
- Sedkaoui, S. (2016). Les obstacles au processus d'innovation. Etude empirique basée sur un échantillon d'entreprises pharmaceutiques algériennes. *Marché et organisations*, 26(2), 121-152. <https://doi.org/10.3917/maorg.026.0121>
- Seppänen, O. A., & Fisk, W. (2006). Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health. *HVAC&R Research*, 12(4), 957-973. <https://doi.org/10.1080/10789669.2006.10391446>

- Seydoux, N., Lefrançois, M., & Médini, L. (2019). *Positionnement sur le Web Sémantique des Objets*. 8. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02174451>
- Shafiq, M. T., Matthews, J., & R, S. (2013). A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaboration systems. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 18(8), 148-161.
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*, 32(2012), 1-38.
- Shalabi, F., & Turkan, Y. (2017). IFC BIM-Based Facility Management Approach to Optimize Data Collection for Corrective Maintenance. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(1), 04016081. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000941](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000941)
- Sheng, M. L., Chang, S., Teo, T., & Lin, Y. (2013). Knowledge barriers, knowledge transfer, and innovation competitive advantage in healthcare settings. *Management Decision*, 51(3), 461-478. <https://doi.org/10.1108/00251741311309607>
- Shields, M. D., & Young, S. M. (1991). Managing product life cycle costs : An organizational model. *Journal of cost management*, 5(3), 39-52.
- Shoolestani, A., Shoolestani, B., Froese, T. M., & Vanier, D. J. (2015). *SocioBIM : BIM-to-end user interaction for sustainable building operations and facility asset management*. <https://doi.org/10.14288/1.0076332>
- Siala, A., Halin, G., & Bouattour, M. (2020). *Une approche BIM pour la prise en compte des exigences spatiales non-géométriques Évaluation pédagogique et retours d'expérience*.
- Sielker, F., & Allmendinger, P. (2018). *Centre for Digital Built Britain Mini-projects Programme 2017-18 : International experiences: Future Cities and BIM Final Report*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29927.75681>
- Simmel, G. (1998). *La Parure et autres essais*. Les Editions de la MSH.
- Smith, B. (2012). *Ontology* (p. 47-68). Brill. https://doi.org/10.1163/9789401207799_005
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475-484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>
- Solla, M., Ismail, L., & Yunus, R. (2016). Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 2412-2418.
- Sompolgrunk, A., Banihashemi, S., & Mohandes, S. R. (2021). Building information modelling (BIM) and the return on investment : A systematic analysis. *Construction Innovation, ahead-of-print*. <https://doi.org/10.1108/CI-06-2021-0119>
- Souami, T. (2008). *Développement durable dans les périphéries de l'Europe : Quels apports de la coopération décentralisée et de ses expertises?* Rapport du Programme de recherche D2RT, Paris, PUCA-Ministère de l'Écologie
- Souami, T. (2017). De l'écoquartier à la ville intelligente. In A. Euzen, L. Eymard, & F. Gaill (Éds.), *Le développement durable à découvert* (p. 112-113). CNRS Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.10663>
- Sperling, M. (1994). Speaking of writing : When teacher and student collaborate. *Writing with: New directions in collaborative teaching, learning, and research*, 175-203.
- Stals, A., Elsen, C., & Jancart, S. (2018). L'immersion pour l'appréhension des outils de modélisation paramétrique en conception architecturale. *SHS Web of Conferences*, 47, 01010. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701010>

- Stals, A., Jancart, S., & Elsen, C. (2021). *La complexité dans la pratique architecturale numérique : Le cas des bureaux belges de petite et moyenne taille*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/222843>
- Stavric, M., Marina, O., Masala, E., Pensa, S., & Karanakov, B. (2012). *From 3D Building Information Modeling Towards 5D City Information Modeling* (p. 51-58).
- Steel, J., Drogemuller, R., & Toth, B. (2012). Model interoperability in building information modelling. *Software & Systems Modeling*, 11(1), 99-109. <https://doi.org/10.1007/s10270-010-0178-4>
- Stojanovic, V., Trapp, M., Richter, R., Hagedorn, B., & Döllner, J. (2018). *Towards The Generation of Digital Twins for Facility Management Based on 3D Point Clouds*.
- Straub, A. (2003). Using a condition-dependent approach to maintenance to control costs and performances. *Journal of Facilities Management* 1(4), 380-395. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:f653eb1b-4989-4221-9c1f-f73d16767ec2>
- Sun, C., Jiang, S., Skibniewski, M. J., Man, Q., & Shen, L. (2017). A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy*, 23(5), 764-779. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1087071>
- Susnienė, D., & Purvinis, O. (2015). Empirical Insights on Understanding Stakeholder Influence. *Journal of Business Economics and Management*, 16(4), 845-860. <https://doi.org/10.3846/16111699.2013.785974>
- Susnienė, D., & Vanagas, P. (2007). Means for Satisfaction of Stakeholders' Needs and Interests. *Engineering Economics*, 55(5), Article 5. <https://inze.ktu.lt/index.php/EE/article/view/11497>
- Suwal, S., Jävää, P., & Lic, T. (2013). *Diverse approach of BIM in AEC industry : A study on current knowledge and practice*.
- Suwal, S., Jävää, P., & Porkka, J. (2013). Social BIM perspectives. *Proceedings of the 30th CIB W78 International Conference*, 9-12.
- Szulanski, G. (2000). The Process of Knowledge Transfer : A Diachronic Analysis of Stickiness. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 9-27. <https://doi.org/10.1006/obhd.2000.2884>
- Talebi, S. (2014, octobre 10). Exploring advantages and challenges of adaptation and implementation of BIM in project life cycle. *2nd BIM International Conference on Challenges to Overcome*. 2nd BIM International Conference on Challenges to Overcome, Lisbon, Portugal. <https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/32275/>
- Tan, A. Z. T., Zaman, A., & Sutrisna, M. (2018). Enabling an effective knowledge and information flow between the phases of building construction and facilities management. *Facilities*, 36(3/4), 151-170. <https://doi.org/10.1108/F-03-2016-0028>
- Tang, A., Biocca, F., & Lim, L. (2004). Comparing Differences in Presence during Social Interaction in Augmented Reality versus Virtual Reality Environments : An Exploratory Study. *In Proc the International Workshop on Presence*.
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration : Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- Tapie, G., Courdurier, É., Evette, T., & Haumont, B. (2001). *Les professions de la maîtrise d'oeuvre : Architectes, ingénierie technique, économiques de la construction, spécialistes de l'ordonnancement, du pilotage et de la coordination*. Contrat d'études prospectives pour le Ministère de l'emploi.

- Taylor, J., & Levitt, R. (2004). Understanding and managing systemic innovation in project-based industries. *Innovations: Project Management Research, Stanford.edu.*, 1.
- Tchana, Y. T. de. (2021). *Proposition d'un jumeau numérique pour soutenir la gestion de l'exploitation d'une infrastructure linéaire* [Phdthesis, Université de Technologie de Troyes]. <https://theses.hal.science/tel-03808753>
- Tchana, Y. T. de, Ducellier, G., & Remy, S. (2019, avril 3). *Conception d'un jumeau numérique unique pour la gestion du cycle de vie d'une infrastructure linéaire*. 16ème édition de ce colloque national S-mart/AIP-PRIMECA : L'industrie du futur, une révolution pour l'humain ? <https://hal.science/hal-02266207>
- Terreno, S., Asadi, S., & Anumba, C. (2019). An Exploration of Synergies between Lean Concepts and BIM in FM : A Review and Directions for Future Research. *Buildings*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/buildings9060147>
- Teulier, R. (2016). *Organisation de l'observatoire, animation des séminaires et contacts avec les universitaires*.
- Teulier, R., & Boutros, N. (2018). *A la pointe du BIM : Ingénierie et architecture, enseignement et recherche*. Editions Eyrolles.
- Thévenot, L., & Boltanski, L. (1991). De la justification. Les économies de la grandeur. P.: Gallimard.
- Theys, J. (2020). Le développement durable face à sa crise : Un concept menacé, sous-exploité ou dépassé ? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, Vol. 11, n°2, Article Vol. 11, n°2. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.17468>
- Thiaux, Y. (2010). *Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides—Evaluation de la technologie Li-ion* [Phdthesis, École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan]. <https://theses.hal.science/tel-00502428>
- Thomas, E. J. (1957). Effects of Facilitative Role Interdependence on Group Functioning. *Human Relations*, 10(4), 347-366. <https://doi.org/10.1177/001872675701000404>
- Thuderoz, C. (2009). Régimes et registres de négociation. *Négociations*, 12(2), 107-118. <https://doi.org/10.3917/neg.012.0107>
- Tinlot, G. (2005). *Architecture et évolution des alliances : Une analyse en termes de pouvoir*.
- Tlili, A. (1986). *Structuration des données de la conception d'un bâtiment pour une utilisation informatique* [Theses, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00529509>
- Tolmer, C.-E., Castaing, C., Diab, Y., & Morand, D. (2017). Adapting LOD definition to meet BIM uses requirements and data modeling for linear infrastructures projects : Using system and requirement engineering. *Visualization in Engineering*, 5(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0059-9>
- Tomek, A., & Matějka, P. (2014). The Impact of BIM on Risk Management as an Argument for its Implementation in a Construction Company. *Procedia Engineering*, 85, 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.577>
- Tourmen, C. (2007). Activité, tâche, poste, métier, profession : Quelques pistes de clarification et de réflexion. *Santé Publique*, 19(hs), 15-20. <https://doi.org/10.3917/spub.070.0015>
- Tribout, S., & Margier, A. (2019). *L'essor des outils numériques dans le champ de la conception urbaine : Vecteur de recomposition des postures et pratiques (inter)professionnelles ?* 127.
- Trompette, P., & Vinck, D. (2009). Retour sur la notion d'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 3(1), Article 1. <https://journals.openedition.org/rac/18242>

- Tsay, G. S., Staub-French, S., & Poirier, É. (2022). BIM for Facilities Management: An Investigation into the Asset Information Delivery Process and the Associated Challenges. *Applied Sciences*, 12(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/app12199542>
- Tulenheimo, R. (2015). Challenges of Implementing New Technologies in the World of BIM – Case Study from Construction Engineering Industry in Finland. *Procedia Economics and Finance*, 21, 469-477. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00201-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00201-4)
- Tulke, J., & Schumann, R. (2018). BIM manager. In A. Borrmann, M. König, C. Koch, & J. Beetz (Éds.), *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice* (p. 293-302). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_16
- Turk, Ž. (2000). *Construction IT: Definition, framework and research issues*.
- Ullberg, J., Chen, D., & Johnson, P. (2009). *Barriers to Enterprise Interoperability* (Vol. 38, p. 24). https://doi.org/10.1007/978-3-642-04750-3_2
- Vaast, E. (2003). Recherche en gestion avec TIC et recherche sur la gestion avec TIC. *Revue française de gestion*, 146(5), 43-58. <https://doi.org/10.3166/rfg.146.43-58>
- Valenduc, G. (2022). *La technologie, un jeu de société*.
- van Nederveen, G. A., & Tolman, F. P. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1(3), 215-224. [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-B](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-B)
- Venugopal, M., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2012). *Formal Specification of the IFC Concept Structure for Precast Model Exchanges*. 213-220. <https://doi.org/10.1061/9780784412343.0027>
- Vieira, R., Carreira, P., Domingues, P., & Costa, A. A. (2020). Supporting building automation systems in BIM/IFC: Reviewing the existing information gap. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(6), 1357-1375. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2018-0294>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- von Hippel, E. (1994). “Sticky Information” and the Locus of Problem Solving: Implications for Innovation. *Management Science*, 40(4), 429-439. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.4.429>
- Wang, H., Meng, X., & McGetrick, P. (2018). *Incorporating Knowledge of Construction and Facility Management into the Design in the BIM Environment*.
- Wang, J., Wang, X., Shou, W., & Xu, B. (2014). Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. *Construction Innovation*, 14(4), 453-476. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2014-0019>
- Wang, W., & Street, W. N. (2015). Modeling influence diffusion to uncover influence centrality and community structure in social networks. *Social Network Analysis and Mining*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s13278-015-0254-4>
- Wang, X., Cui, Z. P., Zhang, Q. L., & Yang, H. Z. (2013). Creating Structural Analysis Model from IFC-Based Structural Model. *Advanced Materials Research*, 712-715, 901-904. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.712-715.901>

- Wang, X., Yang, H., & Zhang, Q. (2015). Research of the IFC-based Transformation Methods of Geometry Information for Structural Elements. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 79(3), 465-473. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0111-0>
- Waterhouse, R. (2019). NBS International BIM Report.. 2019. *Disponible à l'adresse: [https://www. thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019](https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019)*.
- Weber, M. (1921). *Economie et société*.
- Weber, M., Freund, J., & Aron, R. (1919). *Le Savant et le Politique* (Vol. 16).
- Whyte, J., Lindkvist, C., & Ibrahim, N. H. (2013). From projects into operations : Lessons for data handover. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 166(2), 86-93. <https://doi.org/10.1680/mpal.11.00028>
- Williams, R., Shayesteh, H., & Marjanovic-Halburd, L. (2014). Utilizing building information modeling for facilities management. *International Journal of Facility Management*, 5(1), Article 1. <https://eprints.mdx.ac.uk/23751/>
- Wilson, M., & Zulu, S. (2016). Inter-professional Collaborative Learning for the Enhancement of Employability Skills. *Delivering Excellence in Higher Education 2016*. <https://ojs.leedsbeckett.ac.uk/index.php/DEHE/article/view/4414>
- Winch, G. (2003). Models of manufacturing and the construction process : The genesis of re-engineering construction. *Building Research & Information*, 31(2), 107-118. <https://doi.org/10.1080/09613210301995>
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM : A review. *Automation in Construction*, 57, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- Wong, K. D., Wong, K. W., & Nadeem, A. (2009). Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries : Changing Roles, the Netherlands Conference. *[Missing Source Name from PIRA]*, 23-33.
- Wu, C., Xu, B., Mao, C., Professor, A., Li, X., & M.D. (2017). Overview of BIM maturity measurement tools. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 22(3), 34-62.
- Wu, W., Yang, X., & Fan, Q. (2014). *GIS-BIM Based Virtual Facility Energy Assessment (VFEA)—Framework Development and Use Case of California State University, Fresno*. 339-346. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.043>
- Xu, X., Ma, L., & Ding, L. (2014). A Framework for BIM-Enabled Life-Cycle Information Management of Construction Project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(8), 126. <https://doi.org/10.5772/58445>
- Xu, X., Mumford, T., & Zou, P. X. W. (2021). Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance. *Energy and Buildings*, 231, 110496. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110496>
- Xue, K., Hossain, M. U., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., Chen, X., & Cao, G. (2021). BIM Integrated LCA for Promoting Circular Economy towards Sustainable Construction : An Analytical Review. *Sustainability*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su13031310>
- Yun, S., Jun, K., Son, C., & Kim, S. (2014). Preliminary study for performance analysis of BIM-based building construction simulation system. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(2), 531-540. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0174-2>
- Zahler, A., Goya, D., & Caamaño, M. (2018). *The Role of Obstacles to Innovation on Innovative Activities : An Empirical Analysis*. <https://doi.org/10.18235/0001505>

Zahrizan, Z., Ali, N. M., Haron, A. T., Marshall-Ponting, A. J., & Hamid, Z. A. (2013). Exploring the adoption of building information modelling (BIM) in the Malaysian construction industry : A qualitative approach. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(8), Article 8.

Zhang, F., Chan, A. P. C., Darko, A., Chen, Z., & Li, D. (2022). Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry. *Automation in Construction*, 139, 104289. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104289>

Zhao, X. (2017). A scientometric review of global BIM research : Analysis and visualization. *Automation in Construction*, 80, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.002>

Zimmerman, A. (2001). *The Integrated Design Process : Report on a national workshop*. Canada.

Zuhaib, S., Schmatzberger, S., Volt, J., Toth, Z., Kranzl, L., Eugenio Noronha Maia, I., Verheyen, J., Borragán, G., Monteiro, C. S., Mateus, N., Fragoso, R., & Kwiatkowski, J. (2022). Next-generation energy performance certificates : End-user needs and expectations. *Energy Policy*, 161, 112723. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112723>

Zúñiga, G. L. (2001). Ontology : Its transformation from philosophy to information systems. *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems - Volume 2001*, 187-197. <https://doi.org/10.1145/505168.505187>

Annexes

Annexe 1 Trame de la grille des entretiens exploratoires

Grille des entretiens exploratoires réalisées lors de l'arrivée dans l'entreprise d'accueil (ALTO Ingénierie)

NOM, Prénom :

Date :

Enquête

Âge –

Diplômes / niveau d'étude –

Parcours Professionnel –

Date du début avec le BIM –

Métier--

Pôle-

1. Qu'est-ce que c'est, le BIM ?
2. Brief description du pôle : tâches, types de projet.
3. Quels sont les logiciels utilisés au sein du pôle ? Lesquels sont en BIM ou peuvent exporter des IFC ?
4. Description des usages BIM dans votre pôle. Expériences en BIM :
5. Qu'est-ce que vous pouvez faire aujourd'hui en matière du BIM et qu'est-ce que vous aimeriez faire à l'avenir ?
6. Quels sont les avantages du BIM dans ce pôle, en quoi peut-il aider dans vos démarches ?
7. Quels sont les problèmes que vous trouvez par rapport à l'implantation du BIM ?
8. D'après vous, quel est le niveau de maturité BIM dans le reste des pôles ?
9. Dans quelle phase du projet pensez-vous que le BIM soit plus important ? Pourquoi ?
10. Quels sont pour vous les enjeux du BIM dans la phase exploitation ?

Annexe 2 Entretiens des cas d'études

Les entretiens se composaient de questions mais aussi d'une interaction avec les personnes interviewées sur le dessin des diagrammes montrant l'articulation du système d'acteurs.

Exemple de trame d'entretien :

INTERPROFESSIONALITES

Qui était la MOA et la MOE en phase conception ?

Qui était le BIM manager ? Et l'AMO BIM ? Et l'exploitant ?

Qui devrait s'occuper de la gestion de la maquette ?

Quelles sont, d'après vous, les principales problématiques que vous avez trouvées dans cette démarche en BIM ?

Quel était, d'après vous, le niveau BIM des entreprises ?

Pourriez-vous m'aider à dessiner l'organigramme du projet et l'évolution du système d'acteurs au cours des phases du projet?

ENJEUX DES ACTEURS

Quels étaient les principaux enjeux pour l'introduction du BIM dans le projet ?

Quels ont été principaux avantages que le BIM a apportés à chaque intervenant ?

Quelles sont les données les plus intéressantes à renseigner dans ce type de bâtiment ?

Quels sont les plateformes collaboratives qui ont été utilisées ? Et les outils GMAO actuels ?

Quelles sont les données que vous pensez avoir été renseignées ?

Savez-vous si la MOA a eu une réflexion par rapport à l'économie circulaire et les futurs réaménagements du bâtiment ?

IMPACTS UTILISATEURS ET USAGERS FINAUX

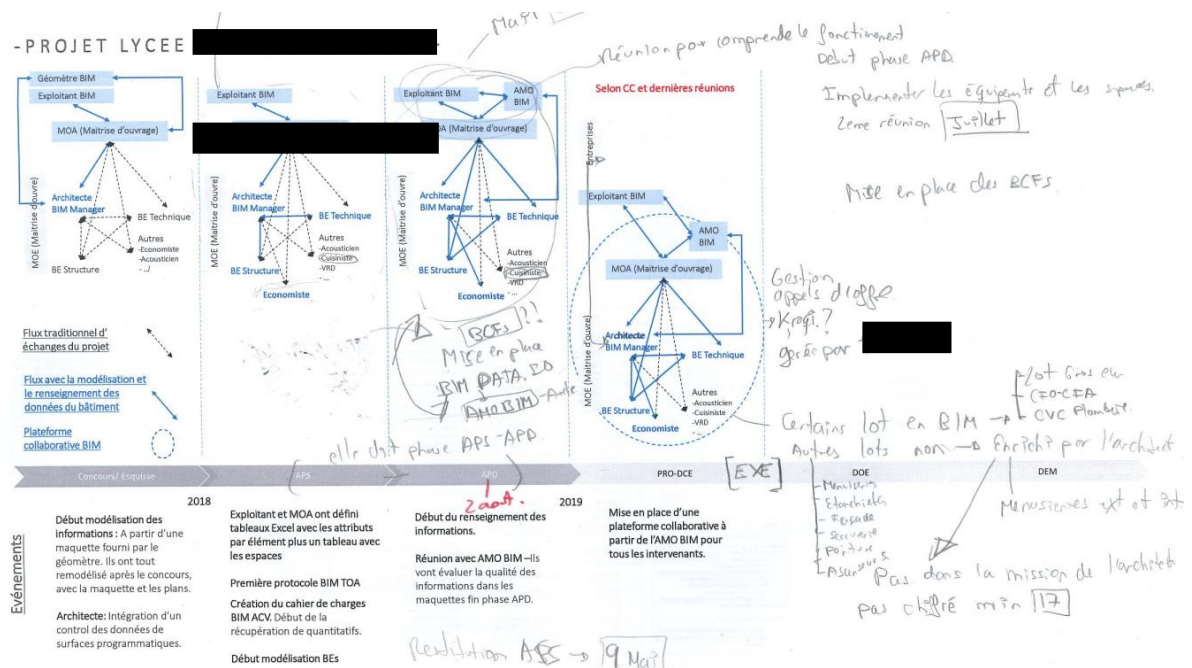
En quoi pensez-vous que la maquette numérique pourra aider dans la gestion du bâtiment ?

Quels sont les outils GMAO que vous souhaiteriez lier au modèle BIM ?

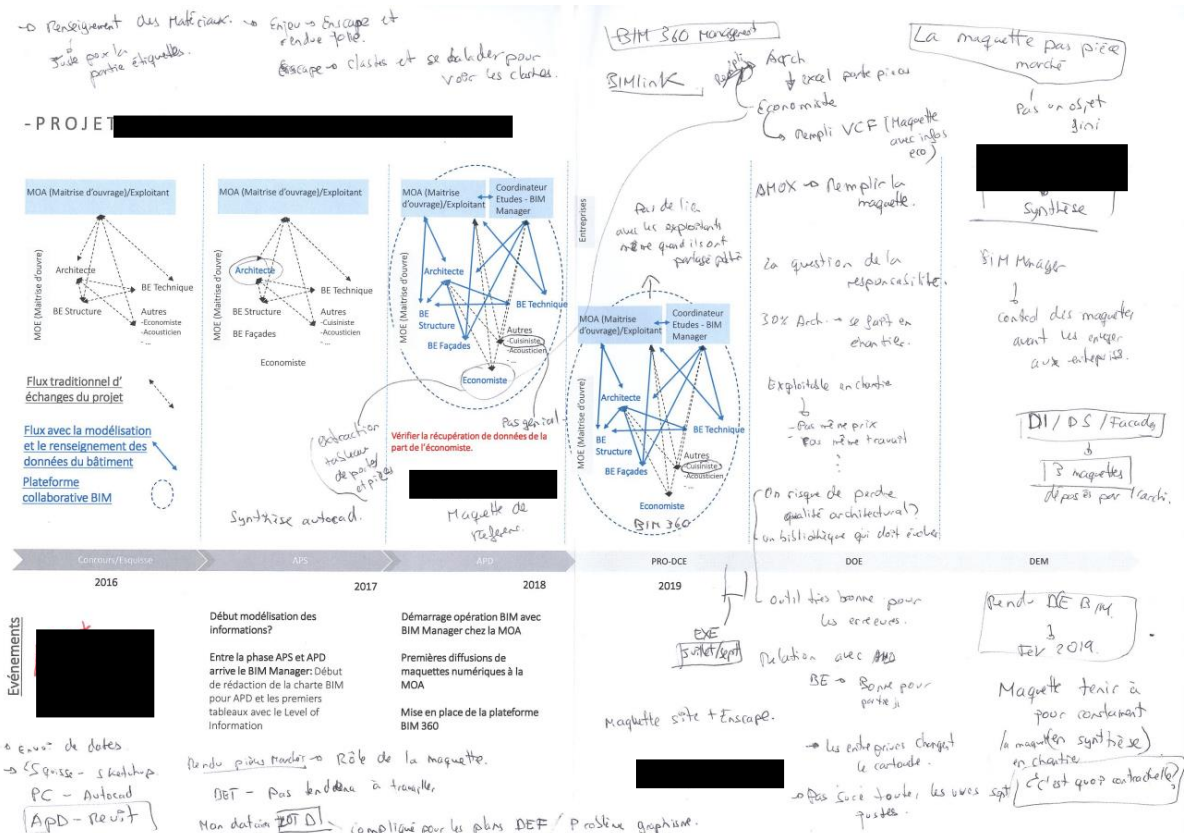
Est-ce que la maîtrise d'ouvrage ou la maîtrise d'œuvre a discuté avec des exploitants pendant les phases de conception et de construction ?

Et avec les différents départements ou services du bâtiment ? Est-ce que vous avez demandé aux futurs occupants du bâtiment ?

Exemples de diagrammes utilisés lors des entretiens avec les acteurs du cas d'étude 1 :



Exemples de diagrammes utilisés lors des entretiens avec les acteurs du cas d'étude 2 :



[illegible]

Annexe 3 Liste des usages BIM des études de cas

Etude de cas 1	Etude de cas 2
Usages BIM du projet	
PHASE CONCEPTION - Cas d'usage Mediaconstruct 1 Intégration dans le programme de demandes spécifiques permettant la vérification des demandes programmatiques : Présence de tous les locaux (identification des locaux manquant ou en surplus) - Cas d'usage Mediaconstruct 2 Maquette de l'environnement, niveau de détail de type volumétrie - Cas d'usage Mediaconstruct 3 Maquette existante : maquette numérique réalisée à partir de relevés géométriques. La modélisation intervient dès la programmation à l'initiative de la maîtrise d'ouvrage. SCAN 3D - Cas d'usage Mediaconstruct 4 Communication: Présentation d'une maquette « texturée » Présentation d'une vidéo réalisée sous Twin-motion ou équivalent. - Cas d'usage Mediaconstruct 5 Accès maquette MOA avec IFC et BCFs - Cas d'usage Mediaconstruct 6 Il est demandé d'intégrer les différentes disciplines ci-dessous dans la maquette numérique - Cas d'usage Mediaconstruct 9 Extraction du tableau de surfaces depuis la maquette numérique. - Cas d'usage Mediaconstruct 7 Analyse ingénierie interopérable Thermique (RT réglementaire avec le logiciel BIM) (RT 2012) Énergétique (STD avec le logiciel BIM) Structure Lumière (FLJ avec le logiciel BIM) Economiste BIM de la MOE Et analyses environnementales: Risque inondations (faire apparaître les niveaux du PPRI) Coût global (étude avec le logiciel BIM) Bilan carbone (étude avec le logiciel BIM) Empreinte environnementale (ACV) Etude d'ombre portée (étude avec le logiciel BIM). PHASE EXE ET DOE - Cas d'usage Mediaconstruct 10 Maquette de chantier. Réalisation d'une synthèse exécution par la maîtrise d'œuvre d'exécution. - Cas d'usage Mediaconstruct 8 Utilisation d'objets « fabricant » (dans la limite que les niveaux de définition géométrique ne dépasse pas l'objectif de détails fixé en annexe). - Cas d'usage Mediaconstruct 16 Récupération de la maquette réalisation à jour de l'ouvrage construit tant par sa géométrie que par les informations attribuées aux objets. <u>Base de données du Bâtiment</u> : Constitution d'une base de données à partir des informations de la maquette	PHASE CONCEPTION (Premier liste des usages BIM pour tout le projet) - Structuration de l'information - Modélisation des objets - Vérification du programme - Modélisation du site existant - Modélisation de la conception - Revue de projet - Utilisation des modèles pour les études analytiques (structure, lumière, études environnementales, etc.) - Production de livrables - Extraction des quantitatifs - Synthèse géométrique - Contrôle des exigences réglementaires avec les modèles numériques - Visites immersives en réalité virtuelle - Communication avec des films et images - Spécification détaillée des processus de construction et préfabrication - Planification 4D et 5D - Contrôle d'exécution - Suivi de chantier avec réalité augmentée - Impression béton à l'aide de la maquette - Support à la logistique du chantier - OPR avec le modèle numérique - Consolidation de DOE numérique et DIUO - Gestion des équipements avec la maquette numérique en exploitation - Gestion des espaces avec maquette numérique. PHASE EXE - Améliorer la qualité et la fiabilité du projet. - Limiter la ressaisie d'information relative à la description de l'ouvrage par les différents corps de métier et limiter les incohérences entre les pièces descriptives. - Constituer une base de données graphiques de laquelle seront extraits la majorité des plans. - Permettre l'extraction des plans généraux, coupes et élévations à partir des maquettes numériques. - Intégrer les données graphiques et analytiques des abords en vue de l'étude de chantier. - Modéliser un témoin (espace bureaux, sanitaire, logement, etc.) avec le niveau de détail. - Constituer une base de données informationnelle de laquelle seront extraits des quantitatifs.

numérique du DOE. Il s'agit d'un prérequis pour l'usage du BIM en exploitation. La collecte d'information dans cette base de données est faite par le biais d'un logiciel dédié. <u>Gestion de Patrimoine</u> : La base de données issue de la maquette numérique est utilisée pour donner au gestionnaire de biens une vision précise du parc administré. <u>Pilotage et Maintenance</u> : La base de données issue de la maquette numérique est utilisée pour alimenter la GMAO <u>Performance</u> : La base de données issue de la maquette numérique est croisée avec les données issues de GTB pour localiser les performances thermiques et environnement. <u>Service à l'occupant</u> : La base de données issue de la maquette numérique est utilisée pour fournir de nouveaux services aux occupants ou pour les améliorer.	• Intégrer les typologies de locaux et alimenter leur description au cours des phases successives. • Intégrer les nomenclatures de portes et la description de leurs équipements et finitions. • Modéliser et référencer les éléments par catégorie, afin de pouvoir les lister et quantifier tout au long du projet. • Référencer les éléments selon une classification standardisée, type UNIFORMAT II (via un paramètre contenant le code). • Extraire les quantitatifs de l'ensemble des terminaux du projet. • Extraire les quantitatifs des matériaux ; Dans les zones nobles, extraire tous les quantitatifs. • Décrire les typologies de cloisons : les maquettes devront contenir les informations nécessaires à l'extraction des plans de repérage des cloisons. • Permettre la visualisation du projet dans son ensemble par chacun des acteurs ; Permettre la visualisation des maquettes compilées à partir d'un outil de visualisation. • Fournir une plateforme sur laquelle seront déposées les maquettes et garantir un accès aux anciens indices. • Réaliser et animer la synthèse technique et architecturale autour de la maquette. • Piloter les indicateurs de suivi de la MOA ; Suivre l'évolution des surfaces et hauteurs livrées. • Estimer plus rapidement les coûts engendrés par des changements ; Réaliser un planning 4D. • Améliorer le processus de production des supports commerciaux ; Sorties d'images commerciales. • Délivrer une maquette DOE aux formats spécifiés ; Transmettre les maquettes avec notice d'utilisation. • Faciliter les appels d'offre multi-techniques ; Exporter les quantitatifs sur des tableaux standardisés. • Documenter la maquette au fur et à mesure pour rassembler les données utiles à l'exploitation de l'ouvrage ; Renseigner les données techniques des éléments ; Détecter et anticiper les problèmes d'interface dès la conception.

Annexe 4 Tableaux des missions BIM en phase de conception et de construction

Tableau 19 Tableau de compétences et missions informationnelles dans l'étude de cas 1 :

Entité	Rôle selon Loi MOP	Rôle BIM	Introduction de données		Extraction de données		Compétences BIM
Agence d'architecture	MOE	-BIM manager -BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Matériaux, surfaces, fonctions etc.	OUI	-Notamment celles des prix de l'économiste et des éléments constructifs du BE structure, pour sa prise en compte dans la conception du bâtiment.	Modélisation et informationnelles
BE Technique (fluides et environnement)	MOE	-BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Informations sur les fonctions des équipements, type de réseaux et matériaux etc.	OUI	-Notamment les données pour les calculs environnementaux et les données dimensionnelles et fonctionnelles de l'architecte.	Modélisation et informationnelles
BE Structure	MOE	-BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Les informations relatives à la structure - Matériaux structurels	OUI	-Par exemple les données dimensionnelles et fonctionnelles de l'architecte.	Modélisation et informationnelles
Economiste	MOE	-BIM coordinateur	OUI	-Notamment les prix	OUI	-Notamment les quantitatifs de l'architecte	Informationnelles
Assistant MOA Fournisseur logiciel	AMO-MOA	AMO BIM	Partiellement	-Rédaction de cahier de charges exploitation avec paramètres à renseigner.	OUI	-Les données récupérables par leur logiciel en phase exploitation	Informationnelles
Assistant MOA Manager	AMO-MOA	- AMO BIM - BIM manager	OUI	-Paramétrage visant l'exploitation	OUI	-Toutes les données demandées par le client.	Informationnelles
Organisme public	MOA	Futur BIM exploitant	NON		A partir des données reçues des AMO BIM		Informationnelles

Tableau 20 Tableau de compétences et missions BIM dans l'étude de cas 2 :

Entité	Rôle selon Loi MOP	Rôle BIM	Introduction de données		Extraction de données		Compétences BIM
Agence d'architecture	MOE	-BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Matériaux, surfaces, fonctions etc.	OUI	-Notamment celles des prix de l'économiste et des éléments constructifs du BE structure, pour sa prise en compte dans la conception du bâtiment.	Modélisation et informationnelles
BE Technique (fluides)	MOE	-BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Informations sur les fonctions des équipements, type de réseaux et matériaux etc.	OUI	-Notamment les données pour les calculs des quantitatifs.	Modélisation et informationnelles
BE Structure	MOE-MOA	-BIM coordinateurs -BIM modelers	OUI	-Les informations relatives à la structure - Matériaux structurels	OUI	-Par exemple les données dimensionnelles et fonctionnelles de l'architecte.	Modélisation et informationnelles
Economiste	MOE	-BIM coordinateur	OUI	-Notamment les prix	OUI	-Notamment les quantitatifs de l'architecte	Informationnelles
Assistant MOA	AMO-MOA	AMO BIM	Partiellement	-Rédaction de cahier de charges	OUI	-Toutes les données demandées par le client. CCBIM	Informationnelles
Exploitant BIM (interne MOA)	AMO-MOA	Référent BIM	Partiellement	Annexes LOI et paramètres pour l'exploitation	OUI	-Les données récupérables par leur logiciel en phase exploitation	Informationnelles
Macro lot construction 01 (CEA, STR, FAC, Charpente)	MOE-MOA	-BIM coordinateurs -BIM modelers -BIM manager EXE	OUI	-Les informations relatives à la structure - Matériaux structurels	OUI	-Par exemple les données dimensionnelles et fonctionnelles de l'architecte.	Modélisation et informationnelles
Macro lot construction 02 (ELEC, CVC, PLB)	MOE-MOA	-BIM coordinateur -SYNTHESE BIM sous-traité	OUI	-Notamment les prix	OUI	-Notamment les quantitatifs de l'architecte	Modélisation et informationnelles
Coordinateur des études	MOE-MOA	-BIM manager (sous-traité à l'entreprise de la MOA) -Référent BIM	Partiellement	-Rédaction de la convention BIM	OUI	-Toutes les données demandées par le client. CCBIM, quantitatifs, paramètres demandés par la MOA etc	Informationnelles et occasionnellement modélisation
Entreprise privée	MOA	Futur BIM exploitant	NON		A partir des données reçues de l'AMO BIM et du Référent BIM exploitation au sein de la MOA		Informationnelles

Annexe 5 Analyse des maquettes numériques : Données particulières

Tableau 21 Extraction de « nouveaux paramètres » dans les projets analysés et leur classification. Source : préparé par l'auteur (2020)

Paramètres spécifiques de chaque projet				
		BET Fluides	BET Structure	Géomètre
Dimensionnels		Hauteur de l'entité, largeur de l'entité, longueur de l'entité, nombre de lux, surface de, largeur et longueur de la hauteur de la boîte lumineuse, surface au sol totale, caractéristiques dimensionnelles de chaque longueur/hauteur/largeur et diamètre/section des canalisations.	Épaisseur de la dalle, nombre de portes, épaisseur, volumes, surfaces,	
Administratifs		Date de conception, date de sortie, nom du dossier, format, lot, classe IFC, niveau, codes, désignation, nom du fichier, titre, zone, identification, visible dans les annexes, niveau de référence, sous-discipline, numéro de document, commentaire, vues, caractéristiques du gabarit de dessin, statut du document, phase du projet	Index, phase, niveau, type d'intervention, description du bâtiment, type de vue, classe IFC, auteur, émetteur, récepteur, niveau de fin architectural, statut de l'information, date de la prochaine réunion, date de la dernière réunion, modifications, divers paramètres d'échelle, de téléphone et de courrier électronique des parties prenantes,	Texte, type de marché public/privé, type de plan, auteur, dossier, propriété,
Techniques	Eléments architecturaux	BIM Object category, BIM Object code	Extérieur/intérieur, type de dalle, points singuliers, type de poutre, nom de l'escalier, suivi/identification, structure existante, structure de renforcement, URL, classe d'incendie,	Détails
	Matériaux	Matériaux de canalisation, matériau du tube, matériau de la zone, densité, facteur de sortie de couleur, isolation thermique, conductivité, coefficient d'exposition, masse volumique,	Description du matériau, classe de matériau, coefficient thermique	
	Equipements techniques	Angle d'éclairage, type d'éclairage, protocole d'éclairage, type d'émetteur, mesure d'éclairage, perte de charge de ventilation, identification réseaux techniques, type de système, coupe-feu, gradation, entrée WATTS, lumens, nom du fabricant, description de référence, données produit, GUID du produit, famille de produits, URL, description technique, éclairage de secours, efficacité,		
Reglementation		Code identification, code de classe Omni, code Uniclass, certification de produit, code Unifomat II, code UNSPSC, type d'éclairage CIE	Classe d'incendie, exigences d'incendie, exigences de charge	
Economiques		Prix de l'éclairage,	Prix unitaire	

Geographiques	Nom de la région, emplacement, coordonnées	Topographie, Région,	Arrondissement, numéro cadastral, rue, numéro de bâtiment, impacts géographiques, code postal, ville
Fonctionnels (en lien avec l'espace)	Contrôle de l'éclairage, Type de service, zonage, zonage émetteur, zonage de désenfumage, zonage du dispositif de ventilation, autonomie de l'éclairage de la pièce, allumage / arrêt, lieu d'émission, lieu de réception, fichiers techniques joints, groupes de calcul, mode de calcul, fonction lumière du jour, fichier photométrique, espace tampon, horticulture, instructions d'installation, indice de confort, indice de rénovation de l'air, besoins d'espace, type de service, programme, temps d'exposition, gradation de la pièce, éclairage des locaux,	Nombre d'occupants, utilisations du programme, type d'utilisation, dossiers techniques joints, nom des utilisations du programme, groupe d'utilisations du programme, type de circulation,	

Tableau 22 Extraction de « nouveaux paramètres » dans les projets analysés et leur classification. Source : préparé par l'auteur (2020)

Paramètres spécifiques de chaque projet			
		Architecte	Client
Dimensionnels		Hauteur de fenêtre, hauteur totale, hauteur du trou, largeur du trou, largeur de la porte, épaisseur du vantail de la porte, hauteur du vantail de la porte, décalage de la porte, largeur du vantail de la porte, différents types de surfaces, surface d'ouverture, nombre de portes, largeur de l'espace, surface circonscrite, surface libre, hauteur de faîtage, longueur de faîtage, profondeur, surface vitrée, surface brute,	Surfaces, volumes, périmètres, diamètres, épaisseur, hauteur du trou, largeur du trou, dimension de la section, longueur d'ouverture, surfaces d'ouverture,
Administratifs		Numéro d'étage, description de l'étage, Classe IFC, zone, section, nom du site, nom du site, nom et type de vues, commentaire, index, nom du calendrier, caractéristiques du gabarit de dessin, observations, type de bâtiment, date, échelle, index, lot, priorité, description du navigateur de projet, notes, à vérifier, ID, code du document, format, noms, phase, propriété, Communiqué, numéros de téléphone, filtre de feuille, dessin préliminaire, auteur, audit, révision, nom du client, unités, date des modifications, dates des réunions, état du document, adresse du client, bon de commande du client, niveau d'entrée, type de phase de dessin,	Niveau, lot, numéro de plan, auteur, commentaire, propriété, nature du bâtiment, vues/feuilles but, heure, étage, index, email, numéro de téléphone, nom du modèle, version du modèle, nom de la vue, classe IFC, type IFC
Techniques	Eléments architecturaux	Finitions murales par pièce, finitions de plafond par pièce, finitions de socle, finitions de plancher, nom de la pièce, coupe-feu, détail de perlage de porte, spécificités, code mural, code plafond, code de porte, code de sol, numéro d'escalier, type de porte, type de fenêtre, garnitures, fonction des composants, nombre de composants, nom du composant, description, pente, poids, URL, type de produit, caractéristiques des panneaux coulissants, système interphone/vidéo dans les portes, verrouillage électronique des portes, accès par contact magnétique dans les portes, charnières de sécurité dans les portes, accès lecteur de carte, intérieur/extérieur, emplacement du bâtiment, matériaux de porte, transmission du rayonnement du faisceau, nature du meneau, facteur de risque d'incendie de l'élément, infiltration de mur, plancher, numéro de série, transmission thermique,	Code d'identification, faces avec finitions, portes linéaires, hauteur des ouvertures, ouvertures linéaires, niveau de l'objet, zone de l'objet, finitions murales par pièce, finitions de plafond par pièce, finitions de plancher, chute de faisceau, élément de suivi d'identité
	Matériaux	Impédance acoustique, résistance au feu, texte du matériau, description du matériau, propriétés thermiques, densité, classification des matériaux, composition du verre, matériau par couche, nature du matériau, description du bois, matériau combustible, stockage inflammable, facteur de risque d'incendie du matériau, surface de dérapage, réflectivité, transmission thermique, translucidité	Attribution de l'identification des matériaux, épaisseur des matériaux, caractéristiques du béton, code du boîtier, poids, type de matériaux, volume, matériau préfabriqué,
	Equipements techniques	Type de produit, Système de pressurisation d'air, type de climatisation, marche/arrêt, éclairage artificiel, automatique/non automatique, type de chauffage, éclairage, isolation revêtue, numéro de série, taux de ventilation mécanique, isolation filaire, ventilation naturelle, arrêt de fumée, protection contre les gicleurs, gain de chaleur solaire, code système, type de filtre,	Code d'identification, niveau de l'objet, zone de l'objet, élément de suivi d'identification

Reglementation	Code de format maître, Code de classe Omni, Code Uniclasse, certification de produit, Code Unifomat II, Code UNSPSC, réglementation d'accessibilité pour handicapés, isolation réglementaire, classification réglementaire, salle de contraintes acoustiques, salle de contraintes incendie, autre salle de contraintes, salle de contraintes de sécurité publique, norme réglementaire appliquée, contrainte d'humidité, contraintes de risques, exigences d'incendie, exigences sonores, exigences de charge, exigences d'accessibilité pour handicapés, pente requise,	
Economiques	Prix des composants, Prix M.O	
Géographiques	Orientation, adresse, secteur, surface constructible, hauteur limite du bâtiment, ombrage extérieur des bâtiments, coordonnées partagées, température été/hiver/printemps/automne	Ville, région, emplacement
Fonctionnels (en lien avec l'espace)	Main-d'œuvre, Espaces de sécurité, temps et nombre d'occupation, indice acoustique, surface du programme, description de la zone, type de zone, occultation, Indice de résistance au feu, habitation, dossiers techniques joints, espaces à haut risque, horaire, mesures conservatoires, division de l'espace, type d'espace, décoration de zone, servitudes, contrôle d'accès, contrôle d'incendie, fonction, fonction d'emplacement, utilisation structurelle, type d'espace, type de plantation, fonction terrasse, division du feu de l'espace, type d'appartement, occupation maximale, occupation min., rapport de fonction, typologie de l'appartement, paysage d'incendie, type de contrôle d'accès, fiche technique de zonage, liens fonctionnels entre les espaces, nom du programme, numéro de programme, groupe de programme; Indice acoustique de la pièce, Climatisation de la pièce, Compartimentation de l'espace, Mobilier fixe de l'espace, Facteur de risque d'incendie, Chambre accessible aux personnes handicapées, Type de ventilation de la pièce, Accessibilité publique, Cote de sécurité de l'immeuble, Humidité des locaux, Température des locaux, Éclairage de l'espace, Type de chauffage, Code de la chambre	Mode opératoire, type de zone, utilisation/fonction, occupants, charges permanentes et occasionnelles,

Annexe 6 Etude de cas 3 - Cas test de la poutrelle

Liste de maquettes DOE analysées :

Entreprise CVC

-Aéraulique

-Hydraulique

-WIP

Entreprise PLB

-PLB

Entreprise ELEC

-ELE

-TER-Terminaux

-SSI-Sécurité Incendie

Entreprise GOE

-SME-Structure Métallique

-STR

-GOE-Gros œuvre

Entreprise PFS

-PFS TER (terminaux)

-PFS Central

OMA

-ARC

-FAC

-MOB

-STR

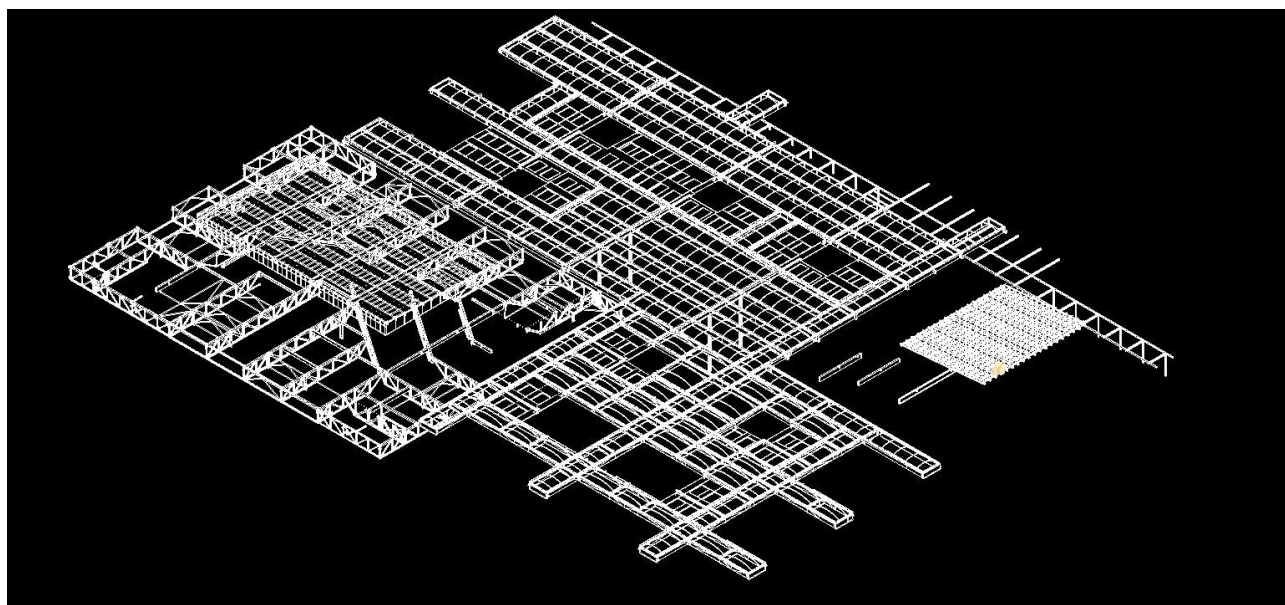


Figure 51 Maquette Structure Métallique - Eléments en acier

Il a été proposé de faire un test pour remonter la traçabilité d'une poutrelle en acier. L'analyse du niveau de développement d'une maquette est faite à partir du Lod (niveau de détail en modélisation) et du Loi (niveau de renseignement des informations). Dans ce cas, on a évalué le LOI de la maquette Structure Métallique du DOE. La structure métallique n'est située que dans la partie supérieure du bâtiment.

Evaluation de la maquette Structure Métallique :

La maquette Structure Métallique a été modélisée à partir du logiciel TEKLA Structure. De ce fait, l'ensemble de tous les paramètres nécessaires n'a pu être pris en compte (les paramètres IFC ne sont pas complets). Dans les propriétés du type de chaque élément, on va trouver le groupe « Paramètres IFC » avec la même structure que la fenêtre « Propriétés » sur le logiciel TEKLA.

- Nous avons trouvé des marques d'emplacement dans tous les éléments en acier.
- Les « équipements spécialisés » (écrous, goussets, raidisseurs, platines, etc.) et quelques poteaux sont bien renseignés par élément (dans l'onglet « Paramètres IFC »). Les matériaux ne sont pas renseignés.

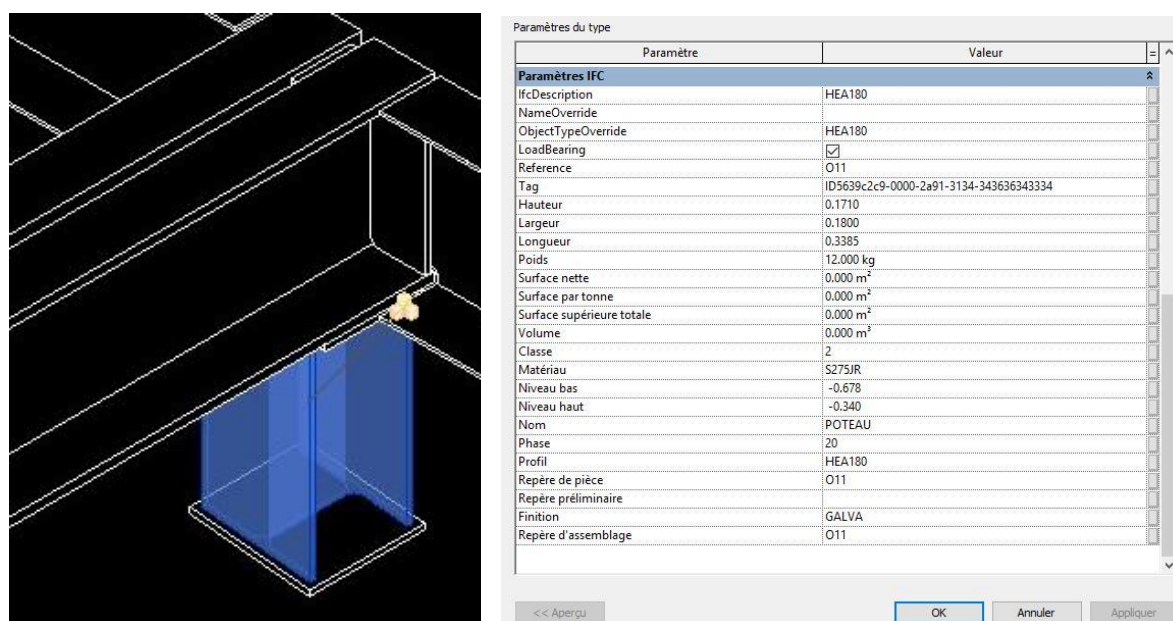


Figure 52 Paramètres des poteaux dans la maquette numérique de l'entreprise en charge de la construction de la structure

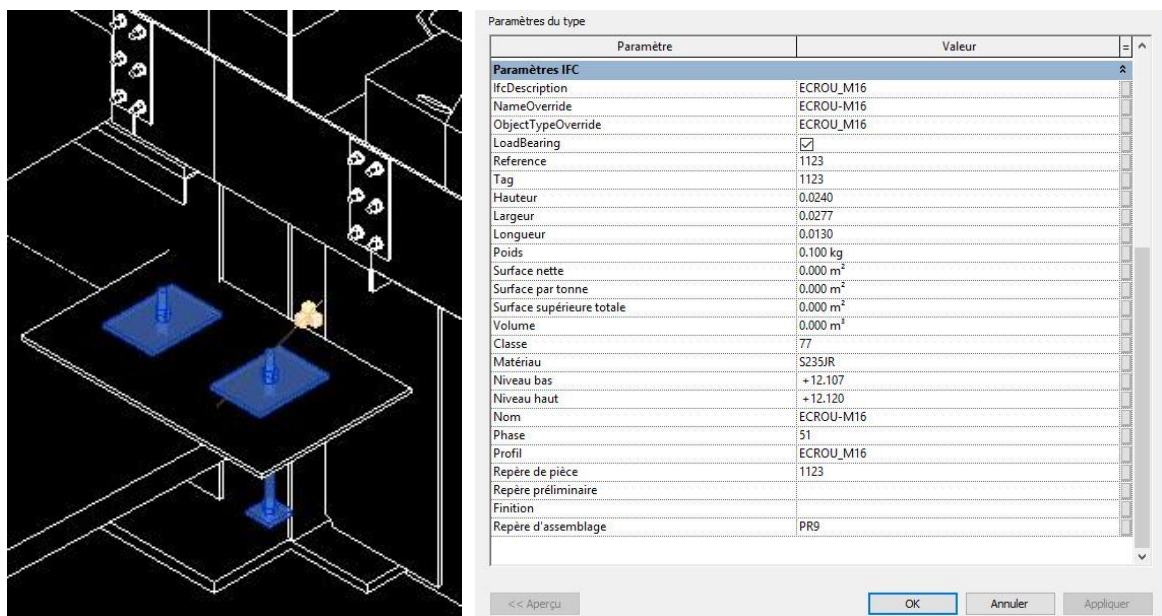


Figure 53 Paramètres des écrous dans la maquette numérique de l'entreprise en charge de la construction de la structure

- L'acier des poutrelles, des poutres et des poteaux (S275JR) n'est pas renseigné avec des caractéristiques thermiques et physiques.

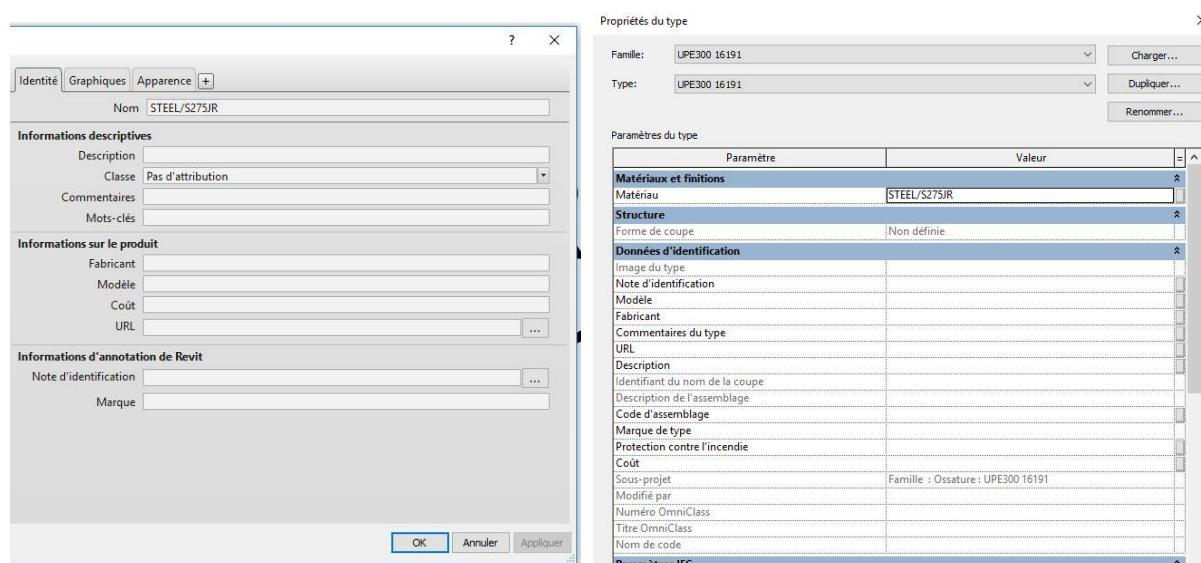


Figure 54 Les deux fenêtres du logiciel Revit montrent que ni dans les propriétés de l'objet (à droite) ni dans les propriétés du matériau (à gauche) ne sont introduites les caractéristiques de l'acier.

- Le renseignement des maquettes a été fait dans l'optique de la maintenance. En conséquence, les nouveaux paramètres insérés dans la maquette pour la phase exploitation/maintenance seront plus développés dans les maquettes des réseaux techniques du bâtiment.
- Le renseignement des matériaux (hors matériaux structurels métalliques) est plus complet car ils ont été modélisés sur Revit. Exemples :

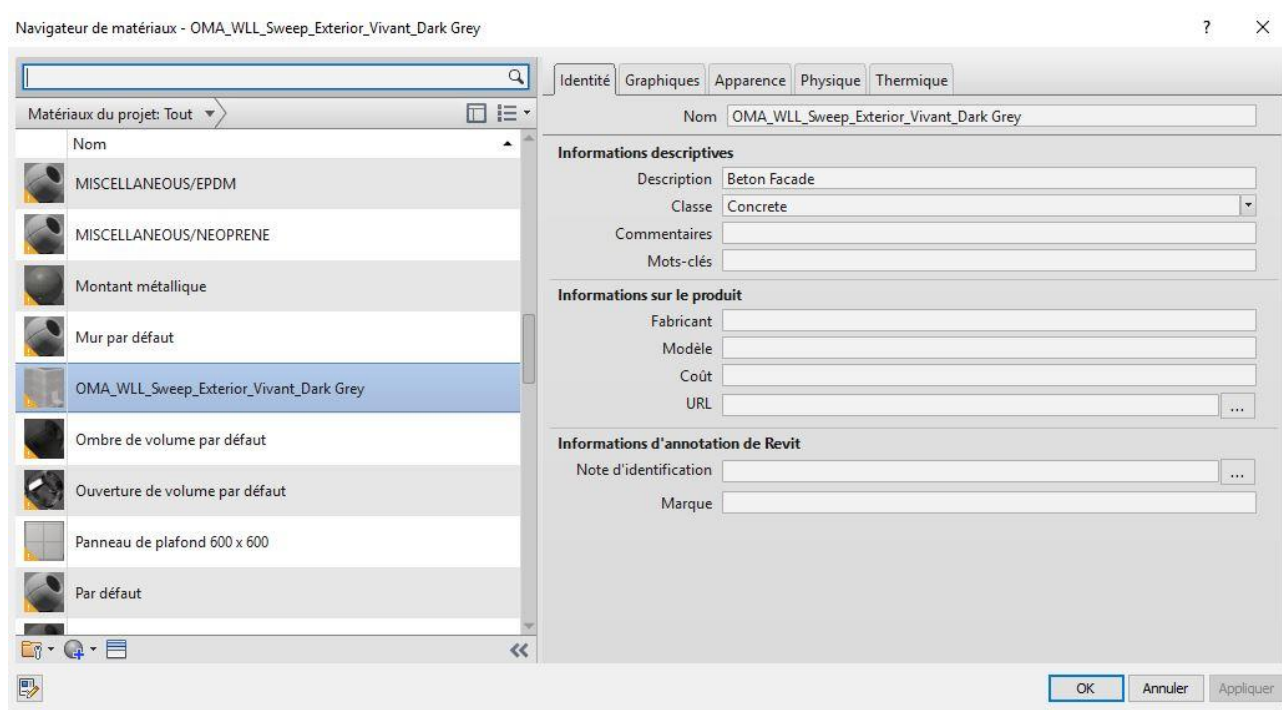
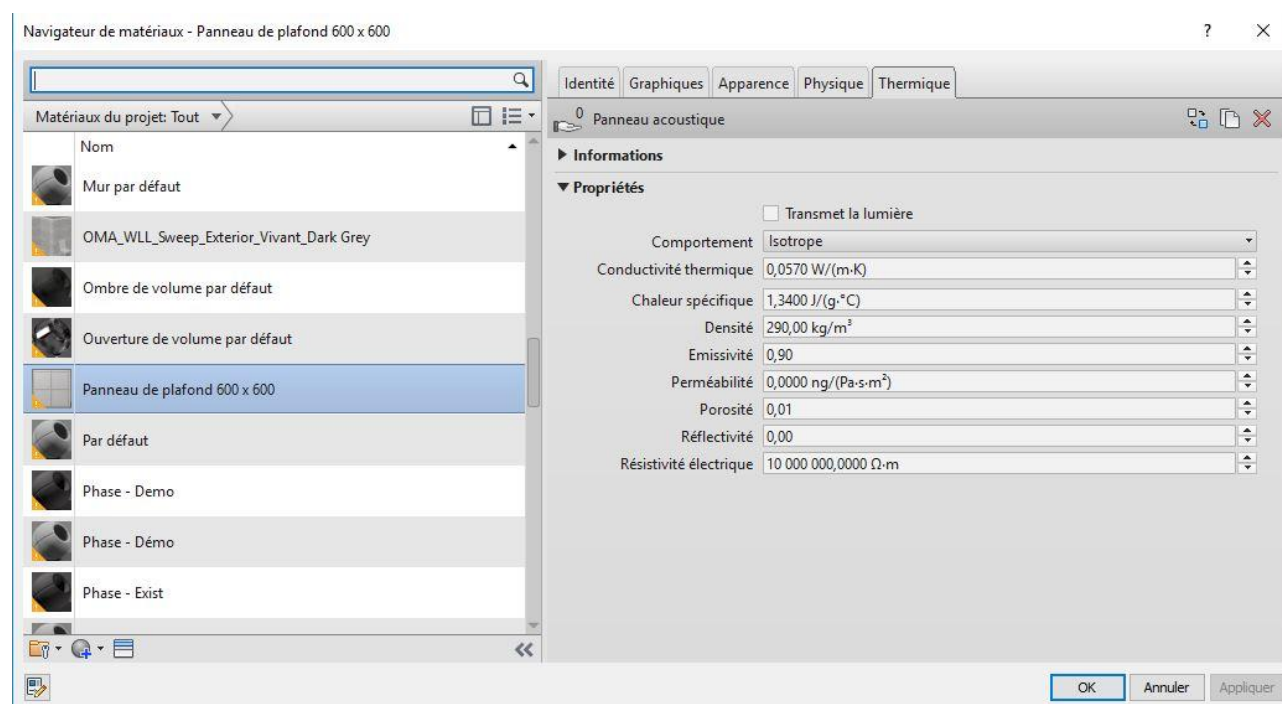


Figure 55 Les matériaux des façades ont les onglets avec les caractéristiques physiques et thermiques qui ont été créés par l'architecte.



Annexe 7 Grille d'entretien pour l'exploitation

1. Contexte : (environ 5 minutes)

Formation et parcours professionnel

Outils utilisés habituellement (demander captures d'écran de l'outil d'exploitation)

- **Quels sont les outils d'exploitation utilisés ?**
- **Configuration de l'équipe**
- **Quels sont les enjeux d'exploitation ?**

2. Enjeux et besoins en exploitation : (environ 15 minutes)

- **Présenter les classifications les plus utilisées en exploitation et demander leurs enjeux et besoins en exploitation selon ces catégories :**

Les usages du BIM en Exploitation établis par l'IFMA (International Facility Management Association) :

- Une meilleure gestion de l'espace
- Un entretien simplifié
- Utilisation efficace de l'énergie
- Rénovations et modernisations économiques
- Une meilleure gestion du cycle de vie

Catégories de performance établies dans la littérature sur Facility Management. (Straub, 2003; Hovde and Moser, 2004; Lützkendorf and Lorenz, 2006; Preiser and Nasar, 2008)

- Technique
- Fonctionnel
- Confort
- Environnemental

Indicateurs basés sur les perceptions des exploitants pendant l'évaluation des performances des bâtiments établis par le groupe GRIC (UPC) en Espagne avec lequel nous avons analysé le BIM en phase exploitation. (Bortolini & Forcada, 2018)

- La performance énergétique
- Santé et confort
- La sécurité et le bon fonctionnement des tests
- Fonctionnalité de l'espace 4 *space planning*

- **Quel est votre avis par rapport à cette catégorisation émergeant des analyses menées pendant les phases de conception et de construction (Gordo-Gregorio, 2020) ?**

- Enjeux techniques (liés aux éléments constructifs, matériaux et équipements)
- Enjeux fonctionnels des espaces
- Enjeux administratifs
- Enjeux réglementaires (réglementation incendie, acoustique, environnemental, etc.)
- Enjeux économiques
- Enjeux quantitatifs / Dimensionnels / métrés
- Enjeux géographiques

- **Avec quelle classification vous sentez-vous plus identifié ?**

3. Les obstacles rencontrés (environ 20 minutes)

- **Expliquer le lien entre les phases de conception et construction et l'exploitation.**
- **Expliquer les principaux problèmes rencontrés dans les projets BIM en exploitation.**

4. Types de données utilisées en exploitation (environ 5 minutes)

Exemple :

- **Inventaire** (Description, SITE, Bâtiment, Type, DEM_TOPO, DEM_TECH_Section Technique, DEM_TECH_Familles, DEM_EQPT_Equipement-Composant, DEM_EQPT_Parent, DEM_EQPT_Désignation, DEM_EQPT_Marque, DEM_EQPT_Type, DEM_EQPT_Référence Technique, DEM_EQPT_Date de Mise En Service, DEM_EQPT_Durée Garantie, DEM_EQPT_Durée de Vie, DEM_EQPT_Consigne & Recommandations, DEM_EQPT_Gamme, DEM_EQPT_Gamme_Désignation)
- **Maintenance** (Durée, Fréquence, Qualification)
- **Autres ?**

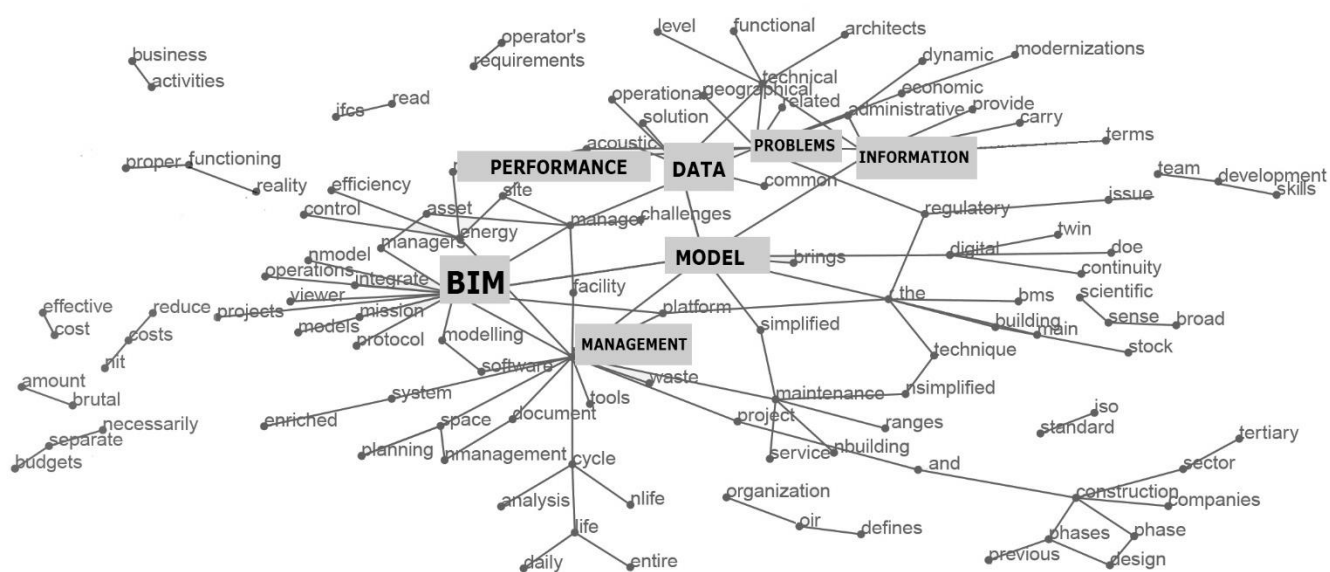
Annexe 8 Analyse du contenu des entretiens utilisant la fouille de textes sur RCloud

Code utilisé afin d'obtenir l'analyse de corrélation lexicale :

```
options(stringsAsFactors = FALSE)
require(tm)
require(cooccur)
require(visNetwork)
require(tidytext)
require(pdftools)
require(dplyr)
require(igraph)
require(tidyr)
require(ggraph)

require(tm)
All_Files<-list.files(pattern = "pdf$")
All_Opinions<-lapply(All_Files,pdf_text)
All_Opinions
document<-Corpus(VectorSource(All_Opinions))
document<-(tm_map(document,content_transformer(tolower)))
document<-(tm_map(document,removeNumbers))
document<-(tm_map(document,removeWords("english")))
document<-(tm_map(document,removePunctuation))
PDFDataframe<-data.frame(text=sapply(document, as.character),stringsAsFactors = FALSE)
New_bigrams<-PDFDataframe%>%
  unnest_tokens(bigram,text,token="ngrams",n=2)
New_bigrams
New_bigrams%>%
  count(bigram, sort= TRUE)
bigrams_separated<-New_bigrams%>%
  separate(bigram,c("word1","word2"),sep = " ")
bigrams_filtered<-bigrams_separated%>%
  filter(!word1 %in% stop_words$word)%>%
  filter(!word2 %in% stop_words$word)
bigrams_counts<-bigrams_filtered%>%
  count(word1,word2,sort=TRUE)
bigrams_counts
bigrams_filtered%>%
  filter(word1!="data")%>%
  count(word2,sort = TRUE)
bigram_graph<-bigrams_counts%>%
  filter(n>2)%>%
  graph_from_data_frame()
bigram_graph
set.seed(2017)
ggraph(bigram_graph,layout
"fr")+geom_edge_link()+geom_node_point()+geom_node_text(aes(label=name),vjust=0.002,hjust=0.002)
```

Résultat brut obtenu (en anglais) :



Annexe 9 Questionnaire envoyé aux occupants

INTRODUCTION

Une plateforme de gestion de bâtiment en BIM a pour enjeu de répondre aux besoins des habitants. Nous avons décidé de lancer une enquête qui réponde aux besoins et aux problématiques des salariés liés à l'exploitation du bâtiment. **Ce questionnaire n'a pas pour but de mettre en œuvre les résultats obtenus mais plutôt d'aider un projet de recherche et de comprendre dans les transformations futures de l'entreprise sur quels sujets les employés sont le plus intéressés.**

Si vous ne savez pas ce qu'est le BIM en exploitation, nous vous laissons une petite explication :

Le BIM en exploitation est un processus qui permet de centraliser l'ensemble des données du bâtiment, qu'elles soient liées à la maquette, aux équipements ou au fonctionnement du bâtiment, sur une seule et même plateforme. Cette centralisation de l'ensemble des données du bâtiment « statiques » (de la maquette numérique du bâtiment) et « dynamiques » (à partir des capteurs placés dans le bâtiment) permet de mettre en corrélation des informations et d'optimiser la gestion.



Figure 56 Exemple des « Données dynamiques et statiques » dans un modèle BIM en exploitation. Source: <https://bim6d.eu/portfolio/din2bim-hospital-del-mar-barcelona/>

PARTIE 1. LES ENJEUX ET BESOINS EN EXPLOITATION

La première partie du questionnaire fait référence aux besoins et intérêts en exploitation des collaborateurs au sein de l'entreprise, et la deuxième partie à l'impact que le BIM pourrait avoir dans leur vie quotidienne.

DONNÉES PERSONNELLES

Homme ou femme

Quel est votre âge ?

Dans quel pôle travaillez-vous ?

Depuis combien de temps travaillez-vous sur ce bâtiment ?

Laquelle des affirmations suivantes décrit le mieux votre zone de travail ?

- 1- Bureau individuel
- 2- Bureau partagé avec 1 ou 2 personnes
- 3- Bureau partagé avec plusieurs personnes
- 4- Open Space

Évaluez votre maturité BIM

- 1- Je ne sais pas ce qu'est un projet BIM
- 2- Je sais ce qu'est un projet BIM mais je n'ai jamais travaillé dans un tel projet.
- 3- J'ai travaillé dans un projet BIM mais sans interagir avec le modèle BIM.
- 4- J'ai travaillé dans un projet BIM et j'ai ouvert un modèle BIM dans un viewer au moins une fois.
- 5- J'ai travaillé dans un projet BIM et j'ai modélisé ou intégré des informations sur un modèle une fois.
- 6- J'ai travaillé dans des projets BIM et j'ai modélisé et intégré des informations sur un modèle BIM plusieurs fois.
- 7- J'ai travaillé sur plusieurs projets BIM et je sais comment en gérer un.

Indiquez dans quelle mesure il est important pour vous de les contrôler dans votre espace de travail:	1	2	3	4	5	6	7
Confort thermique	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Équipements techniques	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gestion des espaces extérieurs (jardin, potager, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gestion et réservation des espaces intérieurs (salles de réunion, gymnase, salle à manger etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Qualité de l'air	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bruit	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Éclairage et confort visuel	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Évaluez votre implication sur les sujets suivants au sein de votre entreprise	1	2	3	4	5	6	7
Esthétique (conception et image du bâtiment)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Santé et confort	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sûreté et sécurité	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Environnement et énergie	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Administration	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

PARTIE 2. INTERETS BIM EN EXPLOITATION

Trouveriez-vous utile d'utiliser une plateforme de gestion des bâtiments en exploitation connectée à la maquette numérique dans les domaines suivants ?

	1	2	3	4	5	6	7
Esthétique - Conception et image du bâtiment (exemple : utiliser le modèle numérique pour le marketing, la communication, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Santé et confort (exemple : donner son avis sur ce que l'on ressent à travers cette plateforme)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sécurité et sûreté (exemple : pouvoir vérifier l'état de sécurité des équipements, les voies et sorties d'évacuation, les consignes de sécurité de l'entreprise, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Environnement et énergie (exemple : pouvoir contrôler la consommation d'énergie, le plan de gestion des déchets, le suivi des éoliennes, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Administratif (exemple : être capable de connecter le serveur avec la maquette numérique, avoir accès à certaines informations du bâtiment comme les fiches techniques des produits ou les informations des matériaux.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Indiquez dans quelle mesure vous aimeriez pouvoir les contrôler par le biais d'une plateforme de gestion du bâtiment connectée au modèle numérique du bâtiment (Image 1 introduction).

	1	2	3	4	5	6	7
Confort thermique	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Équipements techniques	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gestion des espaces extérieurs (jardin, potager, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gestion et réservation des espaces intérieurs (salles de réunion, gymnase, salle à manger etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Qualité de l'air	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bruit	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Éclairage et confort visuel	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Comportement et productivité

	1	2	3	4	5	6	7
Je pense qu'avec une plateforme BIM qui me permet d'interagir avec différents paramètres de confort tels que la lumière, la consommation d'énergie, la température, etc., ma productivité pourrait être meilleure.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pensez-vous que vous changeriez votre comportement et que vous vous sentiriez plus impliqué dans l'amélioration et la gestion des bâtiments si votre entreprise vous fournissait ce type de plateforme BIM ?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Satisfaction

	1	2	3	4	5	6	7
J'aimerais pouvoir évaluer la satisfaction générale de l'espace dans lequel je travaille de manière périodique grâce à une plateforme connectée à un modèle BIM.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Commentez d'autres utilisations que vous aimeriez voir incorporées dans une plateforme pour l'exploitation des bâtiments en BIM :

.....
.....

Commentez les outils (si vous en connaissez) que vous aimeriez voir incorporés dans une plateforme d'exploitation des bâtiments BIM :

-
.....
.....

Commentez d'autres questions liées à l'usage du BIM au sein de l'entreprise qui vous intéressent et que vous souhaitez faire remonter :

.....
.....

Annexe 10 Tables de contingence et analyse du Chi carré sur les enjeux des occupants

Résultats obtenus avec l'outil RCloud :

Table 7 Table de contingence et analyse du Chi carré des intérêts des occupants pendant la gestion des bâtiments par entreprise.

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable (Importance)	Tableau de données:			P-value:
Confort thermique (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	57	11	1	
Entreprise B-Espagne	30	4	3	
	X-squared = 3.285, df = 2			p-value = 0.194
Équipements tech.(Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	44	20	5	
Entreprise B-Espagne	32	4	1	
	X-squared = 6.126, df = 2			p-value = 0.047
Gestion des espaces ext. (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	14	38	17	
Entreprise B-Espagne	8	15	14	
	X-squared = 2.4728, df = 2			p-value = 0.290
Gestion des espaces int. (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	31	33	5	
Entreprise B-Espagne	18	14	5	
	X-squared = 1.6168, df = 2			p-value = 0.446
Qualité de l'air (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	47	21	1	
Entreprise B-Espagne	30	6	1	
	X-squared = 2.6695, df = 2			p-value = 0.263
Confort Acoustique (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	59	8	2	
Entreprise B-Espagne	34	3	0	
	X-squared = 1.4664, df = 2			p-value = 0.480
Confort Visuel (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	60	9	0	
Entreprise B-Espagne	33	3	1	
	X-squared = 2.3968, df = 2			p-value = 0.302
Image (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	27	31	11	
Entreprise B-Espagne	16	16	5	
	X-squared = 0.20994, df = 2			p-value = 0.900
Santé et confort (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	53	14	2	
Entreprise B-Espagne	31	5	1	
	X-squared = 0.76801, df = 2			p-value = 0.681
Sûreté et sécurité (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	39	22	8	
Entreprise B-Espagne	30	6	1	
	X-squared = 6.7126, df = 2			p-value = 0.035
Environnement (Enjeu / Entreprise)	High	Medium	Low	
Entreprise A-France	54	13	2	
Entreprise B-Espagne	31	5	1	
	X-squared = 0.49737, df = 2			p-value = 0.780
Administration (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indifférent	Faible	
Entreprise A-France	25	32	12	
Entreprise B-Espagne	26	8	3	
	X-squared = 11.178, df = 2			p-value = 0.004

Table 8 Table de contingence et analyse du Chi carré des intérêts des occupants pendant la gestion des bâtiments en BIM par entreprise.

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable (Utilisant le BIM en exploitation)	Tableau de données:			P-value:
Confort thermique (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	48	17	4	
Entreprise B-Espagne	29	4	3	
	X-squared = 2.7822, df = 2			p-value = 0.249
Équipements tech.(Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	35	26	7	
Entreprise B-Espagne	25	8	3	
	X-squared = 3.2584, df = 2			p-value = 0.196
Gestion des espaces ext. (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	30	30	8	
Entreprise B-Espagne	15	17	4	
	X-squared = 0.091596, df = 2			p-value = 0.955
Gestion des espaces int. (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	35	22	12	
Entreprise B-Espagne	18	11	6	
	X-squared = 0.0046043, df = 2			p-value = 0.998
Qualité de l'air (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	44	19	5	
Entreprise B-Espagne	25	10	1	
	X-squared = 0.93392, df = 2			p-value = 0.627
Confort Acoustique (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	39	8	21	
Entreprise B-Espagne	26	1	9	
	X-squared = 3.3118, df = 2			p-value = 0.191
Confort Visuel (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	45	21	3	
Entreprise B-Espagne	25	8	2	
	X-squared = 0.70146, df = 2			p-value = 0.704
Image (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	34	21	14	
Entreprise B-Espagne	17	15	5	
	X-squared = 1.3967, df = 2			p-value = 0.497
Santé et confort (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	42	21	6	
Entreprise B-Espagne	26	9	2	
	X-squared = 0.99501, df = 2			p-value = 0.608
Sûreté et sécurité (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	32	30	7	
Entreprise B-Espagne	23	12	2	
	X-squared = 2.5355, df = 2			p-value = 0.282
Environnement (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	50	16	3	
Entreprise B-Espagne	26	8	3	
	X-squared = 0.64392, df = 2			p-value = 0.725
Administration (Enjeu / Entreprise)	Elevé	Indiffèrent	Faible	
Entreprise A-France	31	31	7	
Entreprise B-Espagne	17	16	4	
	X-squared = 0.031217, df = 2			p-value = 0.985

Table 9. Table de contingence et analyse du Chi carré comparant les enjeux des occupants utilisant une plateforme BIM intégrant la maquette numérique du bâtiment selon l'âge.

Test du chi carré corrigé de Yates				
Variable (Utilisant le BIM en exploitation)	Tableau de données:			P-value:
Confort thermique (Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	33	8	6	
Moins de 40 ans	43	13	1	
	X-squared = 5.1639, df = 2			p-value = 0.07563
Équipements tech.(Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	26	15	6	
Moins de 40 ans	33	19	4	
	X-squared = 0.92173, df = 2			p-value = 0.6307
Gestion des espaces ext. (Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	12	22	13	
Moins de 40 ans	15	26	15	
	X-squared = 0.023294, df = 2			p-value = 0.9884
Gestion des espaces int. (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	24	12	10	
Moins de 40 ans	28	21	8	
	X-squared = 1.8306, df = 2			p-value = 0.4004
Qualité de l'air (Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	35	10	2	
Moins de 40 ans	41	17	0	
	X-squared = 3.1709, df = 2			p-value = 0.2049
Confort Acoustique (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	28	14	5	
Moins de 40 ans	36	15	4	
	X-squared = 0.46156, df = 2			p-value = 0.7939
Confort Visuel (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	28	14	4	
Moins de 40 ans	41	15	1	
	X-squared = 3.1449, df = 2			p-value = 0.2075
Image (Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	20	9	18	
Moins de 40 ans	30	10	18	
	X-squared = 0.91024, df = 2			p-value = 0.6344
Santé et confort (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	30	13	4	
Moins de 40 ans	37	17	4	
	X-squared = 0.11354, df = 2			p-value = 0.9448
Sûreté et sécurité (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	28	14	5	
Moins de 40 ans	27	27	4	
	X-squared = 3.1333, df = 2			p-value = 0.2087
Environnement (Enjeu / Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	28	4	15	
Moins de 40 ans	48	2	9	
	X-squared = 6.1502, df = 2			p-value = 0.04619
Administration (Enjeu/ Age)	Elevé	Indifférent	Faible	
Plus de 40 ans	19	20	8	
Moins de 40 ans	29	26	3	
	X-squared = 4.0305, df = 2			p-value = 0.1333