



HAL
open science

Diffusion, adoption et implémentation du BIM dans les agences d'architecture en France

Elodie Hochscheid

► **To cite this version:**

Elodie Hochscheid. Diffusion, adoption et implémentation du BIM dans les agences d'architecture en France. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Lorraine, 2021. Français. NNT : 2021LORR0207 . tel-03633019v2

HAL Id: tel-03633019

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03633019v2>

Submitted on 6 Apr 2022

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

École Doctorale IAEM Lorraine
Laboratoire MAP-CRAI
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie
UMR MAP n°3495 (CNRS/MC MAP)
École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

Thèse

Présentée par

Élodie HOCHSCHEID

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE
Mention : Sciences de l'Architecture

Sous la direction de Gilles HALIN

Diffusion, adoption et implémentation du BIM dans les agences d'architecture en France

Soutenance publique le 20 avril 2021

Membres du jury :

Directeur de thèse :	M Gilles HALIN	Maître de conférences et HDR, Université de Lorraine, Nancy, France.
Présidente de jury :	Mme Sylvie JANCART	Chargée de cours, Université de Liège, Belgique.
Rapporteurs :	Mme Sylvie JANCART	Chargée de cours, Université de Liège, Belgique.
	M Erik POIRIER	Professeur, École de Technologie Supérieure de Montréal, Canada.
Examineurs :	M Mohamad KASSEM	Professeur, Université de Northumbria, Newcastle, Grande-Bretagne.
	M Florent CHAMPY	Directeur de recherche au CNRS, Université de Toulouse, France.

Table des matières

Introduction	13
PARTIE1. ÉTAT DE L'ART	20
Chapitre 1 L'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'architecte	21
1.1 <i>L'ouvrage d'architecture : cycle de vie, acteurs et modèles de gestion de projet</i>	22
1.1.1 Le cycle de vie de l'ouvrage	22
1.1.2 Modèles de gestion de projet et structures contractuelles associées.....	24
1.2 <i>La maîtrise d'œuvre et son évolution</i>	29
1.2.1 Le rôle et les missions de la maîtrise d'œuvre aujourd'hui.....	29
1.2.2 La constitution de la maîtrise d'œuvre : l'effritement des missions de l'architecte.....	30
1.3 <i>La profession d'architecte</i>	33
1.3.1 Architecte : missions et déontologie	33
1.3.2 La construction d'une identité d'architecte-artiste et le rejet de la rationalisation.....	34
1.3.3 La rationalisation progressive de la construction et de la conception	38
1.3.4 L'informatisation des agences au cours des années 1990-2000	39
1.4 <i>Données démographiques sur le secteur de l'architecture et de la construction</i>	41
1.4.1 Les agences d'architecture.....	41
1.4.2 Le secteur de la construction.....	42
1.5 <i>Conclusion du chapitre</i>	45
Chapitre 2 Le BIM, une technologie de rupture ?	46
2.1 <i>BIM : une continuité avec les précédentes innovations du secteur de la construction</i>	47
2.1.1 La naissance et l'évolution de la CAO.....	47
2.1.2 BIM : définition, intérêt et utilisation.....	52
2.2 <i>Le BIM : une technologie de rupture ?</i>	56
2.2.1 Un nouveau cadre pour le travail en BIM pour la conception	56
2.2.2 De nombreux problèmes restent non résolus.....	63
2.3 <i>Des initiatives incitatives partout dans le monde, et un réveil tardif pour la France.</i>	67
2.3.1 Le contexte international	67
2.3.2 Le BIM en France : quel niveau d'avancement, quelles stratégies, quelles réactions ?	69
2.4 <i>Conclusion du chapitre</i>	75
Chapitre 3 L'acceptation des innovations et le changement dans les organisations	76
3.1 <i>Les innovations et leur propagation dans un système social</i>	77
3.1.1 L'innovation.....	77

3.1.2	Théorie de la diffusion des innovations.....	78
3.1.3	La diffusion des innovations dans le secteur de la construction	81
3.2	<i>Pourquoi les organisations changent et comment les individus acceptent les innovations</i>	<i>84</i>
3.2.1	L'environnement comme moteur du changement : une perspective adaptative.....	84
3.2.2	L'environnement comme facteur déterminant : une perspective déterministe.....	85
3.3	<i>Gestion et conduite du changement dans les organisations</i>	<i>90</i>
3.3.1	Le changement à l'échelle de l'organisation : une notion complexe et multifacettes.....	90
3.3.2	Conduire le changement : leviers, risques, et conséquences.....	94
3.4	<i>Conclusion du chapitre.....</i>	<i>102</i>
Conclusion de la partie		103
 PARTIE 2. PROPOSITION N°1 : UN CADRE DE RECHERCHE POUR ÉTUDIER L'ADOPTION DU BIM ..106		
 Chapitre 4 Un Modèle Unifié du Processus d'Adoption du BIM.....107		
4.1	<i>Proposition de clarification des terminologies de diffusion, adoption, implémentation et appropriation d'une innovation</i>	<i>110</i>
4.1.1	Diffusion de l'innovation	110
4.1.2	Adoption de l'innovation	110
4.1.3	Implémentation de l'innovation.....	112
4.1.4	Appropriation d'une innovation	112
4.2	<i>Processus d'adoption du BIM : le besoin d'un modèle unificateur</i>	<i>114</i>
4.2.1	Le processus d'adoption de Rogers revisité pour étudier l'adoption du BIM	114
4.2.2	Un focus sur l'implémentation du BIM.....	117
4.2.3	Processus d'adoption et niveau de maturité	118
4.2.4	Autres perspectives	119
4.2.5	Synthèse.....	119
4.3	<i>Processus d'adoption du BIM : proposition d'un modèle unificateur.</i>	<i>121</i>
4.3.1	La nécessité de proposer un modèle unificateur et les pistes de recherche	121
4.3.2	Phases et jalons du processus d'adoption d'une innovation dans une organisation.....	123
4.3.3	Sorties du processus d'adoption	127
4.3.4	Les facteurs qui influencent le processus d'adoption.....	129
4.3.5	Synthèse et perspectives / hypothèses.....	130
 Chapitre 5 Les facteurs qui influencent le processus d'adoption		132
5.1	<i>Positionnement des facteurs d'adoption.....</i>	<i>133</i>
5.1.1	Échelles de travail : des contextes interdépendants	133
5.1.2	Facteurs de décision et facteurs d'implémentation.....	135

5.1.3	Quatre domaines de facteurs.....	135
5.1.4	La nature positive ou négative de l'influence des facteurs	139
5.2	<i>Les facteurs qui influencent le processus d'adoption d'une innovation dans une organisation</i>	<i>141</i>
5.2.1	Pourquoi une organisation décide d'utiliser une innovation : les facteurs de décision.....	141
5.2.2	Facteurs d'implémentation : ce qui influence le succès de l'implémentation	146
5.2.3	Synthèse sur les facteurs qui influencent l'adoption d'une innovation à l'échelle micro	151
5.3	<i>Étude des facteurs qui influencent le processus d'adoption du BIM à l'échelle micro</i>	<i>153</i>
5.3.1	Analyse des méthodes employées pour étudier les facteurs d'adoption du BIM.....	153
5.3.2	Référencement des facteurs d'adoption du BIM.....	156
5.4	<i>Proposition d'un cadre pour l'étude des facteurs d'adoption du BIM</i>	<i>161</i>
5.4.1	Positionnement de la recherche.....	161
5.4.2	Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM au niveau Micro	163
5.4.3	Conclusion.....	167
PARTIE 3. ENQUÊTE SUR LES PRATIQUES NUMÉRIQUES DANS LES AGENCES		169
Chapitre 6	Une enquête par entretiens.....	170
6.1	<i>Préparation et conduite des entretiens</i>	<i>171</i>
6.1.1	Positionnement de l'enquête	171
6.1.2	Trame et déroulement.....	172
6.2	<i>Des situations et réactions variées face au BIM.....</i>	<i>174</i>
6.2.1	Différentes situations face à l'implémentation du BIM.....	174
6.2.2	Des stratégies pour éviter ou minimiser l'utilisation du BIM	177
6.3	<i>Les préoccupations des architectes.....</i>	<i>181</i>
6.3.1	Les outils de dessin : la principale préoccupation des architectes au sujet du BIM.	181
6.3.2	Le déroulement de l'adoption	182
6.4	<i>Synthèse et conclusion sur les entretiens.....</i>	<i>185</i>
Chapitre 7	Une enquête par questionnaire auprès des agences	187
7.1	<i>Préparation et diffusion de l'enquête</i>	<i>188</i>
7.1.1	Les enquêtes sur l'adoption du BIM	188
7.1.2	Élaboration, mode de passation et administration du questionnaire	189
7.1.3	Profil des répondants et des agences représentées	192
7.2	<i>Organisation et cartographie du secteur de l'architecture.....</i>	<i>196</i>
7.2.1	Espace socio-économique des agences d'architecture (ESÉAA)	196
7.2.2	L'espace socio-économique des agences d'architecture et ses implications	203
7.3	<i>Diffusion du BIM dans les agences françaises.....</i>	<i>206</i>

7.3.1	Perception et diffusion du BIM au sein des agences	206
7.3.2	Niveau d'adoption BIM des agences.....	211
7.4	<i>Qui sont les agences qui travaillent en BIM ?</i>	215
7.4.1	Espace socio-économique des agences d'architecture et pratiques numériques	215
7.4.2	Les éléments qui expliquent le mieux le niveau de maturité d'une agence.....	218
7.4.3	Bilan : qui sont les agences qui travaillent en BIM ?.....	236
7.5	<i>Comment se déroule la transition vers des pratiques BIM ?</i>	238
7.5.1	Facteurs de décision : pourquoi les agences commencent-elles à travailler en BIM ?.....	238
7.5.2	Le déroulement de l'implémentation.....	242
7.5.3	Le succès et l'échec de l'implémentation.....	246
7.6	<i>Conclusion de l'enquête</i>	250
7.6.1	Les architectes ont une vision positive du BIM mais peinent à le mettre en œuvre	250
7.6.2	Les facteurs d'influence sont multiples et interconnectés	251
7.6.3	Une implémentation souvent éprouvante	252
7.6.4	L'intérêt d'une méthode pour mettre en œuvre des pratiques BIM confirmé	253
PARTIE 4. PROPOSITION N°2 : UNE FEUILLE DE ROUTE POUR L'IMPLÉMENTATION DU BIM		254
Chapitre 8 Expérimentation avec quatre agences d'architecture au cours de l'implémentation de pratiques BIM 255		
8.1	<i>Construire un cadre pour accompagner l'implémentation du BIM</i>	256
8.1.1	La gestion de projet appliquée au projet d'implémentation	256
8.1.2	Méthodes et représentations de l'implémentation de pratiques BIM.....	258
8.1.3	Synthèse : une feuille de route pour implémenter des pratiques BIM	264
8.2	<i>Immersion et expérimentation dans quatre agences au cours de leur implémentation du BIM</i>	267
8.2.1	Contexte des expériences réalisées	267
8.2.2	Cas n°1 : déploiement d'échanges de fichiers avec une agence de 2 personnes	272
8.2.3	Cas n°2 : déploiement d'ArchiCAD dans une agence parisienne de deux architectes.....	275
8.2.4	Cas n°3 : déploiement d'ArchiCAD dans une agence de 15 personnes	278
8.2.5	Cas n°4 : déploiement d'ArchiCAD et d'échanges BIM avec une agence de 6 personnes	285
8.2.6	Conclusion transversale des études de cas	290
Chapitre 9 Une feuille de route pour l'implémentation des pratiques BIM dans les agences.....		294
9.1	<i>Positionnement de la proposition</i>	295
9.1.1	Un accompagnement qui concerne l'implémentation dans ses dimensions managériale et stratégique	295
9.1.2	Public ciblé par la proposition	298
9.1.3	Une feuille de route.....	299

9.2	<i>Une feuille de route pour déployer des pratiques BIM</i>	301
9.2.1	Déroulement général de l'adoption et de l'implémentation.....	301
9.2.2	Validation	303
9.2.3	Diagnostic.....	308
9.2.4	Planification : élaborer un calendrier de transition	317
9.2.5	Exécution : la partie la plus difficile de l'implémentation.....	322
9.2.6	Ancrage : pérenniser les changements et enclencher l'amélioration continue.....	325
9.2.7	Synthèse.....	327
9.3	<i>Une application web comme support de la feuille de route proposée</i>	329
9.3.1	Pourquoi une application ?	329
9.3.2	Développement de l'application.....	330
9.3.3	Description du fonctionnement de l'application	330
9.3.4	Test utilisateur, conclusion et perspectives.....	335
	Conclusion de la partie	337
	Conclusion générale	339
	Des outils méthodologiques pour analyser l'état de la diffusion de l'adoption du BIM.	340
	Les contradictions entre le BIM et la culture professionnelle des architectes sont nombreuses	342
	L'état de l'adoption des pratiques BIM dans les agences françaises.....	344
	L'implémentation des pratiques BIM et ses difficultés	347
	Perspectives	348
	Bibliographie	350
	Annexes	378

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord ma mère, qui m'a toujours soutenue dans mes choix personnels et professionnels. Merci également à ma grand-mère, ainsi qu'à ma tante Eliane. Vous m'avez toujours encouragée.

Merci à Sacha qui a été à mes côtés pendant tous les moments difficiles de la thèse ; merci aussi à titi qui m'a accompagnée pendant toute la rédaction en ronronnant sur mon bureau et en marchant parfois sur mon clavier... !

Merci biensûr à Gilles, mon directeur de thèse, qui m'a accompagnée tout au long de ce travail et même avant que le doctorat ne débute. Je garderai de nombreux souvenirs forts du doctorat grâce à vous. Je me souviens également très bien de notre première conférence : celle au Japon. Moi qui n'avais jamais quitté l'Europe, j'y ai découvert la communauté scientifique à vos côtés avant même de savoir si je pourrai commencer un doctorat. C'est d'ailleurs depuis Tokyo que j'ai signé et envoyé mon dossier de candidature aux financements publics de thèse de doctorat. Merci au Ministère de la Culture et à la région Grand-Est qui ont financé ce travail. Merci également aux membres du jury qui a évalué mon travail et plus particulièrement à Sylvie Jancart qui présidé ce jury. Si la crise sanitaire qui a frappé en 2020 nous a limités dans nos déplacements, elle nous a permis de nous retrouver depuis quatre pays différents en visioconférence pour ma soutenance.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement les autres doctorants du labo avec qui j'ai partagé sur les difficultés de la thèse : Véronika et Henri-Jean. Merci aux jeunes docs également qui m'avaient alertée sur les bienfaits et autres effets moins désirables de la thèse : Kévin, Anis, Julien, Oscar et Tommy ! Vos conseils m'ont été précieux même si certains d'entre eux ont mis plusieurs années à trouver un sens pour moi. Plus généralement, je souhaite remercier l'équipe du CRAI (et du MAP) pour sa bienveillance et pour les bons moments passés à vos côtés. J'ai le sentiment d'avoir trouvé une seconde famille en intégrant le laboratoire. Merci à mes meilleurs amis d'archi et de thèse pour leur soutien : Enguerran, Robin, Thomas, Carole et Véronika. Merci aussi à Gérald et au Bujinkan de Nancy pour le cadre que vous m'avez apporté !

Merci aux agences qui ont participé aux expérimentations réalisées pendant ce travail : l'agence HAHA, l'agence Bagard & Luron, l'agence Hoge et l'atelier MPA. Merci beaucoup à Stéphane Lutard du CNOA qui nous a permis de diffuser notre enquête, et biensûr merci à tou.t.e.s ceux et celles qui ont pris le temps de répondre à nos questions. Un grand merci aussi aux étudiant.e.s qui ont mené la partie recherche-action à mes côtés : Perrine Mertes, Louis Sauvage, Marc Ribereau-Gaillon et Jérôme Guillaumond. Sans vous cette thèse n'aurait pas eu le même visage ni le même ancrage dans les agences. Merci à Claire Rondeaux qui m'a aidé à développer un prototype d'application. J'ai énormément apprécié travailler avec vous tous. De manière plus générale, je souhaite

remercier tous mes étudiants, et plus particulièrement ceux du master DNA. Vous m'avez beaucoup apporté sur le plan humain et professionnel pendant mes 5 premières années d'enseignement. Comme l'a souligné Gilles au cours de ma soutenance, travailler avec vous m'a transformée, a beaucoup alimenté mon travail de recherche, et votre présence en nombre en visio le jour J m'a énormément touchée.

Merci aussi à toutes celles et tous ceux qui m'ont épaulée à l'école d'architecture de Nancy. Merci aux licioles (et à leur survivance); elles se reconnaîtront, elles qui ont été là pendant les temps difficiles. Merci aux enseignant.e.s de l'école qui m'ont accordé leur confiance en me donnant un mandat pour siéger au conseil d'administration à l'école d'architecture de Nancy pendant mon doctorat. J'ai défendu avec conviction et détermination les intérêts de l'école et de ses communautés au cours de ce mandat qui n'a pas toujours été facile.

Avant de clôturer ces remerciements, je souhaiterais revenir sur le contexte général de mon doctorat. La période 2017-2021 (période de mon doctorat) a été particulièrement bousculée à l'école d'architecture de Nancy, faisant écho à une partie de la littérature scientifique sur laquelle je m'appuie dans mon travail : le changement dans les organisations. En mai 2017, c'est-à-dire 5 mois après le début de mon doctorat, un mur de l'école d'architecture s'effondre, laissant toute la communauté de l'école sans lieu de travail. Nous avons emménagé quelques mois plus tard dans les locaux de l'ancienne école des Beaux-Arts, avenue Boffrand à Nancy (et pour quatre années). Le laboratoire se retrouve alors dans des locaux sous-combles, avec un parquet en bois et dans un grand espace commun très illuminé. C'est donc dans ces locaux « provisoires » mais néanmoins agréables que la plupart de mes souvenirs de thèse se concentrent. En 2018, toutes les écoles d'architecture en France ont connu une réforme assez profonde : la réforme du statut des enseignants-chercheurs. J'ai eu la chance de la vivre de l'intérieur du Conseil d'Administration avec tous les questionnements et les changements que cela implique. En 2019, l'école a traversé un autre moment difficile à la suite duquel elle s'est retrouvée sans direction pendant plusieurs mois. Cette période que je qualifierais de « noire » pour l'ENSAN tout autant que pour moi personnellement. En 2020, la crise sanitaire qui a frappé le monde entier a bouleversé nos quotidiens. J'ai rédigé la plupart des lignes de ce manuscrit depuis chez moi, pendant que le monde entier était confiné. C'est finalement la résilience des personnes et organisations qui m'a frappée à chacune de ces étapes. « Cela aussi passera » me dirai-je aux prochaines étapes (bonnes ou mauvaises) que je rencontrerai pour relativiser.

Toutes les rencontres, tous les échanges et événements qui ont eu lieu au cours de mon doctorat auront eu un impact très important sur mon travail et sur moi. Ils resteront gravés en moi et m'auront aussi définitivement changée.

Résumé

Le Building Information Modeling (BIM) est une technologie innovante qui regroupe un ensemble de méthodes, procédés et outils de travail permettant d'alimenter et d'exploiter une base de données contenant des informations d'un ouvrage tout au long de son cycle de vie. Il permet d'améliorer la performance des ouvrages et la manière dont on les conçoit, construit et gère. Sa diffusion est encouragée en France et à travers le monde, car il porte un fort potentiel à la fois pour le secteur de la construction dans son ensemble et pour le gestionnaire de patrimoine qu'est l'État.

Le BIM nécessite cependant la mise en place d'un cadre technique, réglementaire et humain conséquent. Sa diffusion est lente et il suscite des réactions assez contrastées chez les professionnels, en particulier les architectes. Ces derniers, par la place importante qu'ils tiennent dans l'équipe de maîtrise d'œuvre, constituent un acteur incontournable de la transition de l'ensemble du secteur vers des pratiques BIM. Bien qu'il s'agisse d'une innovation collaborative, l'adoption de pratiques BIM impacte chacune des entreprises qui le mettent en place à titre individuel. Cet impact est très peu connu et étudié pour l'instant, tant au niveau organisationnel qu'à l'échelle du secteur.

Dans ce travail de recherche, nous proposons des modèles permettant d'appréhender la diffusion et l'adoption du BIM au sein des organisations. Nous avons également référencé les facteurs qui impactent la décision d'adopter des pratiques BIM dans les organisations ainsi que ceux qui impactent le succès ou l'échec de sa mise en œuvre. Ces modèles nous ont permis de réaliser une enquête auprès des agences pour cartographier l'état du secteur de l'architecture, de la diffusion du BIM chez les architectes, et la manière dont ils l'implémentent. L'enquête a mis en évidence certaines contradictions entre la culture professionnelle des architectes et la nature du BIM. Le fait que les agences aient commencé à déployer des pratiques BIM malgré ces nombreuses contradictions peut être le marqueur d'un changement culturel important pour la profession d'architecte.

Notre immersion au sein de plusieurs agences nous a permis d'étudier les mécanismes à l'œuvre au cours de l'implémentation d'outils et de pratiques BIM. Cette phase de changement souvent radical pour une agence est difficile à mener. Nous nous sommes donc appuyés sur l'ensemble de nos résultats pour proposer des recommandations et une feuille de route à destination des agences qui souhaitent implémenter des pratiques BIM.

Mots clés : BIM, Building Information Modeling, diffusion, adoption, implémentation, agences d'architecture, feuille de route.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is a set of methods, processes and tools that provide continuity and use of building information throughout its lifecycle. It improves the way buildings are designed, built and managed. BIM diffusion is encouraged in France and throughout the world because it holds great potential both for the Architecture Engineering Construction and Operation (AECO) sector and for the State as an asset manager.

However, its diffusion requires the development of an extensive regulatory, technical and social framework. Its diffusion is slow and raises a broad range of reactions from practitioners, especially architects. As a central member of the project management team and intervening at the beginning of a building lifecycle, architects are a key player of BIM diffusion among the AECO sector. Although BIM is a collaborative innovation, the adoption of BIM practices impacts each firm individually. This impact is very little known and studied, both at the organizational level and at the sector level.

In this research work, we propose several models for understanding the diffusion and adoption of BIM in organizations, as well as the factors that influence it. These models have allowed us to survey architectural firms using mixed methods in order to map the state of the architectural sector, the progress of BIM adoption within firms, and the strategies that they develop to implement BIM practices. The survey highlighted some contradictions between the professional culture of architects and characteristics of the BIM technology. The interest of many design firms in BIM practices despite these contradictions could be a sign of a cultural change.

Our immersion in four architecture firms within the scope of action research has allowed us to study the mechanisms that take place during the implementation of BIM tools and practices. Implementation is often a radical change for a design firm and is difficult to carry out. We exploited all the observations made during the survey and research action to provide recommendations and a roadmap for design firms wishing to implement BIM practices.

Keywords: BIM, Building Information Modeling, diffusion, adoption, implementation, architecture firms, roadmap.

Introduction

Genèse du sujet

Le sujet développé dans cette thèse est né dans un contexte politique, scientifique et personnel particulier. J'ai obtenu mon diplôme d'État d'architecte ainsi que le master spécialisé AME (Architecture Modélisation, Environnement) au cours de l'année universitaire 2014-2015 : c'est l'année de l'intégration du BIM (Building Information Modeling/Management) dans les stratégies de l'État français. Au cours de cette année, de nombreux débats sur le BIM ont animé le secteur de la construction, et notamment les architectes. Pourtant, ce sujet a été quasiment absent de mes études en architecture. J'ai même toujours eu le sentiment que les outils numériques étaient problématiques pour une partie des architectes, en particulier au sein des ateliers de projet dans les écoles d'architecture.

En 2015, j'ai réalisé un stage au sein du laboratoire MAP-CRAI de l'ENSAN et un mémoire de recherche, tous deux orientés sur la thématique du BIM. En 2016, j'ai travaillé en agence d'architecture, enseigné à l'ENSAN (notamment dans un cours d'introduction au BIM), et écrit plusieurs articles scientifiques. La combinaison de ces trois expériences simultanées (milieu professionnel – enseignement – recherche) a mis en évidence pour moi l'intérêt de leur recoupement et a eu un impact décisif sur le développement et déroulement du présent travail de recherche.

En janvier 2017, j'ai finalement commencé cette thèse de doctorat sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation des pratiques BIM au sein des agences d'architecture françaises. Avec Gilles Halin, qui a dirigé ce travail, nous avons rapidement été convaincus que les approches habituelles du laboratoire MAP-CRAI orientées principalement sur le développement de solutions techniques et sur des problématiques organisationnelles ne permettaient pas à elles seules de traiter le sujet. Une approche à l'échelle de la profession était nécessaire pour comprendre la transition en cours et les réactions qu'elle suscite chez les architectes. Le rapport HCERES du laboratoire MAP a d'ailleurs précisé, en juin de cette même année qu'« une plus forte imprégnation par les

réflexions des sciences humaines et sociales serait souhaitable pour donner toute son ampleur au projet [scientifique du laboratoire MAP] » (HCERES 2017).

Contexte et problématique

Depuis quelques années à l'étranger, puis en France, les méthodes BIM sont de plus en plus plébiscitées et utilisées. Depuis 2014, une directive européenne autorise les États membres à rendre les livrables BIM obligatoires pour les marchés publics et plusieurs pays européens ont commencé à s'engager dans ce sens. La France ne l'a pas rendu obligatoire, mais le BIM entre progressivement dans les stratégies de l'État pour améliorer la gestion de son patrimoine bâti.

La technologie innovante du BIM regroupe un ensemble de méthodes, procédés et outils de travail qui permettent d'alimenter et d'exploiter une base de données intégrée de l'ouvrage. Elle a pour objet la rationalisation de la gestion des informations de l'ouvrage tout au long de sa vie, en vue d'améliorer les performances de sa conception, construction, gestion, exploitation, et maintenance. Pour les phases de conception et de construction qui concernent le plus les architectes, cette méthode est censée favoriser les échanges entre les acteurs de la maîtrise d'œuvre très tôt lors de la conception, afin d'intégrer les contraintes lorsque le coût des modifications sur le projet est encore faible. Pour les maîtres d'ouvrages, c'est l'occasion de recueillir des informations issues de la construction qui peuvent être utiles à la gestion de l'ouvrage et donc de leurs parcs immobiliers.

La diffusion du BIM reste néanmoins lente et nécessite la mise en place d'un cadre technique, réglementaire et humain conséquent. Les modalités d'exécution des prestations sont modifiées et des nouvelles missions et professions se développent. La montée en compétences ainsi que l'équipement des professionnels du secteur de la construction à réaliser sont conséquents. La fragmentation du secteur de la construction en petites entreprises et le renouvellement des équipes de projet à chaque opération de construction ralentissent encore davantage la diffusion d'une technologie collaborative comme le BIM.

L'architecte est un acteur clé de la maîtrise d'œuvre : c'est généralement lui qui réalise la synthèse architecturale du projet. Il fait l'interface entre différents acteurs de la maîtrise d'œuvre et est à l'origine des premiers modèles du projet qui sont échangés. Les architectes sont donc un maillon incontournable de la diffusion du BIM. Ils ont pourtant à son égard des réactions très contrastées. Outre le coût de la technologie, certains architectes craignent que le BIM ait un impact négatif sur la production architecturale. Quant aux agences qui souhaitent implémenter ces pratiques, elles ne savent pas toujours par où commencer et expriment leurs difficultés qui dépassent largement le cadre purement technique ou économique.

Notre connaissance de l'état de la diffusion du BIM dans le secteur français est très lacunaire, particulièrement concernant les agences d'architecture (**verrou n°1**). Nous manquons également d'outils conceptuels pour l'analyser efficacement (**verrou n°2**). Le développement des pratiques BIM au niveau français et international semble secouer la profession d'architecte sans que l'on soit en mesure de comprendre les enjeux et l'impact de sa diffusion sur la profession (**verrou n°3**). Enfin, il semble que les pratiques BIM soient particulièrement difficiles à implémenter. Pourtant, les guides et la documentation qui vise à faciliter la mise en œuvre de ces pratiques dépassent rarement les dimensions techniques de l'implémentation pour s'intéresser aux ressorts culturels, professionnels et organisationnels qui sont alors en jeu (**verrou n°4**).

Notre travail répond à **deux objectifs principaux**. Le premier est de constituer une connaissance des facteurs, processus et problématiques opérationnelles liés à l'intégration de pratiques BIM dans les agences d'architecture. Le second est de proposer des outils et recommandations pour faciliter l'implémentation de pratiques BIM dans les agences d'architecture. Pour atteindre ces deux objectifs, **notre approche prend largement appui sur notre connaissance du terrain** permise par la mise en œuvre de différentes méthodes d'enquête. Le sujet a été traité à de **multiples échelles** : celle de la profession d'architecte, de la population d'agences d'architecture, des agences, ainsi que celle des individus.

Plan de thèse

Ce travail est constitué de quatre parties (voir **Figure 1**) qui regroupent en tout neuf chapitres. Ce travail compte deux principales propositions : la proposition n°1, un cadre de recherche à portée plutôt théorique ; et une proposition n°2, une feuille de route pour l'implémentation du BIM dans les agences qui a quant à elle une portée plus pratique.

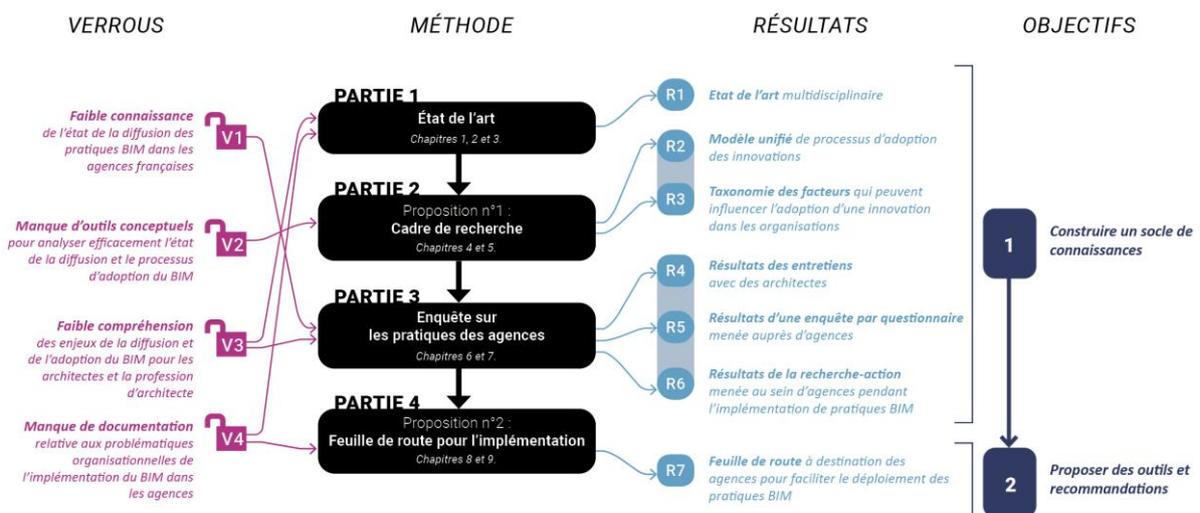


Figure 1. Plan général du manuscrit intégrant les verrous identifiés, et les principaux résultats de notre recherche

La **première partie** est un état de l'art concernant d'une part **la maîtrise d'œuvre et la profession d'architecte**, d'autre part la **technologie BIM**, et enfin **l'intégration des innovations dans les organisations**. Cette partie constitue donc notre premier résultat (R1) : un socle de connaissances multidisciplinaire. Sur la base de ce dernier, nous avons constitué un cadre de recherche en deux volets dans une **seconde partie**. Ce cadre est composé d'**un modèle unifié de processus d'adoption des innovations** (R2) et d'**une taxonomie des facteurs qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation dans les organisations** (R3). Nous nous sommes appuyés sur ces deux résultats pour structurer la suite de notre travail. Dans une **troisième partie**, nous présentons l'enquête que nous avons menée auprès des architectes. Celle-ci s'est déroulée en deux temps : des **entretiens** (R4), puis un **questionnaire** destiné aux agences françaises (R5). Enfin, dans la **dernière partie**, nous présentons des recommandations et une feuille de route à destination des agences qui souhaitent implémenter des pratiques BIM. Cette partie est composée de deux volets : les **résultats de la recherche-action menée au sein des agences que nous avons suivies au cours de l'implémentation** de pratiques BIM (R6) et une **feuille de route** à destination des agences pour faciliter le déploiement des pratiques BIM (R7). Ce manuscrit compte neuf chapitres, répartis en quatre parties. En voici le résumé :

PARTIE 1. ÉTAT DE L'ART

Chapitre 1 : L'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'architecte

Ce premier chapitre décrit le contexte général du secteur de la construction et de la profession d'architecte. Nous y évoquons le cycle de vie d'un ouvrage ainsi que les différents acteurs qui y contribuent. Nous revenons également sur les missions et la déontologie de l'architecte ainsi que la constitution de son identité professionnelle.

Chapitre 2 : Le BIM, une technologie de rupture ?

Dans ce chapitre, nous présentons la genèse du BIM, les implications de son développement ainsi que son décalage actuel avec les pratiques courantes du secteur de la construction. Nous présentons également les initiatives gouvernementales qui ont vocation à favoriser sa diffusion.

Chapitre 3 : L'acceptation des innovations et le changement dans les organisations

Ce chapitre aborde la notion d'innovations, la manière dont elles se diffusent dans une population donnée, les raisons qui poussent les organisations et les individus à les adopter, ainsi que la mise en oeuvre des changements dans les organisations. Le déploiement des innovations est abordé à trois échelles : celle de la population d'organisations, celle de l'organisation, et de l'individu.

PARTIE 2. PROPOSITION N°1 :

UN CADRE DE RECHERCHE POUR ÉTUDIER L'ADOPTION DU BIM

Chapitre 4 : [Processus d'adoption du BIM](#)

Ce chapitre prend appui sur l'état de l'art réalisé pour proposer le Modèle Unifié du Processus d'Adoption des Innovations, qui décrit les différentes étapes que traverse une organisation lorsqu'elle est confrontée à une innovation et qu'elle la met en œuvre. Nous y proposons une clarification des notions de diffusion, adoption, implémentation et appropriation sur lesquelles nous nous appuyons dans le reste de notre travail.

Chapitre 5 : [Les facteurs qui influencent le processus d'adoption](#)

Ce chapitre s'appuie sur le processus d'adoption pour distinguer deux types de facteurs qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation : les facteurs qui influencent la décision de mettre en place une innovation et les facteurs qui influencent le déroulement et l'issue de son implémentation. Nous nous appuyons dans ce chapitre sur une littérature très variée issue des domaines de l'économie, de la sociologie des organisations, du management, ainsi que sur des travaux menés en psychologie sociale pour proposer une taxonomie des facteurs qui influencent le processus d'adoption.

PARTIE 3. ENQUÊTE SUR LES PRATIQUES NUMÉRIQUES DANS LES AGENCES

Chapitre 6 : [Une enquête par entretiens](#)

Ce chapitre présente les résultats d'entretiens menés avec des architectes. Ils ont permis de mettre en évidence un large éventail de situations et réactions des architectes par rapport à la mise en place de pratiques BIM. Ces entretiens ont mis en évidence des stratégies qu'ils mettent en œuvre pour éviter de mettre en place des pratiques BIM, ainsi que les principales préoccupations des architectes par rapport à leur mise en œuvre.

Chapitre 7 : [Une enquête par questionnaire](#)

Dans ce chapitre, nous présentons l'enquête par questionnaire que nous avons réalisée auprès d'agences d'architecture françaises. Celle-ci avait pour objet de dresser un état de l'adoption du BIM. Après avoir cartographié la population d'agences, nous avons pu dresser cet état des lieux et identifier les principales stratégies qu'elles mettent en œuvre pour implémenter des pratiques BIM.

PARTIE 4. PROPOSITION N°2 :

UNE FEUILLE DE ROUTE POUR IMPLÉMENTER DES PRATIQUES BIM

Chapitre 8 : Suivi de quatre agences au cours de l'implémentation de pratiques BIM

Ce chapitre présente les résultats d'une recherche-action menée avec quatre agences d'architecture que nous avons suivies pendant qu'elles déployaient des pratiques BIM entre 2015 et 2018. Nous proposons d'abord un cadre d'accompagnement de l'implémentation en nous appuyant sur les résultats de nos précédents travaux et sur des méthodes de gestion de projet appliquées ici à la gestion d'un projet d'implémentation. Ce cadre est ensuite utilisé pour suivre les agences et analyser les résultats de nos observations au cours de ces expérimentations.

Chapitre 9 : Une feuille de route pour l'implémentation de pratiques BIM dans les agences

Dans ce chapitre, nous nous appuyons sur l'ensemble des connaissances rassemblées dans ce travail de recherche (état de l'art, enquête par entretiens, enquête par questionnaire, résultats de la recherche-action) pour proposer un ensemble de recommandations à destination des agences d'architecture qui implémentent des pratiques BIM. Ces recommandations sont organisées sous la forme d'une feuille de route qui a fait l'objet du développement d'un prototype d'application, destiné à la valoriser de façon ludique auprès des agences.

L'objet d'étude ici porté sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation du BIM dans les agences d'architecture a permis également d'adopter une perspective plus large sur la profession d'architecte et son évolution. Nous avons notamment identifié des ressorts culturels de la profession qui impactent la manière dont les architectes appréhendent les évolutions de la maîtrise d'œuvre, de leur métier et des outils de la conception. La perspective de travail ici adoptée a également permis de dégager des pistes sur l'évolution de la maîtrise d'œuvre, du secteur de l'architecture et de l'organisation du travail dans les agences.

L'auteure de cet ouvrage adopte une posture pragmatique. La sociologie pragmatique prend notamment appui sur la théorie de l'enquête (Dewey, Deledalle 1994) qui pose comme base de travail que l'observation des évolutions du monde (par des enquêtes) permet d'envisager des moyens d'y faire face. La sociologie pragmatique est attachée à une description empirique des pratiques, elle lie les échelles micro (individu/entreprise) et macro (contexte économique et social), intègre la temporalité historique des phénomènes dans leur description et leur analyse, elle étudie les actions des individus et leurs prises de décision en considérant à la fois leurs

motivations rationnelles et inconscientes, et étudie les éléments externes à l'individu qui peuvent l'influencer dans ses actions tout en considérant qu'il conserve une certaine capacité d'action sur sa situation (Moffette 2015; Barthe et al. 2013; Breviglieri, Stavo-Debaugé 1999). L'enquête y est vue comme un processus qui ne consiste pas à identifier ou valider/invalides des hypothèses de façon binaire, mais à affiner progressivement la compréhension d'un phénomène en le confrontant à plusieurs « épreuves » (plusieurs méthodes d'enquête différentes, plusieurs méthodes d'analyse, etc.). Cet ouvrage combine donc plusieurs méthodes d'enquête et d'analyse statistique, avec une présentation des résultats nuancés, mis en perspective avec l'étude de la trajectoire historique de la CAO et de la profession d'architecte. Les enquêtes et analyses ont ainsi naturellement abouti à la proposition d'une feuille de route à destination des acteurs qui souhaitent faciliter l'implémentation de pratiques BIM dans les agences d'architecture.

Ce travail de recherche propose donc **trois principales contributions à la connaissance** : une **contribution théorique** (des modèles conceptuels développés dans la partie 2 et constituant un cadre de recherche) ; une **contribution qui peut être un appui à la décision politique** (un état du secteur et des enjeux de l'adoption du BIM au moment du début de la diffusion du BIM en France présenté en partie 3) ; ainsi qu'une **contribution pratique à destination des professionnels** (une feuille de route à destination des agences qui souhaitent déployer des pratiques BIM, présentée en partie 4).

Partie 1 :

État de l'art

Ce travail de recherche répond à deux principaux objectifs : améliorer notre connaissance de l'adoption de pratiques BIM dans les agences d'architecture, et proposer des outils permettant d'en faciliter l'implémentation. Pour cela, il nous est nécessaire de comprendre les enjeux principaux liés au secteur de la construction et à la profession d'architecte (chapitre 1), au BIM, à ses évolutions et ses enjeux (chapitre 2) ainsi que les mécanismes qui régissent la diffusion, l'adoption et l'implémentation des innovations au sein des populations d'organisation et au sein des organisations (chapitre 3). Cette partie constitue donc un socle de connaissances multidisciplinaire.

Chapitre 1

L'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'architecte

Ce premier chapitre décrit le contexte général du secteur de la construction et de la profession d'architecte. Nous décrivons dans un premier temps le cycle de vie de l'ouvrage et la manière dont différents acteurs y interviennent. Nous y présentons également la maîtrise d'œuvre, son rôle et son évolution du XVIII^e siècle à nos jours. Cette partie montre que la maîtrise d'œuvre est notamment issue de l'effritement des missions initialement entièrement assurées par les architectes. Elle s'est constituée à partir de la diversification et spécialisation des missions de conception d'un ouvrage. Enfin, nous évoquons la profession d'architecte, son institutionnalisation, sa déontologie et l'histoire qui a constitué son identité professionnelle d'architecte-artiste qui s'est progressivement détaché des problématiques techniques des ouvrages.

1.1 L'ouvrage d'architecture : cycle de vie, acteurs et modèles de gestion de projet

Si l'architecte est un acteur important lors des phases de conception et de construction d'un ouvrage, il n'est pas présent sur toutes les phases de son cycle de vie, et est entouré de nombreux autres acteurs. Dans cette partie, nous décrivons les acteurs qui interviennent au cours de la vie d'un ouvrage, les relations qu'ils entretiennent ainsi que leurs modèles d'organisation.

1.1.1 Le cycle de vie de l'ouvrage

Le nombre et le rôle des acteurs d'un ouvrage évoluent au cours de son cycle de vie. Nous présentons ici le cycle de vie d'un ouvrage, et ses principaux acteurs.

1.1.1.1 Le cycle de vie

Lors de la première phase du cycle, le **montage de l'opération**, le *maître d'oeuvre*¹ (abrégé « MOA » par la suite) définit un budget et vérifie la faisabilité de son projet (Debizet, Henry 2009). Il formalise ensuite ses exigences, parfois avec l'aide d'un assistant à la maîtrise d'ouvrage (AMO). Cette étape correspond à la **programmation** et permet de décrire le projet d'un point de vue urbain, architectural, fonctionnel, tout en exprimant l'intention et les exigences du maître d'ouvrage (Crosnier 2007).

Sur la base du programme, une équipe de maîtrise d'œuvre (abrégée « MOE » par la suite), qui conçoit le bâtiment et prépare sa construction, est constituée pour l'étape de **conception et études**. La maîtrise d'œuvre inclut l'architecte et généralement des bureaux d'études. Au cours de la phase de **construction**, les entreprises de construction réalisent les travaux. Le bâtiment est ensuite mis en service, exploité et entretenu par un gestionnaire de patrimoine qui peut être le maître d'ouvrage lui-même : il s'agit de la **gestion exploitation et maintenance** (GEM) de l'ouvrage. Le bâtiment peut ensuite être **renové, réhabilité** ou **déconstruit** lorsqu'il arrive au terme d'un cycle.

¹ Il existe trois types de maîtrise d'ouvrage : la maîtrise d'ouvrage publique (l'État), la maîtrise d'ouvrage privée, et la maîtrise d'ouvrage privée réglementée (Possompès, LOMBARD, BAILLET 2018). Cette dernière répond, comme la maîtrise d'ouvrage publique, aux principes de la commande publique.

1.1.1.2 Les acteurs de l'ouvrage

Le nombre et la diversité des acteurs du projet dépendent de la taille de l'ouvrage, du type de montage d'opération et du cadre contractuel de celle-ci (Tepeli 2014)². Chaque phase du cycle de vie implique différents spécialistes de professions différentes, qui ont des méthodes et objectifs de travail différents (Bignon, Kubicki, Halin 2009; Terrin 2005) (voir **Figure 2**).

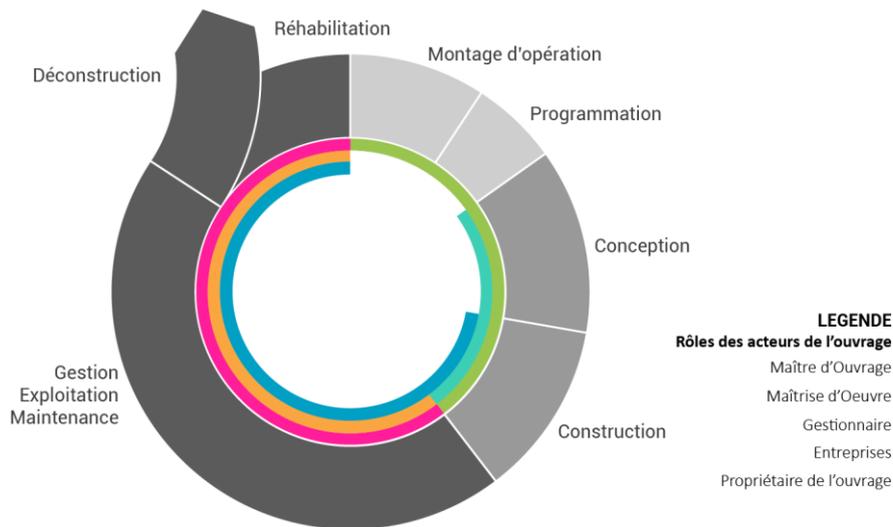


Figure 2. Cycle de vie de l'ouvrage et positionnement des rôles des acteurs (modèle général actuellement répandu)

Même si chaque passage de phase fait l'objet d'un interfaçage entre acteurs, les porosités entre phases restent limitées. Chaque acteur peut endosser plusieurs rôles. Dans les petits projets par exemple et en particulier en marché privé, le maître d'ouvrage devient propriétaire à la fin de la construction. C'est également lui qui endosse le rôle de gestionnaire. Mais dans de nombreux projets, notamment les projets publics de taille importante, il y a une discontinuité des rôles au cours du cycle de vie de l'ouvrage : le gestionnaire et ses problématiques liées à la maintenance ne sont alors pas intégrés lors des phases de conception.

On distingue généralement trois types d'acteurs qui interviennent au cours de la conception et réalisation de l'ouvrage : la **maîtrise d'ouvrage**, la **maîtrise d'œuvre** et les **entreprises de construction** (Champy 2001). On peut également ajouter les contrôleurs dans le panorama des acteurs de la conception et réalisation (Malcurat 2001): depuis la complexification du cadre

² La diffusion de structures contractuelles complexes comme la conception-réalisation et les partenariats public-privé rendent par ailleurs les rôles et relations entre les acteurs de plus en plus variables d'un projet à l'autre (Baillet 2018).

règlementaire du projet, ils accompagnent le maître d'ouvrage pour assurer le respect des dispositions techniques ainsi que la sécurité du bâtiment et du chantier (Possompès 2018).

Ce n'est en fait qu'assez récemment que les architectes ont commencé (et sur certains projets seulement) à dialoguer avec des gestionnaires de patrimoine et des mainteneurs³ (Hovorka, Bresson, Sevanche 2014) dans le cadre de projets d'envergure.

1.1.2 Modèles de gestion de projet et structures contractuelles associées

La grande diversité des acteurs du bâtiment, issus de disciplines différentes avec chacune leur vocabulaire et méthodes de travail, rend difficiles la coordination du projet et les échanges entre acteurs. La gestion de ces coordinations et collaborations est un enjeu important pour limiter les confusions dans le projet. Les différentes interventions des acteurs s'organisent aujourd'hui de manière essentiellement **séquentielle** (Côté, Doré, Forgues 2019) pour la conception et réalisation d'un ouvrage, c'est-à-dire par séquences successives, avec des responsabilités et compétences clairement identifiées au moins du point de vue de l'organisation formelle (Tapie 2000). Les modèles d'organisation des acteurs ont évolué de manière similaire dans de nombreux domaines liés à l'innovation et la conception (Midler 1998), il n'est pas limité à la conception architecturale et au secteur de la construction. La plupart des industries sont passées d'un **modèle d'entrepreneur** à un **modèle d'ingénierie** qui est aujourd'hui délaissé par de nombreux domaines qui lui préfèrent le **modèle concourant**, voire **intégré**. Dans le secteur de la construction, les méthodes de mise en œuvre des projets (« *project delivery methods* » ou « *PDM* ») se sont également diversifiées. Elles sont très liées aux structures contractuelles que l'on retrouve au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre que nous présenterons ici en guise d'exemples.

Le modèle entrepreneurial

Le **modèle d'entrepreneur** (Midler, 1998) consiste pour une seule et même personne (ou entreprise) à être à la fois à l'origine du projet et en charge de sa réalisation. C'était le principal modèle du développement industriel du XIX^e et XX^e siècle. La personne ou entreprise qui adopte ce modèle assume à la fois le risque économique de l'opération, et les risques de sa réalisation.

Dans le secteur de la construction, ce modèle correspond à celui du promoteur immobilier. Le promoteur prend l'initiative du projet, a parfois la compétence interne de le concevoir (maîtrise d'œuvre) et même de le construire⁴. Il peut également réaliser un contrat avec un architecte

³ Les mainteneurs sont chargés d'assurer la maintenance des ouvrages. Les gestionnaires de patrimoine ont quant à eux une vision plus globale de la gestion de l'ouvrage qui intègre la gestion financière, l'exploitation (contrats d'électricité, affectation des espaces, etc.) et la maintenance (Parsanezhad 2015; Cotts, Roper, Payant 2010).

⁴ Cela correspond par exemple aux grandes entreprises comme Vinci, Eiffage ou Bouygues.

(contrat d'architecte) et des entreprises de construction. Depuis le XX^e siècle, le code de déontologie des architectes a rendu incompatible le rôle d'architecte avec celui d'entrepreneur.

1.1.2.1 Le modèle de conception-réalisation

Le modèle de **conception-réalisation** (« *design-build* » ou « db ») consiste pour un maître d'ouvrage à faire appel à une seule et même entreprise (ou plus tard à un groupement d'entreprises) pour la conception et la réalisation de l'ouvrage (Ling et al. 2004). Ce modèle est à l'image du fonctionnement de l'entreprise des frères Perret au début du XX^e siècle, à la fois architectes et constructeurs (Culot, Peyceré, Ragot 2000).

En France, il existe aujourd'hui un montage contractuel dit « complexe » qui permet au maître d'ouvrage de réaliser un contrat de conception-réalisation avec un groupement d'entreprises qui ont entre elles une convention de groupement (voir figure **Figure 3**). Le mandataire du groupement fait alors l'interface avec le maître d'ouvrage.

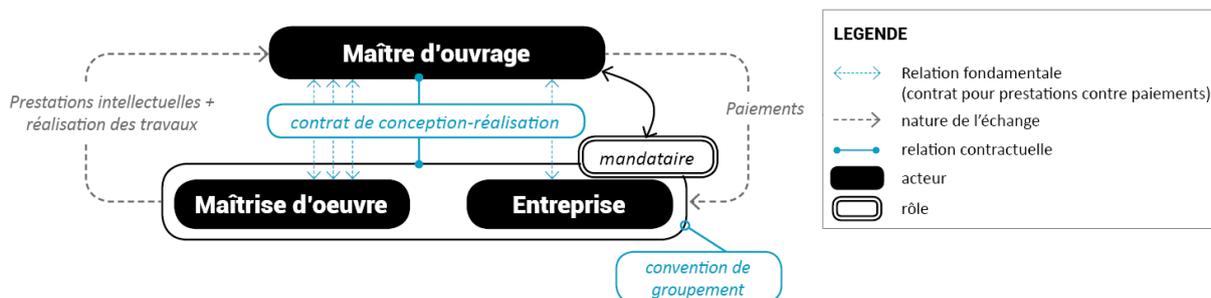


Figure 3. Montage contractuel pour des projets en conception-réalisation (d'après (Baillet 2018))

1.1.2.2 Le modèle d'ingénierie séquentielle

Après la Seconde Guerre mondiale se développe le modèle de **l'ingénierie « séquentielle »** qui repose sur l'organisation du projet en séquences successives, dans lesquelles les responsabilités et compétences des acteurs sont distinctes (Tapie 2000; Côté, Doré, Forgues 2019). Le modèle de l'entrepreneur et les premiers modèles de conception-réalisation restreignaient les ressources de la conception et de la réalisation au cadre social et géographique des principaux acteurs. L'ingénierie séquentielle permet quant à elle plus facilement à des acteurs éloignés de mettre en commun leurs compétences pour un même projet. Les missions de conception et de construction ne sont alors plus attribuées au même acteur (Ling et al. 2004; Champy 2001). **Le modèle séquentiel a donc nécessité le développement d'outils de décomposition et de planification du projet**, que ce soit pour le secteur de la construction ou pour d'autres secteurs (Midler 1998).

Pour la construction, le modèle séquentiel est aujourd'hui celui qui est le plus diffusé en France et partout dans le monde occidental.

Dans ce modèle, il existe plusieurs montages contractuels que nous n'aborderons pas ici en détail. Voici deux modèles courants.

Le maître d'ouvrage a la possibilité de conclure un contrat avec un groupement de maîtrise d'œuvre. Une des entreprises de maîtrise d'œuvre est alors mandataire du groupement : elle représente et est responsable des membres vis-à-vis du maître d'ouvrage et coordonne les prestations du groupement (voir **Figure 4**).

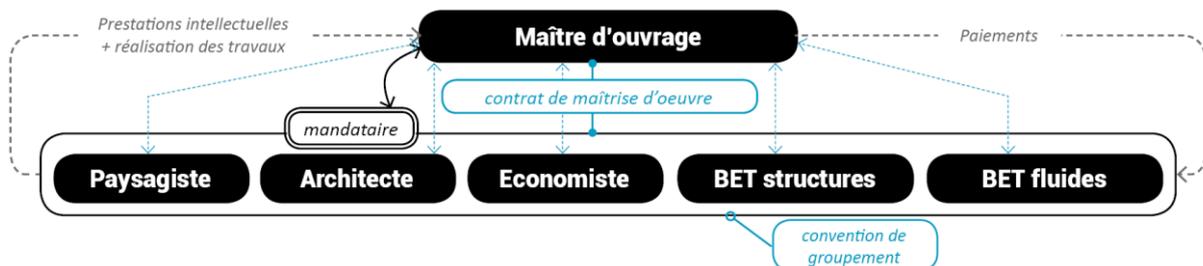


Figure 4. Montage contractuel avec convention de groupement avec le groupement de maîtrise d'œuvre (d'après (Baillet 2018))

Le maître d'ouvrage peut également conclure des contrats séparés avec les différentes entreprises de la maîtrise d'œuvre (**Figure 5**). Ils choisissent parfois cette option pour négocier au mieux les contrats avec chacune de ces entreprises, mais ce montage réduit l'efficacité de la coordination (Baillet 2018).

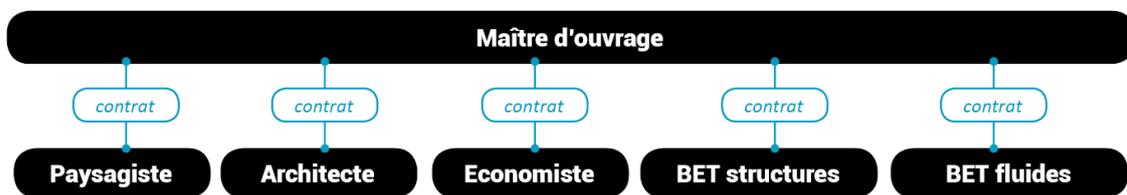


Figure 5. Montage contractuel en contrats séparés pour la maîtrise d'œuvre (d'après (Baillet 2018))

Cette vision contractuelle de la conception et des responsabilités présente des inconvénients : les intervenants du projet travaillent de manière individuelle dans un contexte qui ne pousse pas à la coopération et qui peut amener des incohérences, discontinuités voire des conflits (Midler 1998). Les **entreprises sont exclues du processus de conception**, et la **conception du projet est détachée de la conception de l'exécution** (Debizet, Henry 2009). Ce mode d'organisation est par ailleurs en décalage avec l'incertitude du processus de conception lui-même (Midler 1998).

Des porosités existent entre les différentes phases du cycle de vie de l'ouvrage : les concepteurs doivent tenir compte des compétences et savoir-faire des entreprises, et les aléas sur chantier peuvent nécessiter des modifications sur la conception (Champy 2001). Dans les projets qui font l'objet d'une recherche de qualité, la séparation formelle des étapes de projet est poreuse (Debizet, Henry 2009). Le processus n'est donc, en pratique, pas entièrement linéaire, car chaque étape peut remettre en question des points validés aux étapes précédentes (Champy 2001).

1.1.2.3 Vers un modèle d'ingénierie concourante ?

Face à la montée de la concurrence dans l'industrie, le début des années 90 a connu un mouvement de rationalisation de la conception et d'émergence de la gestion de projet (Sardas 1997). Développé à cette période principalement dans le secteur de l'automobile, le modèle d'**ingénierie concourante** (on parle également parfois de modèle intégré) repose sur la prise en compte des contraintes aval (production, mise en service) lors des phases amont de conception. Basée sur une coopération forte entre les acteurs, l'ingénierie concourante pousse à une « **meilleure anticipation des risques** et à une **plus grande transparence dans la gestion des aléas** en cours de projet » (Sardas 1997). L'intervention de chaque métier s'en trouve rallongée et les plannings sont beaucoup plus imbriqués. Les « objets intermédiaires de conception » (maquettes, plans, schémas) sont alors centraux pour la coordination et collaboration des différents experts (Charue-Duboc, Midler 2002). Mais ce modèle implique un **rééquilibrage des statuts relatifs des différents métiers** : alors que les métiers très en amont du processus de développement sont généralement très valorisés, ils ne sont pas toujours en mesure d'anticiper les problèmes liés à la fabrication, et les acteurs de l'aval qui font remonter les exigences de fabrication et de maintenance. Ces derniers sont revalorisés dans le modèle concourant et trouvent une place dans le processus de conception (Sardas 1997).

Le modèle concourant s'inscrit dans le cadre d'une réalisation de projet intégrée (« *Integrated Project Delivery* » ou « IPD ») qui fait intervenir un processus de conception intégrée (PCI). Celui-ci est arrivé il y a un peu plus de dix ans dans le secteur de la construction, notamment aux États-Unis (Ghassemi, Becerik-Gerber 2011; Kent, Becerik-Gerber 2010). Mais contrairement aux secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, les acteurs du secteur de la construction n'ont pas entre eux des pratiques technologiques comparables (Huet 2018a). Le secteur est également composé principalement de petites entreprises, avec des équipes de projet qui évoluent à chaque nouveau projet.

L'ingénierie concourante a permis d'amorcer des réflexions sur l'évolution des méthodes de gestion de projet⁵, pour supporter ces nouvelles pratiques collaboratives (Terrin 2005). Si le modèle séquentiel reste le plus utilisé aujourd'hui dans le secteur de la construction, le modèle concourant est de plus en plus plébiscité (Huet 2018a).

⁵ On pense notamment aux méthodes lean permettrait de gagner en qualité et réduire les temps par une approche plus collaborative (Huovila, Koskela, Lautanala 1997), ainsi qu'aux méthodes agiles (Gless, Hanser, Halin 2017).

Le modèle en France qui s'en approche le plus pour l'instant est le montage contractuel en partenariat public-privé (voir **Figure 6** ci-dessous), permis en France depuis juin 2004 (Bergère 2010).

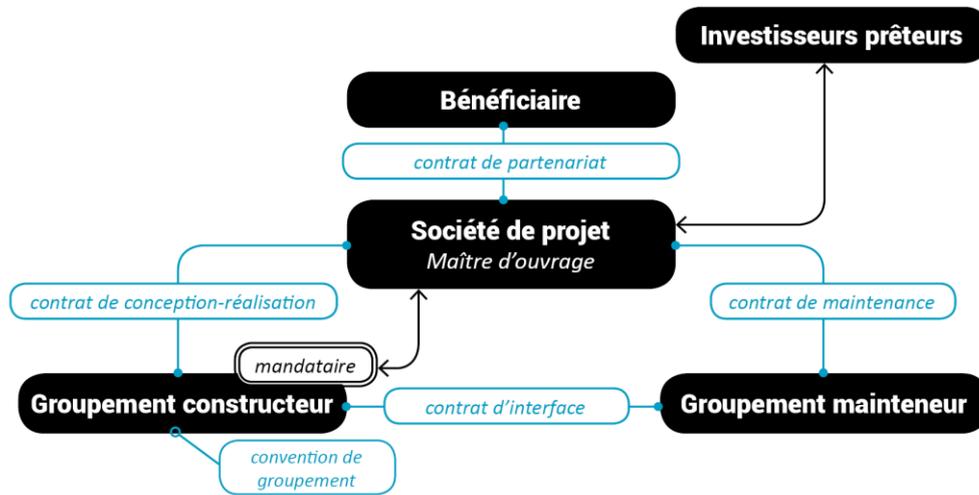


Figure 6. Montage contractuel complexe pour les partenariats public-privé (d'après (Baillet 2018))

Ce modèle est mis en œuvre lorsque le bénéficiaire public fait appel à une société de projet pour financer, concevoir, réaliser et gérer un équipement. Ce modèle est utilisé lorsque la complexité technique et/ou économique d'une opération nécessite d'impliquer le gestionnaire (exploitant et/ou mainteneur) (Baillet 2018). Mais la Cour des comptes européenne a noté en 2018 « de multiples insuffisances et des avantages limités » pour ce type de projet qui amènent à une augmentation des coûts pour le bénéficiaire (Cour des Comptes européenne 2018).

➔ Les **acteurs** intervenant au cours du **cycle de vie** d'un ouvrage sont donc **nombreux**. Leurs coordination et collaboration s'organisent aujourd'hui principalement de manière séquentielle. Mais ce modèle comporte de nombreuses limites et ne permet pas d'intégrer les contraintes aval au cours de la conception.

1.2 La maîtrise d'œuvre et son évolution

Dans la partie précédente, nous avons vu que les différents acteurs du projet, leurs missions et leur organisation ont évolué au cours du temps. Dans cette partie, nous allons voir que la maîtrise d'œuvre, dont l'architecte est un acteur important, s'est diversifiée et a vu apparaître de nouveaux acteurs, issus de la spécialisation des missions.

1.2.1 Le rôle et les missions de la maîtrise d'œuvre aujourd'hui

Le maître d'ouvrage attend de la maîtrise d'œuvre et des autres intervenants qu'ils « [mènent] à bien l'opération de construction en respectant les délais, le budget, et le projet » dans un cadre de coopération harmonieuse (Possompès, LOMBARD, BAILLET 2018). Les partenaires de la maîtrise d'œuvre peuvent être intégrés à l'agence d'architecture, être co-traitants ou sous-traitants du marché de maîtrise d'œuvre (Possompès 2018).

1.2.1.1 La loi MOP

La loi de Maîtrise d'Ouvrage Publique (dite « loi MOP »)⁶ fixe le cadre et les missions de la maîtrise d'œuvre en marché public. Il n'est en revanche pas rare que les maîtres d'ouvrages privés s'inspirent du code des marchés publics pour la passation de marché avec la maîtrise d'œuvre (Delbosc d'Auzon, Saada-Granet 2001). Cette loi et ses décrets d'application décrivent les **missions obligatoires** (mission de base) et **complémentaires** de la maîtrise d'œuvre. La mission de base comporte des **missions d'étude, d'assistance pour la passation et l'exécution de marchés avec les entreprises, et des missions liées au chantier (vérification et gestion)** (Code de la commande publique 2019b, p. 2431-4). Concernant le chantier, l'architecte se voit confier *a minima* une mission de contrôle de conformité, pour s'assurer que la construction est bien conforme à ce qui a été déterminé en phase d'étude.

La loi MOP définit également l'ordre dans lequel ces missions sont réalisées ; elle règle donc le cadre réglementaire et organisationnel du projet sur le principe de l'ingénierie séquentielle. Depuis plus de quinze ans, de nombreux auteurs évoquent les « limites de la loi MOP », qui sont finalement celles du modèle séquentiel : « la logique séquentielle qui constitue la trame de ces textes jalonne les phases de la conception puis de la réalisation d'un ouvrage, créant un déficit de communication : faisabilité, conception, réalisation répondent à des logiques d'acteurs différents qui ne facilitent ni l'itération entre ces étapes, ni la collaboration entre ces acteurs » (Terrin 2005).

⁶ La Loi MOP (JORF 1985) est datée du 12 juillet 1985, a été abrogée en 2018 mais ses dispositions se trouvent à présent dans le Livre IV du code de la commande publique (Code de la commande publique 2019a)

1.2.1.2 Les partenaires de maîtrise d'œuvre

Chaque phase de projet est susceptible de faire intervenir plusieurs acteurs de la maîtrise d'œuvre (Tapie 2000) qui travaillent le plus souvent en co-traitance dans les marchés publics (Possompès 2018). Leur nombre et la diversité de leurs disciplines varient en fonction du projet.

L'architecte a donc au sein de la maîtrise d'œuvre plusieurs types de partenaires. Il a des **partenaires techniques** comme des bureaux d'étude techniques (BET) ou des consultants qui réalisent notamment des études spécifiques, comme une étude thermique ou structure. Il a également **des partenaires de la rédaction, du chiffrage et du suivi de travaux** comme l'économiste de la construction pour la rédaction des pièces écrites, et des bureaux d'études qui réalisent des missions d'ordonnancement, et le pilotage / la coordination du chantier.

1.2.2 La constitution de la maîtrise d'œuvre : l'effritement des missions de l'architecte

Avant le XVIII^e siècle, les métiers d'architecte et d'ingénieur ne sont pas réellement distincts. À la fin du XVIII^e siècle, les architectes sont encore formés principalement à l'école des beaux-arts, mais de grandes écoles d'ingénieur comme l'école des mines et l'école polytechnique sont créées. Cette évolution marque une première étape importante de la séparation des deux métiers (Marrey 2013). Au cours du XIX^e siècle, il est acté, notamment par l'académie française que l'architecte conçoit les édifices et **les fait exécuter sous ses ordres**.

Le début du XX^e siècle marque le début d'**un partage des responsabilités entre l'architecte** (chargé plutôt de l'aménagement), **le bureau d'études** (chargé des études techniques) et **les entreprises** (chargées de la partie construction) (Marrey 2013). Certains architectes critiquent alors vivement l'enseignement dispensé aux futurs architectes dans les écoles ainsi que l'inaction des architectes face à l'avance technique des ingénieurs. Le Corbusier écrit d'ailleurs en 1923 : « les architectes sortis des écoles, ces serres chaudes où l'on fabrique des hortensias bleus (...) entrent dans la ville avec l'esprit d'un laitier qui vendrait son lait avec du vitriol, avec du poison. On croit encore, ici et là, aux architectes, comme un croit aveuglément à tous les médecins. (...) Or, aujourd'hui, ce sont les ingénieurs qui connaissent, qui connaissent la manière de faire tenir, de chauffer, de ventiler, d'éclairer. N'est-ce pas vrai ? » (Le Corbusier 2016)⁷.

⁷ Le Corbusier écrivait ces mots dans « Vers une architecture » en 1923. Voici le passage complet : « Les architectes sortis des écoles, ces serres chaudes où l'on fabrique des hortensias bleus, des chrysanthèmes verts et où l'on cultive des orchidées malpropres, entrent dans la ville avec l'esprit d'un laitier qui vendrait son lait avec du vitriol, avec du poison. On croit encore, ici et là, aux architectes, comme un croit aveuglément à tous les médecins. Il faut bien que les maisons tiennent : il faut bien avoir recours à l'homme de l'art ! L'art, d'après Larousse, c'est l'application des connaissances à la réalisation d'une conception. Or, aujourd'hui, ce sont les ingénieurs qui connaissent, qui connaissent la manière de faire tenir, de chauffer, de ventiler, d'éclairer. N'est-ce pas vrai ? » Page 7 dans la réédition de 2016.

Au cours du XX^e siècle, il n'était pas rare que les architectes se voient encore confier par le maître d'ouvrage la **mission de programmation**. Mais la rémunération des maîtres d'œuvre est proportionnelle au coût de l'ouvrage et ce système peut mener à une dérive qui consiste à faire payer au maître d'ouvrage plus que nécessaire pour augmenter la rémunération des maîtres d'œuvre (Champy 2001). **Le décret de 1973 sur l'ingénierie et l'architecture** (Legifrance 1973) a obligé les maîtres d'ouvrage publics à séparer la mission de maîtrise d'œuvre de celle de programmation. La responsabilité de cette dernière revient alors aux maîtres d'ouvrage (Champy 2001) qui s'entourent de professionnels spécialisés : des programmistes. En enlevant à l'architecte la mission de programmation **et en définissant un cadre d'intervention pour les architectes et les ingénieurs, ce décret a fragmenté la mission globale de l'architecte dans la loi** (Huet 2018b). Le morcellement des missions de l'architecte au bénéfice d'un ensemble d'acteurs **cotraitants** se poursuit dans la décennie qui suit. L'équipe de cotraitants qui gère la conception et le suivi de chantier trouve sa dénomination juridique de « maîtrise d'œuvre » pour la première fois dans la loi MOP en 1985. **C'est la formalisation du passage d'un système de sous-traitance sous l'autorité de l'architecte à un système de cotraitance des acteurs de la maîtrise d'œuvre** (Tapie 2000).

L'intérêt croissant à fin du XX^e siècle et au début du XXI^e siècle pour les démarches environnementales s'est traduit par une vague de normalisation dans le secteur de la construction. Celle-ci a fait émerger de nouveaux spécialistes du volet technique de l'ouvrage qui se sont greffés à la maîtrise d'œuvre : le nombre et la diversité d'intervenants dans la MOE a augmenté.

Alors qu'il faisait jadis exécuter « sous ses ordres » la construction des édifices, les années 2000 marquent **l'éloignement de l'architecte avec le chantier**. Il arrive que les maîtres d'ouvrage choisissent de ne plus confier à l'architecte le suivi de chantier (Susini, Pélegrin, Colombier 2004)⁸, ou que les architectes eux-mêmes préfèrent ne pas suivre le chantier en limitant leur intervention à un suivi de conformité architecturale, car le chantier est risqué et mobilise des équipes expérimentées (Martin 2018)⁹.

La multiplication des acteurs du projet et de la construction a également nécessité la formation d'une fonction managériale, autrefois assurée par l'architecte. Celle-ci prend notamment la forme

⁸ Ceci est dénoncé dans le livre blanc des architectes (Susini, Pélegrin, Colombier 2004), dans lequel les architectes « [demandent] que soit respectée la mission de l'architecte telle qu'elle est définie dans la loi MOP, de la conception jusqu'au suivi de chantier, alors qu'aujourd'hui dans beaucoup de marchés, la mission des architectes est réduite au permis de construire et au contrôle de la conformité. » (Proposition 27).

⁹ La « reconquête » de la mission de direction de l'exécution des travaux par les architectes est un enjeu aujourd'hui assumé pour la profession et un « gage de la continuité de l'acte architectural du projet » (Huet, 2018b).

de la mission d'OPC (Ordonnancement, Planification et Pilotage) dans la Loi MOP. Cette mission autonome consiste à gérer le calendrier et de management des équipes. Les architectes proposent quelquefois de l'assurer, mais c'est souvent un « nouveau » professionnel spécialisé dans cette mission qui l'assure (Tapie 2000).

→ L'architecte, qui était « maître de l'œuvre architecturale » a vu progressivement ses missions se désagréger. Des métiers liés aux contraintes techniques de la conception se sont développés, leurs compétences sont devenues de plus en plus spécifiques avec la prise en compte accrue des critères environnementaux, et l'architecte s'est progressivement détaché du chantier et de la construction de l'ouvrage. La constitution de la maîtrise d'œuvre telle qu'on la connaît aujourd'hui est issue en grande partie des missions initialement assurées par l'architecte et des missions nouvelles issues de la complexification technique de l'acte de construire.

1.3 La profession d'architecte

Dans cette partie, nous évoquons leurs missions actuelles ainsi que les évolutions passées de la profession qui sont en relation avec les innovations techniques et les outils numériques.

1.3.1 Architecte : missions et déontologie

Les architectes exercent une **profession libérale, règlementée et indépendante** (Chesneau 2018a). Dans cette partie, nous explorons ces différents aspects de la profession et leurs implications.

1.3.1.1 Architecte : missions et responsabilités.

Il y a deux catégories d'architectes : les maîtres d'œuvre, qui peuvent « concevoir, aménager, diriger et coordonner les travaux », et « les autres », peu reconnus, qui exercent une autre activité comme l'enseignement, la recherche, le journalisme, l'expertise, etc. (Chesneau 2018b). La profession est **règlementée**, cela signifie que ne peut se dire « architecte » qui veut : le port du titre est contrôlé notamment par l'ordre des architectes, et l'exercice est régi par une déontologie (Lobjois 2018). La profession (les architectes maîtres d'œuvre) a un contrôle exclusif sur un certain nombre d'actions (Chesneau 2018a). Les architectes exercent une mission d'**intérêt général**, puisque la loi de 1977 sur l'architecture précise que « la création architecturale (...) [est] d'intérêt public ».

Au cours du XIX^e siècle, l'architecte acquiert son statut juridique d'artiste. Son œuvre bénéficie depuis d'une protection, basée sur la notion de droit d'auteur : on reconnaît donc à l'architecte la « propriété intellectuelle » de l'œuvre architecturale (Carvais 2018a).

1.3.1.2 Une profession libérale, indépendante et désintéressée

Les **professions libérales** regroupent des professionnels qui exercent de manière **indépendante**, sous leur **responsabilité**, une activité qui assure des prestations dans **l'intérêt d'un client ou du public** (Chesneau 2018a). Les professionnels libéraux (comme les médecins ou les avocats) ont étudié pendant de nombreuses années avant d'exercer, et leur profession a des systèmes de contrôle et une déontologie partagée (Tripiier 2018). Depuis plusieurs années, la Commission européenne tente d'uniformiser les professions libérales, notamment pour former un marché unique et faciliter les échanges économiques entre les pays de l'Union européenne. Pour l'instant, celle-ci n'a pas eu lieu, car chaque pays défend fortement sa propre réglementation des professions libérales.

Un professionnel libéral ne peut être subordonné à une autorité extérieure. L'architecte ne travaille donc pas pour un « client » qui serait roi et qui pourrait lui faire construire un bâtiment

qui nuirait à l'intérêt général. L'architecte travaille pour un **maître d'ouvrage** et est au **service du public**. Il doit donc se tenir à distance de ce qui peut influencer la nature de son conseil (y compris le maître d'ouvrage lui-même). Tous ces éléments constituent le **principe d'indépendance** de la profession (Chesneau 2018a).

Les architectes sont assignés au régime fiscal des bénéficiaires non commerciaux : ils perçoivent des honoraires. Ce mode de rémunération s'est construit sur le principe de déconnexion entre le prix de la prestation et le temps de travail passé : « lorsqu'il négocie ses honoraires avec son client, le temps passé est censé ne pas être le critère central » (Chesneau 2018a). Ceci n'empêche en rien un architecte ou un médecin de tirer des bénéfices de son activité, mais l'intérêt de la société civile et celui du maître d'ouvrage doit primer sur ses propres intérêts (notamment financiers). Ceci constitue le **principe de désintéressement**.

1.3.2 La construction d'une identité d'architecte-artiste et le rejet de la rationalisation

La construction actuelle de la maîtrise d'œuvre est issue de l'effritement des missions de l'architecte, qui s'est progressivement constitué une identité d'artiste. Cette identité ne lui a jamais permis de faire face aux enjeux sociétaux contemporains, malgré de nombreuses tentatives de structuration, d'institutionnalisation¹⁰ et de protection de la profession.

1.3.2.1 L'institutionnalisation de la profession et la construction de l'architecte-artiste

Le début de l'institutionnalisation de la profession (avant le XIX^e siècle)

L'institutionnalisation de la profession a débuté à la Renaissance et au cours des monarchies de l'Ancien Régime (Decommer 2018a). L'Académie royale d'architecture est créée au milieu du XVII^e siècle et sa fonction est d'élaborer la doctrine d'enseignement et de gestion des bâtiments royaux (Champy 2001). Celle-ci définit l'architecte comme « **l'artiste** qui compose les édifices, en détermine les proportions, les distributions, les décorations, les fait exécuter sous ses ordres et en règle les dépenses. » (Marrey 2013). Mais le champ d'action de l'architecte reste limité aux ouvrages d'exception et l'architecture du quotidien est réalisée sans lui (Ringon, Haton 1997).

Au XVIII^e siècle, certains architectes obtenaient des titres officiels comme « architecte du roi » qui leur permettaient de se démarquer des maçons avec qui on les confondait encore régulièrement (Chesneau 2018c), notamment parce que les maçons s'attribuaient le titre d'architecte (Ringon,

¹⁰ L'institutionnalisation d'une profession correspond à la constitution d'un cadre d'exercice d'une profession. Ce processus comporte la création d'une formation et la reconnaissance d'un diplôme ainsi que la constitution d'un cadre réglementaire (Decommer 2018a).

Haton 1997). Au début du XVIII^e siècle, les métiers d'architecte et d'ingénieur n'étaient pas du tout séparés (Marrey 2013).

Au milieu et vers la fin du XVIII^e siècle, de grandes écoles d'ingénieur sont créées : l'École des Ponts & Chaussées voit le jour en 1747 et l'École Polytechnique en 1794. Cette période marque « le divorce entre l'architecte-artiste et l'ingénieur-constructeur » (Seitz 1992). Les ingénieurs se sont d'abord concentrés sur les infrastructures routières, mais aussi à la consolidation puis à la construction des ponts « sans que les architectes ne s'en émeuvent » (Marrey 2013). L'enseignement dispensé dans leurs écoles était technique et centré sur les évolutions de la technique et de la société. La création des écoles et le nouveau positionnement des ingénieurs contribuent à différencier les métiers d'architecte et d'ingénieur (Marrey 2013). Cette époque est marquée également par de nombreux débats sur la réconciliation entre les arts et les techniques (Seitz 1992).

À la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle, le principe d'une doctrine artistique définie par une autorité était contesté : l'école impériale d'architecture est créée en 1806, et reprise en 1819 par l'École Nationale Supérieure des Beaux-Arts (ENSBA) (Champy 2001). L'ENSBA se constitue par ailleurs comme une autorité forte et détachée de l'État.

La consolidation de l'identité d'architecte-artiste (XIX^e siècle)

Les architectes, autrefois reconnus pour leurs nombreuses compétences techniques, se constituent une véritable identité d'artiste qui se détache des disciplines techniques de la construction (Champy 2001).

L'École des Beaux-Arts jugeait par ailleurs que la construction était du domaine de l'entreprise de construction : **l'architecte devait donc se concentrer sur la conception** (Marrey 2013). Le principal lieu d'apprentissage est alors l'atelier « où l'étudiant découvre son futur métier au contact d'un enseignant par ailleurs patron d'agence, qui transmet par « osmose » les règles de dessin, **au mépris des nouvelles techniques de construction** et de la réalité des problèmes rencontrés par l'architecte dans sa pratique » (Champy 2001). Les critiques envers le caractère archaïque de l'enseignement se multiplient au milieu du XIX^e siècle. Viollet-le-Duc propose d'ailleurs en 1863 une réforme de l'enseignement en architecture qui vise à renforcer l'expertise technique des architectes. Il s'est heurté à l'hostilité de nombreux enseignants et sa réforme n'a pas été mise en place (Champy 2001). Celui-ci précise d'ailleurs qu'« à refuser à la science le concours qu'elle ne demande qu'à leur prêter, les architectes ont fini leur rôle, celui des ingénieurs commence » (Viollet-le-Duc 1863).

L'accélération de l'institutionnalisation de la profession (fin XIX^e - milieu XX^{es} siècles)

À la fin du XIX^e siècle, la profession commence à se structurer grâce à un premier code de déontologie professionnelle (dit « code Guadet ») (Carvais 2018b) et à la création du premier syndicat des architectes (Chesneau 2018c; Marrey 2013). Le code Guadet a contribué à distinguer l'entrepreneur de l'architecte, car ce dernier exerce « une profession libérale et non commerciale » (Carvais 2018b), alors que la fonction de l'entrepreneur est avant tout d'« accumuler du capital » (Schumpeter, Casanova, Barre 2004).

La crise économique de 1930 et l'Occupation pendant la Seconde Guerre mondiale affaiblissent la profession. Le Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) est créé¹¹ le 31 décembre 1940 par un décret, dont l'article 1^{er} précise que « nul ne peut porter le titre ni exercer la profession d'architecte s'il ne remplit les conditions suivantes : être de nationalité française, jouir de ses droits civils, être titulaire du diplôme (...) » (Marrey 2013). Ce même décret précise que « la profession d'architecte est incompatible avec celle d'entrepreneur, industriel ou fournisseur de matières (...) » (Marrey, 2013). Quant à Le Corbusier, qui n'était ni français ni diplômé en architecture et seul à prôner les vertus de la rationalisation, il était rejeté des architectes-enseignants des Beaux-Arts (Marrey 2013).

1.3.2.2 L'enseignement contemporain de l'architecture : vers l'enseignement universitaire ?

En 1968, l'enseignement de l'architecture est finalement dissocié de l'École des Beaux-Arts, car son enseignement est jugé trop immobile et centré sur les trajectoires professionnelles (Tapie 2000). La réforme « Malraux » le place sous la tutelle du ministère de la Culture. Les Écoles Nationales Supérieures d'Architecture sont créées après une courte période transitoire (Tapie 2000). En 1977, la dimension culturelle et l'intérêt public de l'architecture sont inscrits dans la loi¹².

Plusieurs réformes de l'enseignement de l'architecture se sont suivies dans les années 1970 et 1980. L'enseignement dispensé ne permettait pas à la profession d'évoluer : « **Les corpus de référence des architectes patrons d'atelier sont inaptes à saisir les transformations d'une société** » (Tapie 2000). Les réformes des années 1970 et 1980 sont basées sur deux visions opposées de l'enseignement : une vision plutôt professionnalisante (qui intègre les contraintes réelles du terrain des architectes maîtres d'œuvre) et une autre au contraire plutôt universitaire

¹¹ Outre d'autres missions, le CNOA reprend alors des missions du syndicat, car toute forme de syndicat fut interdite sous le gouvernement de Vichy.

¹² « L'architecture est une expression de la culture. La création architecturale, la qualité des constructions, leur insertion harmonieuse dans le milieu environnant, le respect des paysages naturels ou urbains ainsi que du patrimoine sont d'intérêt public. Les autorités habilitées à délivrer le permis de construire ainsi que les autorisations de lotir s'assurent, au cours de l'instruction des demandes, du respect de cet intérêt. » (JORF 1977)

liée à la recherche (qui permet de répondre à la diversification des modes de pratique et aux évolutions de la société) (Tapie 2000).

En 2013, la restitution d'une concertation sur l'enseignement supérieur et la recherche en architecture (dite « rapport Feltesse (Feltesse 2013) »), note l'urgence de soutenir la recherche dans les écoles d'architecture. La recherche, par le double statut des chercheurs qui sont aussi enseignants (les enseignants-chercheurs) doit en effet permettre d'assurer la mise à jour de l'enseignement supérieur, en phase avec les évolutions de la société et de les transmettre à la profession (Prost, Chaslin 2014).

L'enseignement est alors encore assuré en majorité par des praticiens (Feltesse 2013; Prost, Chaslin 2014). L'enseignement du projet est resté central, réalisé par un praticien (généralement « patron d'agence ») : c'est le format d'enseignement vivement critiqué par le passé. Mais le degré de composante professionnelle ou universitaire de l'enseignement fait toujours débat aujourd'hui. Des auteurs reprochent à la recherche de proposer des contenus trop distants de la culture de projet, et aux praticiens qui enseignent de prendre une trop grande distance avec la pratique (Prost, Chaslin 2014).

Une partie des préconisations du rapport Feltesse trouvent application cinq ans plus tard dans une série de décrets qui constituent la réforme du statut des enseignants des écoles d'architecture en 2018 (Ministère de la Culture 2018)¹³. Cette réforme accorde notamment le statut d'enseignant-chercheur à tous les enseignants des écoles d'architecture (praticiens et chercheurs). Le mode de recrutement des enseignants est également réformé, donnant une place plus importante aux profils de chercheurs (ayant obtenu un doctorat). Cette réforme a également fait l'objet de vives réactions, notamment par la Société française des Architectes (SFA) qui estime que « l'enseignement du projet [est] en danger » (Société Française des Architectes 2020). Pour la SFA, « les écoles d'architecture sont destinées en premier lieu à former des architectes » et « pour enseigner le projet dans les écoles il faut des architectes pratiquant le projet ». Les réactions à la publication de la SFA ont été également été assez nombreuses. On peut citer parmi elles une réponse collective d'architectes et d'enseignants publiée dans le Moniteur Architecture « cessons d'opposer praticiens et théoriciens » (AMC 2020)¹⁴.

¹³ La réforme compte cinq décrets : les décrets n° 2018-105, 2018-106, n° 2018-107, n° 2018-108 et n° 2018-109.

¹⁴ Note personnelle de l'auteure : la réforme a eu lieu pendant cette thèse de doctorat. J'ai siégé au comité scientifique de l'ENSA de Nancy en 2017-2018 et à son Conseil d'Administration en tant que représentante élue dans le collège des enseignants-chercheurs sur la période 2018-2020, conformément aux décrets liés à la réforme. Cette immersion dans un système en pleine réforme a alimenté une partie des réflexions présentes dans ce travail de recherche.

Ces différentes réactions montrent que la profession est encore très imprégnée de la culture beaux-arts, que les débats sur la nature de l'enseignement initiés par Viollet-le-Duc sont toujours d'actualité, et la crise de la profession évoquée dans les années 2000 par plusieurs sociologues est toujours en cours.

1.3.3 La rationalisation progressive de la construction et de la conception

L'histoire de la profession d'architecte est donc marquée par une série d'événements qui ont d'une part contribué à réduire la dimension technique du métier, et d'autre part progressivement constitué l'identité d'architecte-artiste. Au cours de la seconde partie du XX^e siècle, le secteur de la construction a connu différentes formes de rationalisation qui ont concerné les techniques, l'organisation du travail et, plus récemment, le processus de conception lui-même. Par le passé, ceux qui ont prôné une forme de rationalisation et d'intégration des techniques dans l'architecture comme Viollet-Le-Duc ou Le Corbusier ont subi de vives critiques de la part de leurs contemporains. Comment une profession qui s'est constituée une identité d'artiste a-t-elle réagi face à ces nouvelles formes de rationalisation ?

1.3.3.1 La diffusion des normes techniques

En 1928, l'AFNOR (Association française de Normalisation) est mise sous tutelle de l'État, et reconnue d'utilité publique en 1940. La rationalisation de la construction a connu un essor important après la Seconde Guerre mondiale, au moment d'une importante vague de reconstruction. Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) est créé en 1947 ; sa mission est de créer un ensemble de documents techniques pour unifier, simplifier et sécuriser l'utilisation de produits industriels pour la reconstruction (Simonin 2018). Les « Documents Techniques Unifiés » (DTU) sont créés en 1958. Ils sont le support d'informations et de normes pour les produits et leur mise en œuvre dans la construction. Plus tard, les années 80 sont marquées par un « boom normatif » qui concerne notamment le caractère environnemental des constructions. Certains labels sont créés à l'initiative de fabricants d'isolants, mais avec la coopération de l'État (Simonin 2018). Même si les architectes semblent dans l'ensemble sensibles à la dimension durable des constructions, la réglementation et l'apparition de normes environnementales sont loin de faire l'unanimité. Les normes sont souvent vues comme une contrainte supplémentaire et inutile dans la construction, et le rôle des industriels dans la constitution de ces normes est vue d'un très mauvais œil par les architectes (Ricciotti 2009).

Les années 80 : Les normes touchent l'organisation du travail. *En parallèle* des normalisations françaises qui concernent généralement la dimension technique se développent au niveau international une série de normes qui, pour la première fois, concernent la gestion des entreprises. Il s'agit des normes ISO 9000, développées par l'organisation internationale de normalisation en

lien avec l'AFNOR. Ces normes ne séduisent ni les PME ni les architectes qui les jugent trop fastidieuses à mettre en place. « Sans doute la tradition héritée des Beaux-Arts et l'habitude de travailler en « charrette » dominant-elles encore les pratiques professionnelles des architectes, qui voient en outre dans cette rationalisation une perte de créativité » précise Christine Simonin (Simonin 2018). Enfin, pour poursuivre la rationalisation de l'organisation du travail, la loi MOP (que nous avons déjà évoquée) vient, en 1985, organiser la maîtrise d'œuvre dans une forme plus rationalisée.

1.3.3.2 Les années 90-2000 : L'informatisation

Dès les années 90, des campagnes nationales ont incité les architectes à s'équiper d'ordinateurs et de logiciels de DAO (Huet 2018a) ; ces derniers utilisaient d'ailleurs au départ plutôt les ordinateurs pour gérer leur comptabilité. La fin des années 90 a fini de convaincre « même les plus réticents » (Picon 2010a). Ces technologies permettent de multiplier les simulations graphiques dans un délai très court, d'augmenter la qualité du rendu, de gagner en productivité et de s'extraire des contraintes du dessin et de ses vérifications fastidieuses. Elles ont permis aux architectes de mieux maîtriser leurs projets (Tapie 2000).

1.3.4 L'informatisation des agences au cours des années 1990-2000

Si les nouveaux outils numériques ont permis de travailler de manière plus efficace, ils ont eu de nombreux impacts sur les agences et leur production ; ils ont également suscité des réactions mitigées de la part des architectes.

1.3.4.1 Ce que l'informatisation a changé

Dans un premier temps, l'outil informatique a fait passer au second plan les caractéristiques intrinsèques des projets (Tapie 2000) au profit des qualités graphiques. Mais cela fut de courte durée, car les architectes ont ensuite considérablement augmenté leurs exigences sur le plan graphique. Aussi, l'informatique a perturbé la définition progressive du projet dans ses différentes échelles.

La mise en réseau des informations des acteurs a redéfini leurs liens et relations (Tapie 2000; Prost, Chaslin 2014). Pour favoriser leurs interactions, il a été nécessaire de mieux formaliser leurs tâches respectives, ce qui a finalement contribué également à recomposer les organisations (Tapie 2000; Huet 2018a). Cette mise en réseau oblige également une révision régulière des compétences et des modes d'organisation (Tapie 2000).

La démocratisation des outils numériques a fait apparaître une génération d'architectes qui ont une approche très expérimentale de l'architecture computationnelle (Huet 2018a). De nombreux

architectes déplorent en revanche la « dérive formaliste » prise par l'architecture depuis la démocratisation des outils numériques (Prost, Chaslin 2014).

1.3.4.2 La réception de l'informatisation par la profession et sa diffusion dans les agences

La diffusion des outils de DAO fut lente dans les agences, en partie à cause du coût élevé des matériels, difficile à assumer pour des petites agences alors majoritaires (Tapie 2000). La rationalisation des tâches ne semble pas, pour certains architectes, pouvoir concerner les tâches de conception et signerait la fin de la créativité. Si certains alertent sur le fait que l'informatisation ne doit pas se faire au détriment d'une recherche conceptuelle et « gestion progressive des incertitudes des projets », d'autres estiment que l'informatisation doit se faire tôt dans le projet pour en augmenter l'efficacité (Tapie 2000).

La modification rapide des contextes économiques, sociaux, mais aussi des technologies numériques et modes d'organisation est rapide, leur intégration dans l'enseignement est donc difficile. L'enseignement aurait néanmoins bien intégré (voire anticipé) ces changements et « les architectes ont su se saisir de ces nouvelles techniques de production, contrairement à l'image vite répandue de leur réticence par crainte de l'abandon d'une culture professionnelle » (Tapie 2000). Néanmoins, il faut rappeler que l'architecte a cédé ses compétences techniques et a construit toute son identité sur celle d'artiste qui dessine ; « si l'intervention de l'architecte se justifie par sa capacité à élaborer des dessins, la conception assistée par ordinateur (CAO), en simplifiant considérablement ce travail, recèle une menace » (Champy 2001).

Les spécialistes qui ont travaillé sur la profession d'architecte dans les années 2000 sont divisés sur la facilité avec laquelle elle a assimilé l'informatisation. Ils se rejoignent cependant sur le fait qu'une nouvelle identité reste à constituer pour la profession (Tapie 2000; Champy 2001).

- Les architectes exercent une **profession libérale** (ils exercent de manière indépendante sous leur responsabilité et dans l'intérêt général), **règlementée** (ne peut se dire architecte qui veut) **et indépendante** (un architecte ne peut être subordonné à une autorité extérieure).
- Au cours de l'institutionnalisation de leur profession, les architectes se sont construit une identité basée sur le **statut d'artiste**. Ils se sont progressivement détournés des problématiques techniques de l'ouvrage. Ce positionnement semble avoir impacté la capacité de la profession à intégrer des innovations techniques et règlementaires.
- **L'informatisation** des agences au cours des années 2000 fut lente et a suscité des réactions mitigées au sein de la profession.

1.4 Données démographiques sur le secteur de l'architecture et de la construction

Le secteur de la construction est composé principalement de petites entreprises. Les architectes, qui travaillaient autrefois principalement de façon solitaire, ont diversifié leurs modes d'exercice, impactant ainsi le profil des agences d'architecture. Dans cette partie, nous dressons un état démographique général des agences d'architecture et des entreprises du secteur de la construction.

1.4.1 Les agences d'architecture

Dans cette partie, nous montrons comment se sont constituées et institutionnalisées les entreprises d'architecture, ainsi que l'impact qu'a eu cette institutionnalisation tardive sur la taille des agences, qui sont principalement de très petites structures.

1.4.1.1 Les « entreprises d'architecture », une notion récente.

Au XIX^e siècle, le métier d'architecte s'exerce plutôt de manière individuelle et la plupart du temps au domicile du professionnel. Les agences existent, mais ne correspondent pas aux entreprises et sociétés d'architecture que nous connaissons aujourd'hui. L'exercice en agence permet aux jeunes d'acquérir une première expérience professionnelle : ils sont collaborateurs-élèves d'un architecte-directeur d'agence, et exercent sous son autorité. La pratique reste individuelle et les collaborations rares. Au début du XX^e siècle, dans un contexte de reconstruction du pays, de nombreux architectes parisiens ouvrent des succursales de leur agence : la figure de l'« architecte-gérant » se renforce. Sa dimension contradictoire avec un exercice libéral suscite cependant de nombreuses critiques, et l'antinomie entre exercice libéral et statut salarié pose toujours question aujourd'hui¹⁵.

Dans les années 30, plus d'un tiers des édifices publics sont signés par au moins deux architectes : l'exercice en associé prend de l'ampleur. Mais en 1940, lorsque la profession est réglementée, seul le mode libéral est permis par les textes. Ce n'est qu'en 1977 que les modes d'exercice salarié et associé sont reconnus. Cela a eu pour conséquence de figer dans la durée un mode d'exercice déjà obsolète en 1940 (Decommer 2018b), qui a pourtant marqué la profession.

¹⁵ Ce mode d'exercice souffre d'une connotation négative car elle renvoie l'image d'un architecte « affairiste » qui exploite le travail de ses collaborateurs tout en s'en attribuant les mérites (Decommer 2018b). La pratique du salariat qui est aujourd'hui courante chez les architectes est beaucoup plus rare et moins bien perçue dans les autres professions libérales : le salariat est jugé incompatible avec le respect d'une déontologie, notamment avec le principe d'indépendance (Chesneau, 2018c).

Aujourd'hui, les agences peuvent être structurées sous forme d'entreprise (un seul propriétaire) ou de société (plusieurs propriétaires), tandis que les modes d'exercice sont multiples (Lobjois 2018).

1.4.1.2 Les agences d'architecture aujourd'hui : quelques chiffres

Le CNOA réalise régulièrement des enquêtes statistiques sur la profession d'architecte depuis 2005. Intitulée « Observatoire de la profession d'architecte » et réalisée tous les trois ans entre 2005 et 2014 (2005 - 2008 - 2011 - 2014), cette étude a pris une nouvelle forme dès 2015 lorsqu'est diffusée la première édition du rapport « Archigraphie » qui est maintenant réalisé tous les ans (CNOA 2015). Ces chiffres permettent de dresser un panorama sur la profession et d'étudier son évolution.

D'après le rapport Archigraphie 2018 (CNOA 2018a), **le nombre d'architectes inscrits au tableau de l'ordre se situe autour de 30 000 depuis une dizaine d'années**. La nomenclature de ces tableaux comprend **six types d'activités** : libérale, associée, salariée, fonctionnaire, l'exercice exclusif à l'étranger et enfin l'exercice qui n'est pas la maîtrise d'œuvre (CNOA 2018a). Le nombre d'architectes libéraux est en diminution constante tandis que le nombre d'architectes associés augmente depuis 2004 : en 2017, 44% des architectes inscrits à l'ordre sont associés, et 46% exercent en libéral¹⁶. L'augmentation des associés est due en grande partie aux nouvelles générations qui optent pour ce type d'activité¹⁷. En 2016, 67% des entreprises d'architecture employeuses ont un statut juridique de société ou assimilé (plusieurs propriétaires).

En 2016, plus de 80% des entreprises d'architecture employeuses ont un effectif de moins de 6 ETP : 54% des entreprises/sociétés d'architecture employeuses ont un effectif de moins de 3 ETP (Equivalent Temps Plein), et 27% ont un effectif compris entre 3 et 5 ETP.

1.4.2 Le secteur de la construction

Le secteur de la construction est caractérisé par « une forte fragmentation de l'ensemble de la chaîne de valeur à laquelle contribuent un nombre élevé d'intervenants » (Bourgault et al. 2021). En France, plus de 99% des entreprises du secteur de la construction sont des Petites et Moyennes Entreprises (PME) (voir A, **Figure 7**). Cependant, près d'un employé du secteur sur 5 est embauché dans une grande entreprise¹⁸. Le secteur de la construction (tous types

¹⁶ L'inscription à l'ordre n'est pas obligatoire pour exercer en tant que salarié. Si les chiffres de l'ordre ne comptent qu'un faible pourcentage de salariés, cela ne signifie pas qu'il y en a peu.

¹⁷ À noter qu'ils réalisent généralement leurs premières années d'exercice comme salarié.

¹⁸ L'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Economiques) distingue quatre catégories d'entreprise, en fonction principalement de leur taille et de leur chiffre d'affaires. Les graphiques que nous présentons dans cette partie se basent uniquement sur les nombres d'employés pour établir une approximation de la catégorie des entreprises : le chiffre d'affaires n'a pas été pris en compte ici.

d'entreprises inclus) est donc principalement composé de très petites entreprises, mais les grandes entreprises emploient un grand nombre de personnes.

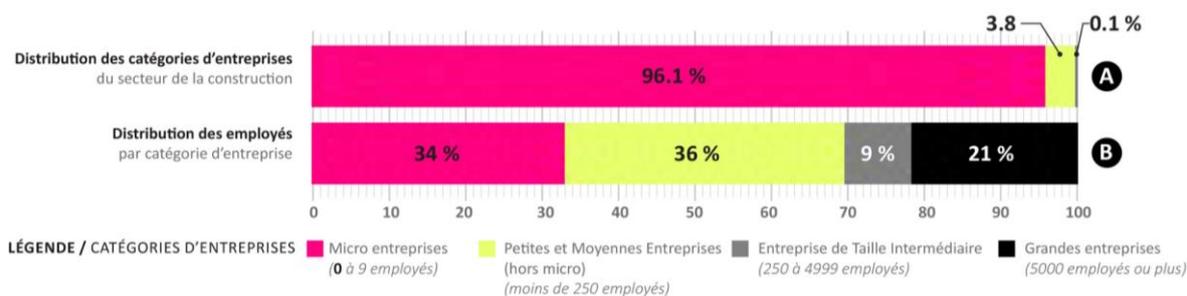


Figure 7. Distribution des entreprises (A) et des employés (B) du secteur de la construction par catégorie d'entreprise en France en 2013. Source des données utilisées : A : (Insee 2015) ; B : (Insee 2017).

En France, 93% des agences d'architecture qui emploient au moins une personne sont des PME, dont les trois quarts emploient moins de 5 personnes (voir C, Figure 7). En France, une seule agence d'architecture dépasse le statut de PME, avec près de 600 employés et 70 M€ de chiffre d'affaires, il s'agit d'Arep¹⁹ (Caille 2017; SOCIETE.COM 2020). Les agences d'architecture sont dans l'ensemble très petites. Environ un tiers des employés des agences travaillent dans une entreprise de plus de 10 personnes (voir D, Figure 7). Cependant, **les données publiées par le CNOA tous les ans ne permettent pas de lier les tailles d'entreprise à leur type d'activité**, et encore moins à leurs pratiques numériques. Les croisements entre données sont très rares, ce qui ne permet pas d'étudier les caractéristiques de populations d'agences données.

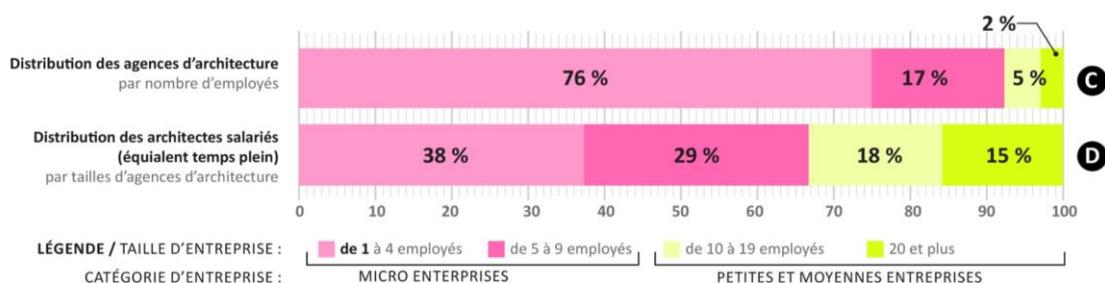


Figure 8. Distribution des entreprises d'architecture et des architectes salariés des agences d'architecture par taille d'entreprise en France en 2014. Source des données utilisées : (CNOA 2016).

Le secteur de la construction est donc principalement **composé de très petites entreprises**. Contrairement à d'autres secteurs, **il est également très fragmenté** : chaque projet fait intervenir de nombreux acteurs différents qui correspondent à des entreprises différentes (Terrin 2005). Dans les industries automobile et aéronautique par exemple, les entreprises sont généralement de très grande taille et intègrent l'ensemble de la chaîne de production. En plus de

¹⁹ Arep est une agence d'architecture pluridisciplinaire, filiale de la Société Nationale des Chemins de fer français. https://www.arep.fr/arep_groupe/Identite

cette fragmentation d'entreprises, chaque projet fait généralement intervenir des acteurs différents, empêchant ainsi généralement la mise en place de pratiques de travail réutilisables d'un projet à l'autre. Ces deux caractéristiques (petites entreprises et fragmentation du processus) ne sont pas spécifiques au contexte français et ont souvent été utilisées pour expliquer la lenteur de la diffusion des technologies dans le secteur de la construction (Turk 2000).

- Les **sociétés d'architecture** sont majoritairement de **très petites entreprises**. Le mode d'exercice historique (en libéral) concerne toujours près d'un architecte sur deux, mais est en constante diminution. Les jeunes architectes optent pour le salariat ou l'exercice en associé.
- Le **secteur de la construction** est très fragmenté et principalement composé de **petites entreprises**. Cette fragmentation rend la diffusion d'innovations techniques complexes au sein du secteur.

1.5 Conclusion du chapitre

Les acteurs qui interviennent au cours du cycle de vie d'un ouvrage sont nombreux. Leur coordination et organisation ont fait l'objet de nombreux travaux. Le modèle séquentiel, qui est le plus souvent mis en œuvre aujourd'hui, comporte de nombreuses limites : il ne permet pas d'intégrer les contraintes de gestion de l'ouvrage au cours de sa conception. Les modèles et montages contractuels des équipes de projet ont progressivement évolué pour intégrer une maîtrise d'œuvre de plus en plus diversifiée. La diversification des acteurs de la maîtrise d'œuvre est principalement due à la spécialisation des missions de conception encore affectées uniquement à l'architecte au XVIII^e siècle. Récemment, certains modèles ont permis d'intégrer les acteurs de la gestion exploitation et maintenance des ouvrages dans le processus de conception.

La profession d'architecte s'est quant à elle constituée une identité d'artiste en se détournant progressivement des problématiques techniques de l'ouvrage. Cette identité, ainsi que la nature libérale de la profession semblent avoir de nombreuses implications sur la manière dont elle évolue et réagit aux évolutions de son environnement.

Le BIM, une technologie de rupture ?

Le Building Information Modeling, Model Management (BIM) est souvent qualifié de technologie de rupture. Dans ce chapitre, nous allons voir qu'il s'inscrit dans la continuité des innovations du secteur de la construction sur le plan technique (Conception Assistée par Ordinateur) et organisationnel (évolution de l'organisation du travail). Cependant, il s'agit d'une technologie de l'information et de la communication qui est en important décalage avec les méthodes de travail actuelles du secteur de la construction.

Dans un premier temps, nous allons positionner le BIM par rapport à l'histoire des technologies pour la construction. Ensuite, nous allons voir en quoi il est en rupture avec les méthodes de travail actuelles. Enfin, nous évoquerons les raisons pour lesquelles les États à travers le monde souhaitent inciter les acteurs du secteur à adopter cette technologie, et évoquerons leurs stratégies incitatives.

2.1 BIM : une continuité avec les précédentes innovations du secteur de la construction

Dans cette partie, nous revenons sur l'évolution du dessin et de la conception assistée par ordinateur. Nous montrons ainsi en quoi le BIM s'inscrit dans une continuité naturelle des évolutions technologiques passées du secteur de la construction et de la société dans son ensemble. Nous montrons également en quoi il est en phase avec le développement actuel de l'industrie 4.0.

2.1.1 La naissance et l'évolution de la CAO.

Dans cette partie, les moments clés de la constitution de la CAO du secteur de l'architecture sont exposés. Ils sont nécessaires pour comprendre l'émergence du « BIM » et les réactions qu'il suscite aujourd'hui²⁰.

2.1.1.1 La CAO pour l'architecture est née dans les années 80

La naissance de la DAO-CAO : les industries automobile et aéronautique en première ligne

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la course aux nouvelles technologies est un enjeu politique, a accéléré le développement des technologies de calcul. En 1945, à la fin de la guerre, le premier ordinateur est commercialisé. Très coûteux et volumineux, il est édité en peu d'exemplaires et est réservé aux grandes entreprises. À la fin des années 1950 - début des années 1960, les premiers logiciels ancêtres des solutions de Dessin Assistée par Ordinateur (DAO) voient le jour dans les laboratoires de recherche. Très vite, et dès le milieu des années 1960, les premières générations de logiciels de DAO en 2 dimensions sont utilisées dans l'industrie. Ils sont principalement **développés par des industriels** du secteur automobile **pour leur propre utilisation** (Tornincasa, Di Monaco 2010). Au début des années 1970, des systèmes de **modélisation 2D** sont **commercialisés** ; ils sont achetés notamment par les secteurs aéronautique et électrique qui commencent à développer des logiciels de **modélisation 3D**. L'entreprise française d'armement et d'aéronautique Dassault systèmes (connue alors encore sous la dénomination « Avion Marcel Dassault ») développe l'ancêtre du logiciel de modélisation 3D CATIA dès 1977, commercialisé un an plus tard (Tornincasa, Di Monaco 2010).

²⁰ Contrairement à l'historique présenté par Antoine Picon dans son travail sur la culture numérique en architecture, celui qui est présenté ici est centré sur la période après les années 70. Antoine Picon a travaillé sur le lien entre informatisation et **production architecturale** (objet architectural) (Picon 2010b), tandis que notre travail concerne le lien entre informatisation et **conditions de production architecturale** (méthodes, outils et organisation du travail).

Les années 80 : l'essor de la CAO spécialisée pour l'architecture

Les premières interfaces graphiques des ordinateurs sont développées au milieu des années 1970 et début des années 1980. Les premiers mini-ordinateurs et les premiers ordinateurs personnels (moins chers et produits en grande quantité) sont alors commercialisés : c'est le début de la marche vers la démocratisation de l'informatique.

À partir des années 1980, le marché des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) explose. Des **sociétés d'édition de logiciels** développent et commercialisent des solutions CAO pour leurs clients. Entre 1983 et 1985, des logiciels de dessin et modélisation dédiés à l'architecture font leur apparition (voir **Tableau 1**).

Tableau 1. Date de commercialisation des premières versions des logiciels

<i>Date</i>	<i>Nom du logiciel</i>	<i>Référence</i>
1983	AutoCAD (Autodesk avait été créé en 1982)	(Tornincasa, Di Monaco 2010)
1984	Allplan, logiciel de CAO destiné aux architectes et ingénieurs	(ALLPLAN 2020)
1984	ArchiCAD (alors encore nommé Radar CH)	(Kmethy 2010)
1985	Vectorworks (qui s'appelait alors encore MiniCad)	(FreeCAD 2013)
1999	Revit	(Hurley 2008)

Avant ces outils, on dessinait sur les outils de DAO avec des composantes du dessin à la main comme des traits, des hachures ou des surfaces. La vague des outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) des années 80 amène le dessin 3D avec des objets architecturaux comme des murs, dalles ou encore des poteaux que l'on paramètre. **Ces outils marquent le début de la modélisation architecturale orientée objet** (Eastman et al. 2008).

La commercialisation de ces logiciels par des éditeurs dans les années 80 marque le passage d'une **logique de programmation** (où chaque entreprise développe ses propres outils) à une **logique d'édition** (où un éditeur propose des outils pour ses clients qui n'ont donc pas à le développer) (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Ce basculement est un tournant important dans l'histoire de la CAO et dans la démocratisation des outils numériques. Les logiciels ne sont plus faits sur mesure pour chaque client : ils deviennent des solutions « standards » avec des possibilités de paramétrage. À la même période, les premiers ordinateurs personnels arrivent sur le marché : moins onéreux, ce matériel et ces logiciels « clé en main » deviennent accessibles²¹ aux petites et moyennes entreprises qui ne pouvaient pas les développer elles-mêmes. Cette période correspond donc au début de la standardisation des moyens de conception et de dessin assisté par ordinateur.

²¹ La notion d'accessibilité est relative car les logiciels restaient extrêmement coûteux à leurs débuts.

La raison pour laquelle il a fallu attendre l'édition de logiciels pour que la CAO se développe dans le secteur de la construction semble être sa composition. Contrairement aux secteurs de l'aéronautique et de l'automobile composés principalement de grandes entreprises capables de développer leurs propres outils, le secteur de la construction compte principalement des petites entreprises n'ayant pas cette capacité²². C'est pour cette raison également que certaines technologies utilisées dans la construction ont été initialement développées à d'autres fins.

2.1.1.2 Années 1990 : le développement de l'interopérabilité

Au cours des années 1980, l'informatique pour la construction s'est développée de manière fulgurante. Chaque secteur d'activité et chaque spécialité au sein du secteur commence à exploiter des solutions logicielles indépendantes les unes des autres. Elles ne sont alors pas développées pour communiquer entre elles et les échanges d'informations entre ces différents outils sont alors difficiles²³.

Le début des années 1990 correspond au début de la diffusion large d'internet. L'isolement des domaines et les problèmes d'interopérabilité deviennent alors centraux. Cet isolement trouve alors un nom dans la littérature scientifique : « *Islands of Automation* » (Hannus 1996). L'appellation fait référence à des îles (domaines) qui ont développé leurs standards et logiciels de manière isolée et non communicante : les « îlots d'automatisation ». C'est le début du développement et de la prise en compte large des problématiques d'interopérabilité²⁴.

À la fin des années 90, Matti Hannus (Hannus 1996) propose une représentation graphique des îlots d'automatisation (voir **Figure 9**). Il représente des moyens qui permettent métaphoriquement d'aller d'une île à l'autre. On remarque par exemple le « ferry » du format DXF qui permet d'échanger des dessins vectoriels entre la conception architecturale et l'ingénierie.

L'écoulement du temps est représenté sur son schéma par la baisse du niveau de l'eau chaque année, qui laisse apparaître : (1) des îles avec une base de plus en plus large (car les domaines s'informatisent de plus en plus), (2) des îles qui se rejoignent à leur base (car des domaines mutualisent leurs technologies), mais aussi (3) de nouvelles îles qui sont découvertes (des nouveaux domaines qui s'informatisent) et qu'il s'agira de connecter aux autres.

²² On trouve quelques exceptions comme l'entreprise Gehry Technologies (Propriété de Franck Gehry, architecte), qui a fait développer un plug-in pour l'architecture du logiciel CATIA. Notons toutefois que « Digital Project », le plug-in développé, reste basé sur CATIA, qui est initialement dédié à l'aéronautique.

²³ On peut toutefois noter que des formats d'échange ont été développés pour la transmission d'informations entre logiciels, comme le format DXF (Drawing eXchange Format), créé en 1982.

²⁴ En informatique, l'interopérabilité correspond à la capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations. Pour que deux logiciels puissent néanmoins échanger des informations, on développe généralement des formats de fichier qui sont exportables et importables par les deux logiciels qui peuvent alors communiquer.

On peut noter que sur cette représentation, l'île qui correspond à l'informatisation de la conception architecturale est moins étendue et moins haute que celle de l'ingénierie : la conception architecturale s'est informatisée plus tardivement que ces autres domaines et est, par conséquent, moins développée. On note également que Hannus envisage une interopérabilité parfaite entre ces différents domaines à l'horizon 2010 : la ligne de côte présente sur sa figure pour l'année 2010 englobe toutes les îles.

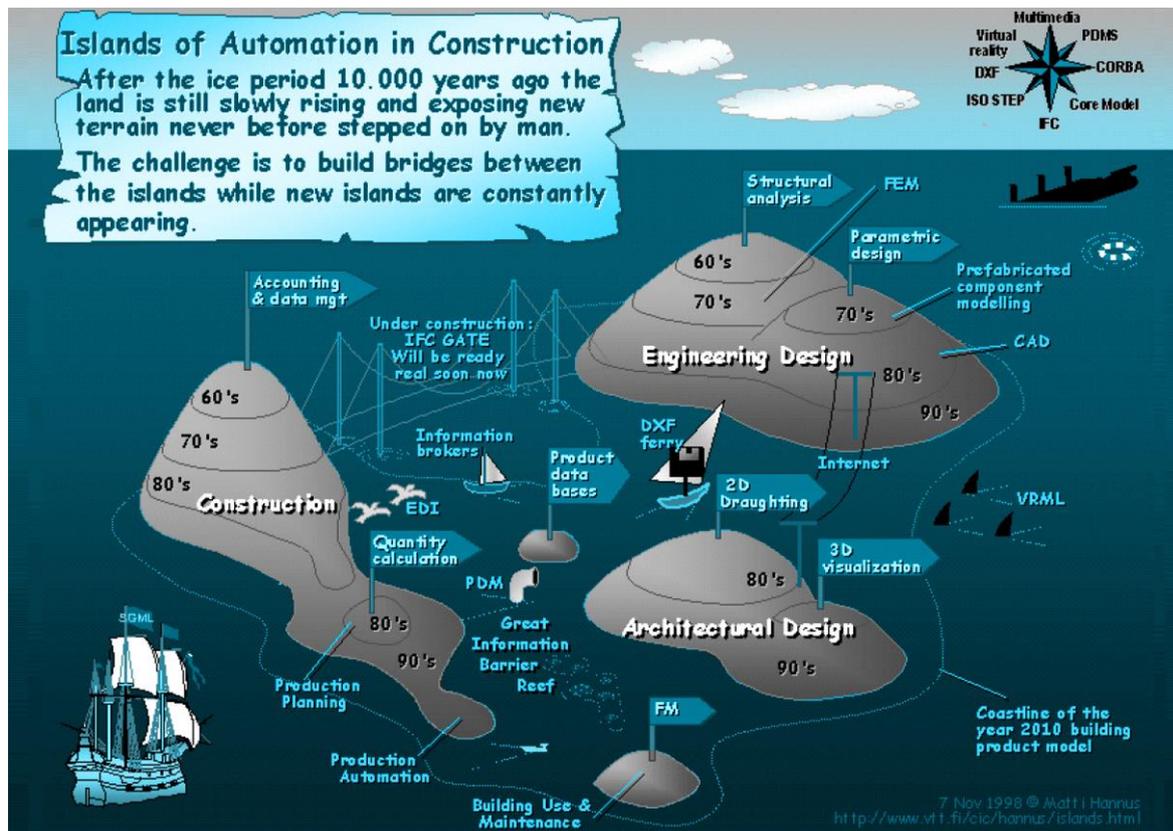


Figure 9. Îlots d'automatisation. Source : (Hannus 1996)

En 1996, Autodesk fonde l'IAI (*International Alliance for Interoperability*²⁵) avec d'autres éditeurs de logiciels. L'objectif de cette alliance est de développer des standards pour améliorer l'interopérabilité des logiciels dédiés au secteur de la construction. Un an plus tard, elle propose la première version d'un format de fichier qui a vocation à contenir les informations d'un ouvrage tout au long de son cycle de vie : l'IFC. Ce format apparaît comme un « pont en construction » sur le schéma des *Islands of Automation* de Hannus.

Lors de la création de l'IAI, Autodesk n'avait pas encore développé son logiciel de modélisation dédié à l'architecture (Revit). Ses principaux concurrents ont développé leurs solutions au début

²⁵ Alliance internationale pour l'interopérabilité. Cette organisation change de nom pour « buildingSMART » en 2008.

des années 1980 tandis que la première version de Revit est commercialisée à la fin des années 1990, lorsque les standards d'interopérabilité étaient déjà mis en place. Ce timing, qui aurait pu être une faiblesse et engendrer un retard pour l'éditeur, a été transformé par la firme en une opportunité commerciale. D'une part, elle a pu développer ses solutions en accord avec les standards existants, mais aussi insister sur le manque d'ergonomie des solutions de ses concurrents. « Avant l'ordinateur, le papier, les crayons et la créativité étaient les seuls outils dont un architecte avait besoin. Aujourd'hui, une génération entière a été forcée de travailler avec des outils complexes et contre-intuitifs. Les technologies de Conception Assistée par Ordinateur sont devenues un fléau : il est temps de libérer votre créativité » affichait la vidéo de présentation de la première version du logiciel (Revit 2000).

Le développement de l'informatique accessible (ordinateurs personnels et premières solutions de CAO) est réalisé dans un laps de temps très court et les problématiques d'interopérabilité ont été développées dans le même temps. Cependant, à la fin des années 1990, il y a encore « peu d'ordinateurs dans les agences d'architecture, et ils [sont] généralement utilisés pour faire du traitement de texte et de la comptabilité. Les tâches de conception s'[effectuent] encore à la main, des premiers croquis au rendu final » (Picon 2010b). Il y a donc un écart d'une vingtaine d'années entre la première commercialisation des technologies et leur adoption et diffusion dans les agences.

2.1.1.1 La révolution de la centralisation des données : l'industrie 4.0

La société dans son ensemble, et le secteur de la construction avec elle, traverse aujourd'hui ce que l'on appelle parfois « **la 4^e révolution industrielle** » ou « **l'industrie 4.0** » (Bourgault et al. 2021). Ce mouvement est caractérisé par le passage des **ressources d'informations statiques et fragmentées** (plans, documents papier) vers des **applications et ressources d'informations centralisées** et dynamiques (bases de données en ligne, utilisables et évolutives) (Poirier et al. 2018). Dans la continuité du développement de l'interopérabilité des années 1990, les informations deviennent aujourd'hui de plus en plus accessibles, et communiquent avec de nombreux services (Bourgault et al. 2021). L'interopérabilité, qui était dans le secteur de la construction jusque-là très portée sur des **formats** d'échanges (formats de fichier) est aujourd'hui orientée sur des **protocoles** d'échange. Les informations sont également traitées et captées de façon de plus en plus automatisée, afin d'assurer la mise à jour des bases de données exploitées.

2.1.1.2 Émergence de la notion de BIM

Au milieu des années 1990, la plupart des éléments constitutifs de la notion de « BIM » étaient présents : les logiciels de CAO orientés objet, ainsi que la volonté de centraliser et échanger les informations du bâtiment au cours du cycle de vie d'un ouvrage (le *continuum numérique*).

Dès la fin des années 80, l'idée de connecter les modèles d'ingénierie et d'architecture dans une seule « maquette numérique » (*building modeling*) qui constitue une base de données du bâtiment (et pas uniquement un modèle 3D) émergeait déjà (Aish 1986). Au cours des années 1990 on évoque également les informations du bâtiment (*building information*) ainsi que leur gestion (*information management*) (Eastman 1999) , le *Building Information Model(ing)/Management* alias « BIM » était né.

L'acronyme « BIM » devient rapidement un mot clé incontournable, et les travaux de recherche sur cette thématique se multiplient (Eastman et al. 2011). En 2007, un travail de thèse fait référence sur le BIM et pose ses bases théoriques de manière didactique et graphique, il s'agit du travail de Bilal Succar (Succar 2009). Ce dernier fonde la plateforme et encyclopédie en ligne *BIMe initiative* (Succar 2020), qui est enrichie et traduite dans de nombreux langages par une communauté active d'experts. En 2008, la première édition d'un ouvrage qui deviendra une véritable référence sur le BIM est publiée : le « *BIM Handbook* » (Eastman et al. 2008). Cet ouvrage est rapidement qualifié de « bible » du BIM. Le BIM et sa diffusion sont ainsi vus comme « la clé de voûte » permettant de déployer la Construction 4.0 (Bourgault et al. 2021).

2.1.2 BIM : définition, intérêt et utilisation

2.1.2.1 Définition du BIM

L'acronyme « *BIM* » signifie ***Building Information Model/Modeling/Management***²⁶. Il désigne une technologie innovante qui regroupe un ensemble de méthodes, procédés et outils de travail permettant d'alimenter (*Building Information Modeling*) et d'exploiter une base de données contenant des informations d'un ouvrage tout au long de son cycle de vie (Eastman et al. 2011; Kensek 2014). Cette base de données prend la forme d'une maquette numérique (*Building Information Model*), qui est une représentation numérique des caractéristiques géométriques et fonctionnelles d'un ouvrage. Elle constitue une source d'informations partagée utile pour la prise de décision au cours de toutes les phases du cycle de vie d'un ouvrage (Kensek 2014; Eynon 2016). Pour que les informations puissent être utilisées, il convient de les gérer (*Building Information Management*). La dispersion des informations du bâtiment, leur perte, ainsi que leur ressaisie à chaque passage d'un acteur (ou phase) du projet à l'autre sont à l'origine de nombreux dysfonctionnements. Cette dispersion allonge les délais, minimise la qualité, et augmente les coûts de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie ; l'ingénierie concurrente est donc le type d'organisation qui permet de bénéficier au mieux du BIM (Eastman et al. 2011). La **technologie**

²⁶ **modèle, modélisation et gestion** des informations du bâtiment

BIM, par la centralisation et le partage d'informations, est une solution envisagée pour limiter ces problèmes, dans un esprit de **rationalisation**.

2.1.2.2 Une technologie de l'information et de la communication

Une technologie de l'information et de la communication (TIC) est « utilisée pour fournir des données, des informations et des connaissances » (Turk 2000). Le BIM est donc bien une **technologie de l'information** dédiée au secteur de l'architecture, de l'ingénierie, de la construction et de l'exploitation²⁷ (AICE). La notion de technologie est ici entendue comme un ensemble d'outils, de techniques et de méthodes relatives à un domaine, dont les dimensions humaine et organisationnelle font pleinement partie. Certains auteurs ont par ailleurs exploité la littérature sur la mise en œuvre et l'implémentation des TIC et l'intégration des systèmes d'information pour appréhender la question de l'adoption du BIM (Lindblad, Vass 2015; Vass, Gustavsson 2017).

La technologie BIM fait intervenir trois domaines d'activité qui interagissent les uns avec les autres (Succar 2009) : (1) le **secteur de l'AICE** avec ses acteurs et ses méthodes de travail, (2) **l'industrie informatique** avec les fabricants de solutions matérielles et les éditeurs de logiciels, ainsi que la **sphère politique**²⁸, **règlementaire** et universitaire, qui élaborent le cadre de l'utilisation de cette technologie (associations professionnelles, organismes de régulation, de recherche et de formation).

2.1.2.3 Les usages BIM

On distingue plusieurs manières d'exploiter la maquette numérique et les informations de l'ouvrage au cours du cycle de vie avec le **BIM de conception**, **BIM de construction**, **BIM de gestion exploitation maintenance**, et le **BIM de déconstruction** (voir *Figure 10*). On investit également depuis récemment le BIM pour la programmation (Siala Chakroun 2019).

²⁷ Dans la littérature scientifique, le terme « secteur de la construction » est généralement noté en anglais « *AEC sector* » (Architectural, Engineering and Construction sector). Depuis la large diffusion du BIM, AEC est de plus en plus souvent remplacé par le terme « AECO » (O pour Operation), intégrant ainsi la phase de Gestion Exploitation et Maintenance de l'ouvrage (Kensek 2014). Ce glissement sémantique marque la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage dans cette technologie de l'information. Mais en français, on parle généralement simplement de « secteur de la construction ».

²⁸ La terminologie « politique » est ici à prendre dans son sens premier, c'est-à-dire « qui a rapport à la société organisée », à la décision qui impacte la vie en société.

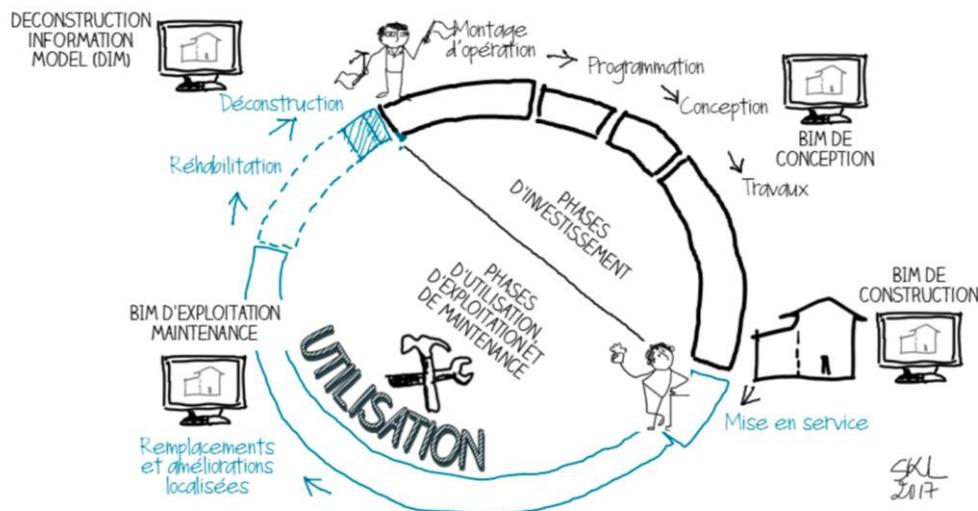


Figure 10. Cycle de vie du bâtiment avec les différentes utilisations du BIM. Source : (Levan 2017)

En **BIM de conception**, l'utilisation d'une maquette numérique permet de bénéficier de la cohérence entre les vues du projet : chaque document du projet (plans, coupes, métrés) est issu d'une vue du modèle 3D dont la mise à jour impacte directement et automatiquement tous les documents du projet. Les objets BIM sont par ailleurs paramétriques, pour faciliter leur édition (Eastman et al. 2011). La rapidité d'édition et de récupération des informations de la maquette numérique (pour des métrés par exemple) est le principal bénéfice direct du BIM pour les agences d'architecture et peut constituer un gain de temps considérable.

La maquette numérique, généralement produite initialement par l'agence d'architecture, peut également être échangée avec les bureaux d'études techniques pour diverses simulations sur le projet (thermiques, acoustiques, etc.). Cet aller-retour et ces simulations dès les premières phases de conception sont censés permettre une meilleure prise en compte des contraintes techniques tôt dans le projet, pour améliorer la conception du bâtiment (Eastman et al. 2008).

Le **BIM de construction** est censé faciliter l'organisation et la planification de chantier, notamment en affectant aux éléments architecturaux un lot et une phase de projet pour simuler la construction du bâtiment. Cet usage BIM est parfois appelé « simulation 4D », car la dimension temporelle est ajoutée aux dimensions spatiales (Eynon 2016; Boton 2013).

Le **BIM-GEM** (gestion exploitation et maintenance de l'ouvrage) consiste à gérer de manière globale une installation, en exploitant et alimentant les informations de la maquette numérique. La phase d'exploitation, peu connue des architectes, consiste à assurer la fonctionnalité, le confort, la sécurité et l'efficacité de l'environnement construit, en intégrant les personnes, les espaces, les processus et les technologies de l'installation et de l'ouvrage (Parsanezhad 2015; Dao, Forgues 2013). Parent pauvre du secteur de la construction, cette phase du cycle de vie exploite aujourd'hui très peu les informations de la maquette numérique (Atkin, Brooks 2015; Eastman et

al. 2011). Le **BIM pour la déconstruction** est aujourd'hui très peu développé et il est souvent considéré comme appartenant à la phase de GEM.

Les diverses utilisations de la maquette numérique sont appelées « usages BIM »²⁹ classés dans des « dimensions BIM ». Les dimensions commencent en 2D jusqu'à « nD ». À titre d'exemple, la 4D correspond à l'intégration du temps dans le modèle 3D, la 5D à l'intégration des coûts, etc. (Kensek 2014). On retrouve de nombreuses classifications d'usages dans la littérature³⁰.

- ➔ Le BIM est donc une **technologie** qui exploite les **informations** associées à un **ouvrage** pour permettre une conception plus poussée avec une meilleure prise en compte des contraintes, une économie en temps et en argent (Bresson 2014). Cette technologie est censée **bénéficier à l'ensemble des acteurs du projet** et **améliorer les performances de l'ouvrage**.
- ➔ Si l'on parle **d'ingénierie concourante** depuis de nombreuses années dans le secteur de la construction, le BIM incarne parfaitement ce concept qui consiste à engager les acteurs du projet simultanément, en organisant leur interfaçage (Celnik 2014a).
- ➔ Tous les secteurs sont concernés et impactés par « **la 4^e révolution industrielle** ». Celle-ci est liée à la manière dont sont produites, traitées et exploitées les **données et informations**. De plus en plus **centralisées**, ces opérations sont également de plus en plus **automatisées**. Le BIM apparaît comme la clé de voûte de cette transformation pour le secteur de la construction.

²⁹ Dans la littérature scientifique rédigée en anglais, ces usages sont appelés « BIM uses » ou « model uses ».

³⁰ On peut citer par exemple le guide d'Harvard (https://home.planningoffice.harvard.edu/files/hppm/files/harvardbep_bim_uses.pdf), ou encore le cadre de référence BIM4value (<https://www.smartbuildingsalliance.org/project/cadre-de-reference-b4v>)

2.2 Le BIM : une technologie de rupture ?

Si le BIM est la continuité naturelle des évolutions des technologies informatiques et de la société (de l'information) en général, il n'en reste pas moins très en décalage avec les méthodes de travail actuellement pratiquées dans le secteur de l'AICE. Un nouveau cadre de travail a dû être défini pour le mettre en œuvre, mais de nombreuses problématiques restent irrésolues.

2.2.1 Un nouveau cadre pour le travail en BIM pour la conception

Si la quantité d'informations disponibles sur un bâtiment est abyssale, celles qui sont nécessaires et intégrables dans une maquette numérique restent limitées. Il a donc été nécessaire de définir un cadre pour (1) exprimer les besoins en information dans une MN (Maquette Numérique), (2) qualifier la capacité des acteurs et (3) des systèmes informatiques pour gérer ces informations (voir **Figure 11**).

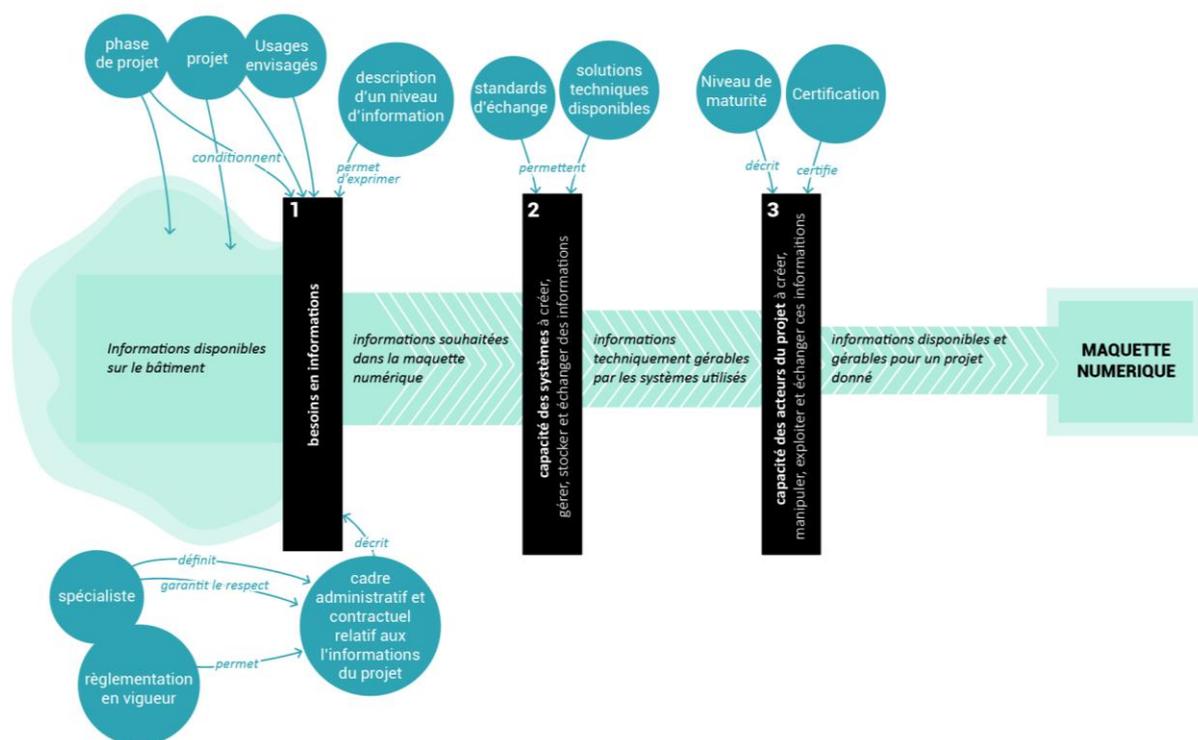


Figure 11. Positionnement des concepts évoqués dans cette partie : cadre des informations intégrables à la MN pour un projet et à un moment donné.

Note de lecture : les rectangles noirs correspondent aux concepts évoqués dans les trois sous-parties à venir.

2.2.1.1 Exprimer les besoins en information dans la MN

Les informations liées au projet sont très nombreuses, mais toutes ne sont pas utiles dans la MN. Cela dépend notamment du type de bâtiment concerné, des usages BIM que l'on souhaite mettre en œuvre, ainsi que de la phase du projet concernée. Il a été nécessaire (1) de développer une

manière de décrire l'exigence du niveau d'information et de géométrie de la MN, (2) de **construire le cadre administratif du projet** dans lequel cette exigence pouvait être intégrée, et (3) **d'identifier rôle ou métier qui serait garant de l'intégrité de ces informations**.

Les exigences du niveau d'information et de géométrie de la MN

Les représentations graphiques bidimensionnelles du projet évoluent et se détaillent au fur et à mesure de l'avancement du projet : on utilise des échelles graphiques de plus en plus grandes afin d'avoir un niveau de détail de plus en plus élevé. Un concept équivalent a dû être développé pour les détails compris dans la maquette numérique.

L'industrie utilise depuis longtemps les *LOD* pour *Level of Detail* (qui ont aujourd'hui une connotation plutôt géométrique), *Level of Development* ou même *LOI* pour *Level of Information*. Si les niveaux de détail concernent plutôt le détail géométrique, les niveaux de développement, eux, concernent également le niveau d'informations intégrées dans la maquette numérique (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016).

Les LOD sont compris entre 100 et 500 et décrivent le niveau d'information à inclure dans la maquette numérique pour différents niveaux d'avancement (Bedrick 2008; Celnik 2014a). L'ordre des architectes américain a adopté ce standard depuis 2008 pour les projets architecturaux (Kensek 2014). En France, on parle de « Niveaux de Développement » (ND), qui représentent le « niveau de renseignement attendu » dans la maquette numérique pour chaque phase de projet de la loi MOP (Syntec Ingenierie 2014). Ce standard n'est à ce jour intégré à aucune réglementation.

Le cadre administratif et réglementaire du projet BIM

Les maîtres d'ouvrage qui souhaitent voir les équipes de maîtrise d'œuvre travailler en BIM, et éventuellement récupérer une maquette numérique pour la GEM de leur patrimoine, doivent anticiper le cadre et les exigences de projet en BIM. Plusieurs outils sont aujourd'hui à leur disposition pour cela (voir **Figure 12**).

On retrouve en premier lieu la **charte (BIM) du maître d'ouvrage**. Il s'agit d'un document générique (non lié à un projet en particulier) qui traduit sa politique en objectifs, notamment sur le volet BIM (PTNB 2016). Ce document n'est pas contractuel.

Chaque projet fait l'objet de l'élaboration d'un **cahier des charges**. Ce document précise les « exigences et objectifs des intervenants successifs du projet », y compris les objectifs BIM. Il s'agit d'un élément du programme, au même titre que la description des espaces et caractéristiques attendues du bâtiment (PTNB 2016).

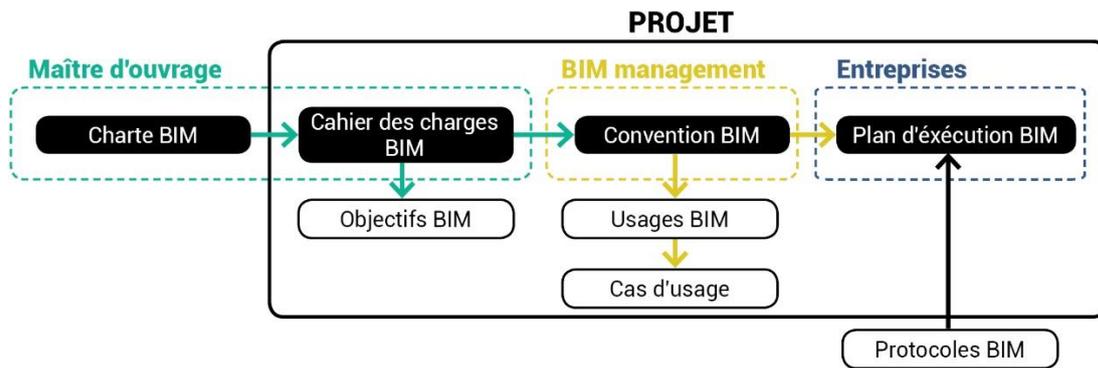


Figure 12. Différents documents qui encadrent le travail et les pratiques dans les projets BIM.
Figure réalisée à partir de (OpenClassrooms 2021).

Note de lecture : les flèches indiquent les implications de documents (la convention BIM découle du cahier des charges), les couleurs des flèches indiquent l'acteur qui les rédige.

La **convention BIM** est un document contractuel qui engage les partenaires du projet. Elle décrit « les méthodes organisationnelles de représentation graphique, la gestion et le transfert des données du projet, ainsi que les processus, les modèles, les utilisations, le rôle de chaque intervenant et l'environnement collaboratif du BIM » (PTNB 2016). Elle est rédigée par l'organisation qui est chargée de l'organisation BIM du projet, c'est-à-dire celle qui a la mission de « BIM management ». Le CNOA propose sur son site une trame de Convention BIM (CNOA 2018b). Enfin, sur le volet plus opérationnel, le **plan d'exécution BIM** (ou *BIM execution plan*) décrit en détail les usages, l'organisation interne et les exigences internes (Kensek 2014). Dès l'année 2010, l'université de Pennsylvanie proposait un guide pour réaliser un plan d'exécution BIM : le *BIM project execution planning guide* (CIC 2010).

Les nouveaux métiers du BIM

Il est nécessaire de désigner un responsable pour ces nouvelles tâches de gestion des informations et pour la vérification de l'intégrité de la MN. Les spécialistes et spécialisations qui ont émergé suite à la diffusion du BIM sont légion (BIM manager, BIM modelleur, etc.) (Barison, Santos 2011). Ces derniers répondent à deux aspects principaux de la mise en œuvre de pratiques BIM : la **gestion de projet BIM** et **l'accompagnement à la transition**.

On fait généralement la distinction entre métier et rôle (De Boissieu 2020). Un métier correspond à l'exercice d'une activité de façon permanente qui requiert un certain nombre de compétences; il est reconnu dans la société et fait l'objet d'un titre professionnel³¹. Un rôle correspond à une fonction remplie par une ou plusieurs personnes, souvent de façon non permanente.

³¹ Un titre professionnel atteste de la maîtrise d'un certain nombre de compétences acquises par son détenteur. Le titre professionnel de coordinateur BIM existe par ailleurs depuis 2019 (JORF 2019)

Le développement de pratiques BIM a fait émerger de nombreux débats portant sur la nature des spécialisations BIM : s'agit-il de rôles ou de métiers ? (Celnik 2014b; Bertrand 2014; Barison, Santos 2011). Sur cette question, les points de vue des experts divergent aujourd'hui encore. La multiplication des projets BIM a multiplié le temps de travail dédié aux missions et rôles BIM. Certains experts aux compétences spécifiques ont commencé à exercer ces activités de gestion de projet BIM à temps plein et comme métier.

2.2.1.2 Qualifier et certifier les compétences des acteurs

Niveau de maturité

Élaborer une stratégie de travail en BIM nécessite de pouvoir apprécier et **qualifier la maturité d'une organisation dans sa pratique CAO**. Il existe à ce jour plusieurs référentiels de maturité des pratiques CAO, plus ou moins fins, permettant de qualifier la maturité d'un secteur, d'une organisation ou d'une personne.

Le modèle le plus simple et le plus courant qualifie le niveau de capacité des acteurs de 0 à 3. Il est présenté ci-dessous (**Figure 12**) (Succar 2010). Chaque niveau de capacité est par ailleurs détaillé en différents niveaux de maturité. Une version en français plus détaillée et actualisée existe également (Boton, Kubicki 2014) : c'est la version sur laquelle nous nous appuyerons dans le reste de notre travail³². Dans cette traduction française de ce modèle, la notion de « niveaux de maturité » a été utilisée en lieu et place de « niveaux de capacité ».

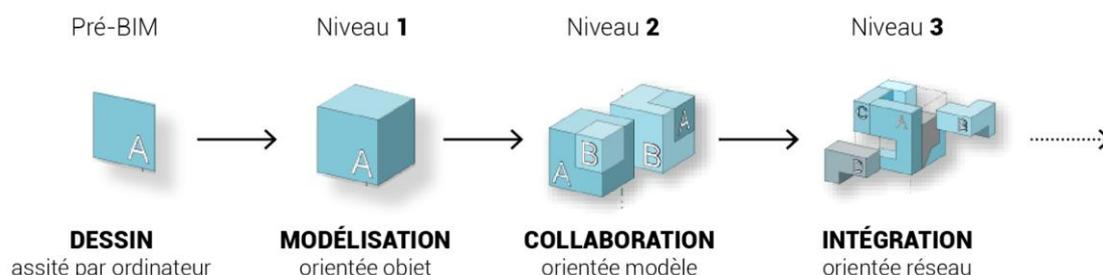


Figure 13. Niveaux de maturité des pratiques CAO. D'après (Succar 2010), (Boton, Kubicki 2014).

Le **niveau de maturité 0** est parfois appelé « Pré-BIM ». Il correspond au développement séparé des différents documents du projet (plans, coupes, métrés, etc.), avec des échanges de fichiers 2D entre partenaires. Le **niveau de maturité 1** correspond à la « modélisation orientée objet ». Ce niveau caractérise les structures qui travaillent avec un outil de modélisation 3D objet qui automatisent la génération de la documentation du projet à partir de la maquette numérique. Les

³² Il existe en réalité dans le travail de Succar (2009) trois niveaux de capacité, détaillés en cinq niveaux de maturité. Le langage courant BIM évoque trois principaux « niveaux de maturité » comme présenté par (Boton, Kubicki 2014). Ce concept en trois paliers est suffisant pour la suite de notre étude, notamment notre enquête par questionnaire.

échanges dans ce type de cas sont généralement unidirectionnels (pas d'aller-retour entre les acteurs du projet). Le **niveau de maturité 2** est qualifié de « collaboration orientée modèle ». Il caractérise les structures qui réalisent une maquette numérique avancée du projet, et en exploitent les informations. Le niveau 2 implique des échanges de maquette numérique entre les acteurs du projet. Le **niveau de maturité 3** correspond à une « intégration orientée réseau ». C'est un niveau qui implique le stockage en ligne de la maquette numérique, à laquelle les acteurs du projet (voire des systèmes) peuvent accéder pour l'éditer de manière synchrone. Ce dernier niveau est aujourd'hui relativement théorique, car il pose de nombreux problèmes techniques et réglementaires. On note cependant qu'il s'inscrit pleinement dans le concept d'industrie 4.0 et la gestion de l'information centralisée.

Certifications

Il est rassurant pour les maîtres d'ouvrage de pouvoir vérifier le niveau des compétences BIM des acteurs avec qui ils vont s'engager (Kensek 2014). La compétence BIM devient en effet un critère de sélection des partenaires de la maîtrise d'œuvre.

On distingue deux types d'outils d'évaluation : ceux qui permettent l'évaluation d'une organisation ou entreprise, et ceux qui évaluent les compétences individuelles des acteurs. Ces outils de mesure permettent d'évaluer les processus, technologies, standards, le niveau organisationnel et les compétences individuelles des acteurs (Wu et al. 2017). De nombreux outils de mesure et de certification des compétences des acteurs ont été développés et aucun d'entre eux n'est obligatoire ou généralisé au niveau de la France. Les professionnels du secteur français sont par ailleurs méfiants vis-à-vis de ces certifications, car ils craignent que leur obtention ne conditionne (et donc bloque) l'accès aux marchés, en particulier pour les TPE-PME (Tarek 2019).

2.2.1.3 Développer la capacité des systèmes à créer, gérer et échanger des informations

Le développement logiciel d'un nouveau cadre de travail (notamment collaboratif) est passé par le développement des outils de modélisation et de conception, des outils de collaboration et d'organisation du travail, ainsi que le développement des standards d'échange.

Les outils de CAO

Le Conseil National de l'Ordre des Architectes précise que les quatre principaux logiciels BIM pour la modélisation BIM destinés aux architectes sont : Allplan, ArchiCAD, Revit et Vectorworks (CNOA 2018c). La plupart d'entre eux sont apparus dans les années 80³³. Si leur fonctionnement reste depuis le même, leurs fonctionnalités se sont étendues. Leurs interfaces deviennent de plus

³³ L'appellation « logiciel BIM de conception » reste toutefois anachronique dans ce cas.

en plus ergonomiques et leur interopérabilité avec d'autres systèmes devient meilleure à chaque nouvelle version.

Le **cloud computing** (Kumar, Cheng, McGibbney 2010) déplace progressivement les logiciels et la puissance de calcul hors des locaux des entreprises. Alors que les logiciels étaient auparavant achetés avec des licences permanentes et installées sur les ordinateurs des entreprises, ils sont aujourd'hui disponibles en licence par abonnement et se transforment progressivement en applications web³⁴. Les licences par abonnement pour les logiciels incluent également maintenant des services (stockage, ferme de calcul), avec les avantages et bien sûr les inconvénients que cela implique.

Garantir les échanges de maquette numérique

Lorsque les acteurs du projet s'échangent une maquette numérique (BIM niveau 2), on distingue deux types d'échanges : le *closed BIM* et l'*open BIM* (Lebègue, Vervandier 2014).

Le **closed BIM** désigne des échanges de maquette numérique réalisés avec des **formats de fichier propriétaires**³⁵. L'échange a alors lieu entre des logiciels issus du même écosystème qui ont été développés pour lire les formats natifs des uns des autres : on parle alors également d'**intraopérabilité** (Kensek 2014). L'intraopérabilité exclut les acteurs du projet qui utilisent des logiciels développés en dehors de l'écosystème. De plus, à chaque nouvelle mise à jour ou version d'un logiciel, l'éditeur peut choisir d'arrêter de supporter la lecture-écriture des fichiers dans des formats précédents. Cela pose un problème de pérennité de l'accès aux informations de l'ouvrage dans le temps. Le *closed BIM* est en revanche robuste, car l'éditeur a pu lui-même maîtriser toute la chaîne d'échanges qui est alors très fiable. C'est le cas en particulier d'Autodesk qui développe de nombreux logiciels, qui intègrent généralement des passerelles en format natif d'un logiciel à l'autre.

L'**open BIM** désigne des échanges de maquette numérique réalisés avec un **standard ouvert**³⁶. Le standard ouvert est indépendant de tout éditeur et de tout logiciel, on parle dès lors d'**interopérabilité** (Kensek 2014). L'*open BIM* favorise la diversité de logiciels au sein de l'équipe

³⁴ À l'instar du logiciel phare de la modélisation 3D rapidement : SketchUp, qui est maintenant proposé également en format application web ; ou encore de différents services web qui proposent de traiter nos fichiers pour les compresser, les analyser, etc.

³⁵ Un format propriétaire (ou « fermé ») est un format dont l'accès ou l'utilisation des spécifications (indications qui décrivent le format et qui permettent le développement d'un module d'import ou d'export) est limité par l'entreprise qui a développé ce format. Les formats natifs des logiciels sont généralement des formats propriétaires : c'est le cas par exemple en BIM des formats .rvt (format natif Revit) et .pln (format natif ArchiCAD) (Ferriès 2014).

³⁶ Un standard ouvert est un format de données dont « les spécifications techniques sont publiques et sans restriction d'accès ni de mise en œuvre » (Legifrance 2004).

de projet et garantit la pérennité de l'accès aux données dans le temps. Le format de fichier par excellence de l'open BIM est l'IFC, développé par buildingSMART. Il a quelques variantes, comme le format BCF qui ajoute une couche collaborative à la maquette numérique en associant des commentaires à des objets IFC (Ferriès 2014). Notons également que building Smart a mis en place un système de certification import-export IFC des logiciels.

Les outils support de collaboration

Des outils de « travail collaboratif assisté par ordinateur » (ou « collecticiels ») ont commencé à se développer dans les années 2000, en parallèle du développement des standards d'échange pour le BIM.

Une **situation collaborative**³⁷ regroupe trois fonctions principales : (1) la **communication** entre acteurs, (2) la **production** et le partage d'artefacts, ainsi que (3) la **coordination** et l'organisation des acteurs (Salber et al. 1995; Ellis, Wainer 1994)(Ellis, Wainer 1994)(Ellis, Wainer 1994). Ces trois fonctions sont aujourd'hui encore la plupart du temps supportées par des outils différents (exemple : outil de visioconférence pour la communication, plateforme de stockage en ligne pour l'échange, calendrier en ligne pour la coordination). Mais ces outils diversifient généralement leurs fonctionnalités et les plateformes de stockage offrent maintenant souvent des outils de communication qui permettent de commenter les documents, voire de dialoguer en direct, etc ³⁸. Depuis les années 2000, de nombreux « collecticiels » (logiciels qui ont vocation à réunir plusieurs fonctions retrouvées dans une situation collaborative). Des collecticiels ont été développés dans le secteur de la construction (Bignon et al. 2000; Boton 2013; Malcurat 2001), il s'agit des ancêtres des « plateformes collaboratives BIM » actuelles ainsi que du niveau de maturité 3 des pratiques BIM.

De nombreuses **plateformes collaboratives** ont été développées pour supporter les activités BIM. Elles doivent permettre le travail multi-utilisateurs distants, le suivi des modifications et le stockage des maquettes figées pour chaque phase contractuelle du projet (du Merle 2014). La plus célèbre en France, Kroqi (Kroqi 2018), est développée par le gouvernement français comme un service public gratuit. Kroqi intègre la dimension de **partage des fichiers** (IFC notamment), de **communication** (avec un outil de visioconférence), et de **coordination** (avec un calendrier et un gestionnaire de tâches). Certains outils de visualisation et vérification de la maquette numérique

³⁷ Nous utilisons ici le terme « collaboratif » alors que l'auteur indique qu'il s'agit de travail coopératif. L'intensité des échanges entre les acteurs est ce qui différencie ces deux situations, et l'auteur indique lui-même que ses propos restent valables pour un travail collaboratif.

³⁸ On peut penser par exemple à la suite bureautique collaborative de Google (docs, sheets, slides, etc.) qui permet à plusieurs utilisateurs de travailler sur le même document de manière synchrone, et d'échanger autour de celui-ci via un chat et un système de commentaires intégrés. Elle réunit au moins les deux fonctions de communication et de partage/production d'artefacts.

sont par ailleurs disponibles directement sur Kroqi : on retrouve ici la dématérialisation des services.

Cependant, ces plateformes ne sont pas encore totalement opérationnelles au sens du BIM niveau 3. En effet, celui-ci impliquerait que la plateforme intègre l'outil de production, ou soit liée directement avec les outils de production des différents acteurs, par protocoles d'échanges (et non plus par dépôt de fichiers).

2.2.2 De nombreux problèmes restent non résolus

La mise en place du BIM nécessite une « mise à plat des pratiques » pour en organiser efficacement la gestion (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016). Il y a d'une part les problèmes liés à l'utilisation du BIM et d'autre part à la difficulté au moment de sa mise en place. Nous dressons un panorama de ces problématiques sur le plan technique et logiciel, sur le plan organisationnel et structurel, et sur le plan règlementaire.

2.2.2.1 Sur le plan technique : les problèmes d'interopérabilité

La continuité numérique entre les différentes phases du cycle de vie du bâtiment reste un véritable challenge technologique, notamment sur la définition des informations à échanger. Certaines phases, comme le chantier ou la GEM (Gestion, Exploitation, Maintenance) font intervenir informations particulièrement dispersées. L'interface entre ces phases n'est pas non plus réglée : la maquette de construction par exemple combine les informations du bâtiment tel qu'il devrait être construit tandis que la phase de GEM nécessite une maquette « *as built* » (tel que construit) (Kensek 2014). Il faut noter également que le format IFC n'est pas encore abouti, que de nombreuses informations nécessaires à la description d'un bâtiment dans ses différentes échelles ne sont pas intégrées. De plus, les problèmes de lecture-écriture (interopérabilité) de ce format restent nombreux. Même en interne d'une phase du cycle de vie du bâtiment, les problèmes d'interopérabilité sont nombreux (Gu, London 2010). En attendant, l'intraopérabilité se développe et est souvent favorisée par les maîtres d'ouvrages pour sa fiabilité : cela a pour conséquence de faire converger vers un monopôle logiciel pour la conception, porté aujourd'hui par Autodesk.

2.2.2.2 Sur le plan humain et organisationnel : les difficultés de mise en œuvre du BIM

La technologie BIM bouleverse le **déroulement du projet**. Pour bénéficier de la MN (échanges avec des partenaires, documentation du projet), il faut tout d'abord la créer et l'enrichir. Cela a pour effet de décaler l'effort important de modélisation/dessin en amont du projet. Il est ainsi possible de produire des analyses supplémentaires sur le projet très en amont, lorsque le coût des modifications est encore faible. Ce décalage est illustré par le diagramme de Mac-Leamy (MacLeamy 2010) (Figure 14).

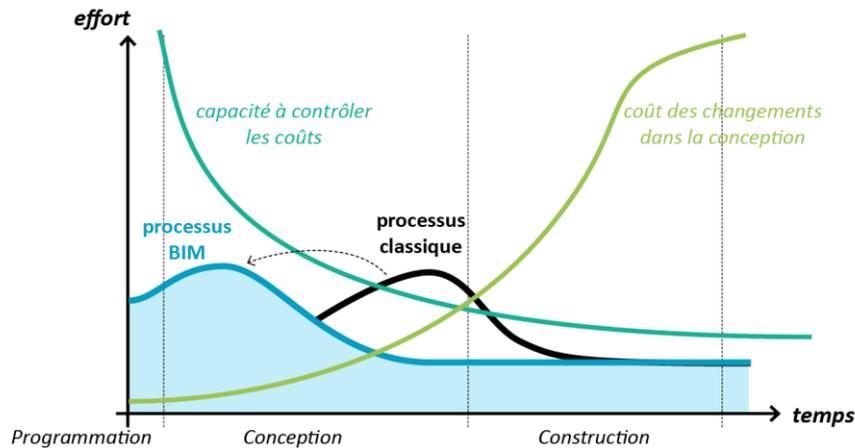


Figure 14. Diagramme de Mac-Leamy. Source : (MacLeamy 2010)

Les modifications du déroulement du projet vont de pair avec une **évolution des périodes d'implication des acteurs du projet**. La technologie BIM constitue une réponse aux limites du modèle séquentiel. En effet, le niveau 1 permet d'automatiser certaines tâches, mais fonctionne toujours en modèle séquentiel; le niveau 2 permet d'intégrer plus tôt les bureaux d'étude dans le processus de conception et de mieux anticiper et réaliser la construction; le niveau 3 permet d'intégrer les acteurs de la GEM dès les premières phases de conception de l'ouvrage et d'échanger avec eux beaucoup plus d'informations qu'auparavant (voir Figure 15).

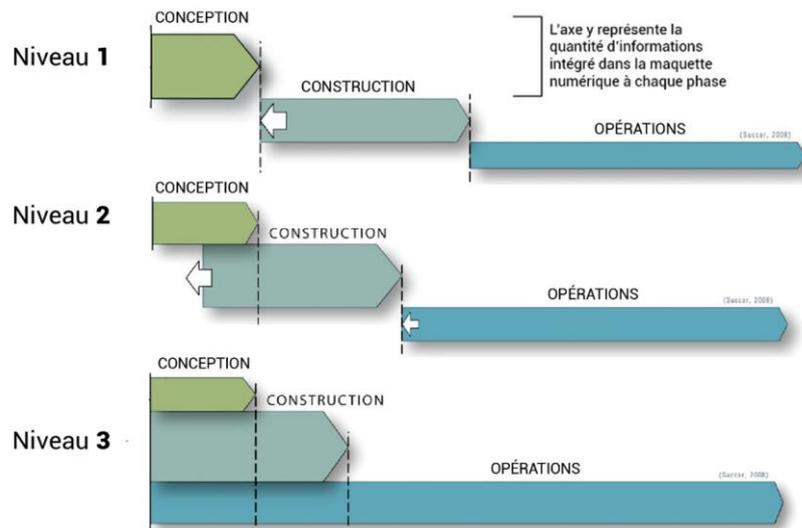


Figure 15. Phases du cycle de vie du projet (liés à la conception) pour les trois niveaux de maturité. D'après : (Succar 2009)

Le modèle concourant pose en revanche de nombreux défis, et en premier lieu celui de la transition du modèle actuel **séquentiel** vers un modèle **concourant**³⁹. La nouvelle répartition des efforts à fournir au long du projet (plus d'effort au cours des premières phases) nécessite un temps

³⁹ Voir partie 1.1.2, « Modèles de gestion de projet et structures contractuelles », p.22.

d'adaptation des professionnels dans leur organisation. Il faut revoir la répartition des rémunérations pour chaque phase, et repenser la rémunération au sein de la maîtrise d'œuvre, notamment liée à l'économie de temps pour ceux qui exploitent les données de la maquette numérique (Pélegrin 2014). L'intégration des acteurs de la construction et de la gestion vers les phases de conception va nécessairement réorganiser le secteur et modifier encore la place de l'architecte dans le projet. Le BIM bouleverse également les habitudes de travail, et demande une rigueur extrême dans la modélisation et l'intégration des informations (Dossier 2014).

Concernant la « transition numérique » à proprement parler, les professionnels insistent régulièrement sur le coût des équipements nécessaires à la mise en place de pratiques BIM (logiciels, ordinateurs performants). La manière dont ce changement est supporté et appréhendé par les entreprises qui le mettent en place reste une problématique importante (Eynon 2016; Holzer 2015). La littérature scientifique relative à la mise en place de pratiques BIM a également noté que l'implémentation du BIM est associée à un changement profond dans les organisations, qui concerne les outils, les processus et routines de travail, la collaboration, les compétences, et les pratiques de manière générale (Lindblad, Vass 2015; Poirier 2015). C'est l'ensemble du système d'information des organisations permanentes (maîtrise d'œuvre, entreprises) et temporaires (équipes de projet, etc.) qui est touché par l'implémentation d'une technologie comme le BIM (Lindblad, Vass 2015).

2.2.2.3 Sur le plan réglementaire et politique : un cadre pour l'instant inadapté

L'utilisation de la technologie BIM, qui s'inscrit dans une démarche concourante suppose une **redéfinition de la loi MOP** qui organise les missions en mode séquentiel. Plus précisément, ce sont ses décrets et arrêtés d'application qui doivent évoluer : dans la définition des livrables, la mise à jour des contenus des missions qui y sont définies, l'intégration de la phase de GEM, la définition du BIM management (Bellenger, Blandin, Celnik 2016).

Outre une évolution de la loi MOP, l'utilisation du BIM induit des modifications des modalités d'exécution des prestations et la création de fonctions complémentaires. Il est donc nécessaire d'examiner les responsabilités au vu des évolutions des missions actuelles, et des missions nouvelles (Bellenger, Blandin, Celnik 2016). Il faudra aussi définir des bonnes pratiques afin de les intégrer à l'environnement juridique et administratif des opérations (Hoyet, Duchene, Fouquet 2016). Le partage de la MN nécessite également l'élaboration d'un cadre qui fixe la propriété intellectuelle des informations qui y sont intégrées dans le cadre d'une opération menée en BIM (Bellenger, Blandin, Celnik 2016). La dématérialisation des livrables et procédures liées à l'ouvrage se développent, comme le dépôt de permis de construire (PC) ou encore le dossier des interventions ultérieures sur ouvrage (DIUO). Ce dernier cadre est cependant en marche : à partir

du 1^{er} janvier 2022, ⁴⁰ les communes françaises de plus de 3500 habitants seront obligées d'instruire par voie dématérialisée les demandes de permis de construire, et certaines demandes d'urbanisme.

→ Malgré sa **continuité naturelle** avec les précédentes grandes innovations technologiques (l'ordinateur et internet), ainsi qu'avec les innovations du secteur de la construction (DAO), le BIM nécessite la mise en place d'un cadre technique, humain et réglementaire conséquent. La mise en place de ce cadre a commencé, mais il reste encore très lacunaire.

⁴⁰ Article L. 423-3 du code de l'urbanisme, et article L. 112-8 du code des relations entre le public et l'administration

2.3 Des initiatives incitatives partout dans le monde, et un réveil tardif pour la France.

Dans cette partie, nous présentons un rapide état des lieux des initiatives et des enjeux des États à inciter leurs secteurs à adopter des pratiques BIM. Nous dressons également un panorama des réactions observées en France, notamment dans la profession d'architecte.

2.3.1 Le contexte international

2.3.1.1 Le concept de macro-adoption

La technologie BIM est une innovation collaborative, dont l'adoption peut être étudiée à différents niveaux (Poirier 2015; Succar 2010). Trois principales échelles organisationnelles sont généralement distinguées dans les travaux de recherche sur le BIM et sur son adoption (Succar, BIME initiative 2009; Poirier 2015). L'**échelle micro** se situe au niveau d'une entreprise, elle-même composée (en fonction de sa taille) de départements, d'équipes, et d'individus. L'**échelle meso** correspond aux équipes de projet et à leurs interactions dans le cadre du projet. Cette échelle, orientée sur le projet, intègre plusieurs entreprises qui composent une « organisation temporaire » qui dure le temps du projet. L'**échelle macro** comprend les marchés et industries. Le marché international est composé des marchés nationaux, composés eux-mêmes de différents secteurs, organisés en disciplines, divisées en spécialités.

2.3.1.2 La macro-adoption : un enjeu pour les États

En tant que maître d'ouvrage et gestionnaire de patrimoine, l'État peut tirer bénéfice de la technologie BIM. Partout à travers le monde, de nombreux États ont donc développé une politique incitative qui vise à généraliser l'utilisation du BIM pour les marchés publics.

Pour (Succar, Kassem 2015), la diffusion de pratiques BIM à un niveau national passe par la mise à niveau de plusieurs domaines : l'évolution des systèmes informatiques, des processus de travail, et du cadre de travail (réglementaire et institutionnel). D'après ces mêmes auteurs, la maturité BIM d'un pays peut se mesurer sur huit axes :

- **Objectifs et étapes politiques** : des objectifs politiques et des étapes sont clairement définis.
- **Démonstrateurs** : Le pays a des « BIM champions », ce sont des acteurs qui ont mis en place des pratiques BIM très tôt, qui entraînent d'autres acteurs avec eux.
- **Cadre réglementaire** : un environnement réglementaire a été mis en place pour permettre les pratiques BIM (contrats, droits d'auteur, polices d'assurance, etc.).
- **Publications notoires** : les acteurs du secteur ont accès librement et gratuitement à de la documentation qui les aide à mettre en œuvre des pratiques BIM. Cette documentation peut être réalisée par l'État ou des associations d'industriels.

- **Système éducatif** : l'enseignement (initial et continu) couvre les concepts, outils et processus de travail BIM.
- **Métriques et certifications** : des outils adaptés au contexte national permettent de mesurer les capacités BIM des individus, organisations, et équipes de projet.
- **Standards et livrables** : il existe des standards nationaux qui s'adaptent régulièrement au contexte international. Des livrables BIM sont définis.
- **Infrastructure technologique** : les technologies BIM performantes sont disponibles pour les acteurs du secteur.

Les études comparatives de la maturité BIM de différents pays se sont multipliées ces dernières années. Cette thématique constitue un enjeu concurrentiel entre différents pays. Dès lors que quelques-uns d'entre eux ont mis en place des politiques publiques permettant de favoriser le développement du BIM, il devient nécessaire pour les autres de se mettre rapidement à jour pour ne pas être à la marge. Si quelques pays ont très rapidement mis le BIM au cœur de leur politique publique de développement de la construction, la France a quant à elle commencé à mettre en place un cadre assez tardivement.

2.3.1.1 Positionnement des États par rapport au BIM

Les politiques gouvernementales et l'évaluation de la maturité BIM de différents pays concernent l'échelle macro, mais les réglementations peuvent agir sur les échelles meso et micro pour impacter l'ensemble du marché. En 2014, le parlement européen adopte une directive qui précise que « pour les marchés publics de travaux et les concours, les États membres de l'Union [Européenne] peuvent exiger l'utilisation d'outils électroniques particuliers tels que les outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires. » (Parlement Européen 2014). Certains pays membres de l'UE avaient déjà pris cette direction quelques années auparavant : dès 2011, le gouvernement du Royaume-Uni⁴¹ publie sa « stratégie pour le secteur de la construction » (UK government, Maude 2011) qui précise qu'un BIM totalement collaboratif (niveau 2) sera exigé dès 2016, ce qui a été mis en œuvre, dans un cadre limité à certains types de projets.

Dès la fin des années 2000 et au début des années 2010, les enquêtes commerciales comparatives du niveau d'adoption de plusieurs pays prospèrent. Par exemple, les enquêtes de McGraw-Hill, une entreprise spécialisée dans l'analyse financière, publie plusieurs études financées et soutenues par des industriels, associations d'industriels et ordres des architectes (McGraw Hill Construction 2014; McGraw Hill Construction et al. 2010). Ces enquêtes sont peu rigoureuses et se basent sur des panels de répondants assez faibles (Kassem, Succar 2017). Des études plus rigoureuses issues de la recherche fleurissent également, mais se concentrent généralement sur

⁴¹ La sortie du Royaume-Uni de l'Union européenne (UE) a pris effet le 1^{er} février 2020, au moment de la directive européenne, il était encore membre de l'UE.

un seul pays. En 2017, une étude comparative de plusieurs pays est réalisée sur la base des huit axes précédemment évoqués. D'après ces critères, les sept pays dans lesquels la diffusion du BIM est la plus avancée sont : les Pays-Bas, la Chine, l'Angleterre, la Finlande, la Corée du Sud, la Nouvelle-Zélande, Hong-kong et les États-Unis (Kassem, Succar 2017). Certains pays ont en effet mis en place très tôt des stratégies nationales pour encourager ou faciliter l'utilisation du BIM, à l'instar des États-Unis qui ont mis en place un programme BIM dès 2003 ou encore la Finlande qui intègre des livrables de maquette numérique depuis 2007 (Edirisinghe, London 2015). La France n'a pas pu être intégrée à leur étude comparative, faute de réponse des acteurs contactés pour diffuser l'enquête.

2.3.2 Le BIM en France : quel niveau d'avancement, quelles stratégies, quelles réactions ?

2.3.2.1 Un baromètre en France ?

Les **publications notoires** référencées pour la France sont toutes relativement récentes : les premières sont datées de 2014, contre 2005 pour les États-Unis, 2007 pour la Finlande et la Norvège, et 2009 pour l'Australie (Hochscheid, Halin 2018a). La France est d'ailleurs très peu représentée et étudiée dans les études comparatives internationales sur le BIM (à l'exception de celles qui concernent l'Europe): **elle n'est pas considérée comme un pays leader sur le BIM.**

Au niveau français, de nombreux sites internet d'information sur le bâtiment ont publié des études en ligne : elles touchent un public restreint et la méthodologie y est rarement détaillée. Il faut attendre 2016 pour voir apparaître un « baromètre du BIM » qui permet de suivre l'avancement du BIM en France. Il est depuis réalisé tous les ans, la version 2018 étant sa 3^e édition (Groupe BATACTU 2018). Ce baromètre permet de voir une progression de la diffusion du BIM : de plus en plus d'acteurs disent en avoir une connaissance suffisante (tous statuts confondus avec maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises de construction et industriels). Ils estiment majoritairement que c'est une innovation complexe, mais utile.

2.3.2.2 Le BIM en France : un réveil politique en 2014

Mediaconstruct et ADN Construction

Il existe un volet français de l'association buildingSMART : il s'agit de Mediaconstruct. L'association publie régulièrement des documents en français pour permettre aux professionnels de comprendre et utiliser la technologie BIM (Mediaconstruct 2020). Même si Mediaconstruct a rejoint buildingSMART dès sa création, la France a mis en place une stratégie BIM assez tard par rapport à d'autres pays. En 2017, d'importants organismes professionnels, dont l'union nationale des syndicats français d'architectes (UNSF), ont quitté l'association, car l'évolution de la gouvernance qu'ils ont souhaitée n'a pas eu lieu (Batiactu 2017). Quelques mois plus tard, ils

participent à la création d'ADN construction (l'association pour le développement du numérique dans la construction) (ADNc 2017), dont les missions sont similaires à Mediaconstruct.

Le Plan de Transition Numérique du Bâtiment

En mars 2014 (un mois après l'adoption de la directive européenne incitative sur le BIM), Cécile Duflot alors ministre du Logement et de l'égalité des territoires, indique dans une interview pour le journal Le Moniteur « nous allons progressivement rendre obligatoire la maquette numérique dans les marchés publics d'État en 2017 » (Beideler, Francqueville 2014). Cette affirmation provoque un tsunami dans le milieu de l'architecture et suscite l'inquiétude des professionnels.

En juin 2014, Sylvia Pinel, successeurice de Mme Duflot, demande à Bertrand Delcambre, directeur du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), un rapport sur l'état du numérique dans le secteur de la construction. Cette initiative est réalisée dans le cadre d'un plan de relance destiné à accélérer le rythme des constructions et des rénovations, en améliorer la qualité, et en réduire le coût. Ce **rapport intitulé « Mission Numérique Bâtiment »** ou plus communément « rapport Delcambre » est rendu à Mme la ministre en décembre 2014 (Delcambre 2014).

Le « rapport Delcambre » conclut sur un plan d'action qui s'inscrit dans quatre axes : (1) motiver l'ensemble des acteurs du secteur, (2) répondre aux besoins d'équipements et de montée en compétences des TPE/PME, (3) développer des outils adaptés à tous les projets, et (4) installer une confiance dans l'écosystème numérique. Des actions et objectifs à court terme pour l'année 2015 y sont annoncés : c'est la naissance du **Plan de Transition Numérique du Bâtiment** (PTNB), et de la plateforme batiment-numerique.fr. C'est dans le cadre du PTNB qu'est développée la plateforme Kroqi.

La transposition de la directive européenne dans la Loi française

La directive européenne qui fait entrer le BIM dans le cadre juridique européen (Parlement Européen 2014) trouve une transposition dans la loi française dans un décret en 2016 (Ministère de l'économie et des finances 2016) relatif aux marchés publics, dont une section concerne la dématérialisation des procédures : « L'acheteur peut, si nécessaire, exiger l'utilisation d'outils et de dispositifs qui ne sont pas communément disponibles, tels que les **outils de modélisation électronique des données du bâtiment** ou des outils similaires. Dans ce cas, l'acheteur offre d'autres moyens d'accès (...), jusqu'à ce que ces outils et dispositifs soient devenus communément disponibles aux opérateurs économiques » (Ministère de l'économie et des finances 2016). Le décret correspond presque mot pour mot à la directive, et laisse la porte ouverte à d'autres options. Le BIM n'est donc pas rendu obligatoire, mais son utilisation est encadrée par un décret.

Le plan BIM 2022

Lors des assises du Logement de 2018, il est annoncé par le ministère du Logement que le PTNB devient le **Plan BIM 2022** dont l'objectif est de « généraliser l'utilisation du numérique dans le bâtiment d'ici 2022 » (Plan BIM 2022 2020). Il correspond à l'évolution du PTNB et reprend les différents objectifs du rapport Delcambre, regroupés sous deux principaux axes : (1) **généraliser la commande BIM**, notamment en sécurisant les contrats BIM, ou encore en créant un observatoire du BIM dans le bâtiment, et (2) **déployer le BIM dans tous les territoires** grâce aux outils adaptés, en développant de outils de montée en compétence ou en évaluant sa maturité BIM (certification). C'est ADN construction qui est porteuse des actions du plan BIM 2022.

2.3.2.3 Le BIM : formations et écoles d'architecture

Plusieurs formations spécialisées sur le BIM ont vu le jour notamment dans des écoles d'ingénieur, à l'instar du mastère⁴² spécialisé BIM à l'école des Ponts et Chaussées Paris Tech. Ces formations sont destinées à des professionnels ou de jeunes diplômés qui souhaitent se spécialiser en BIM, mais elles sont généralement assez coûteuses.

La technologie BIM est également progressivement intégrée dans des formations initiales. En 2014 se tient la première édition des Journées de l'enseignement et de la recherche sur la maquette numérique et le BIM en France (EDUBIM) qui regroupe divers établissements d'enseignement supérieur notamment en ingénierie et architecture (EDUBIM 2020).

En 2017, un cours en ligne gratuit (MOOC) dédié au BIM a été mis en place sur la plateforme <https://mooc-batiment-durable.fr/> par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) dans le cadre du Plan Bâtiment Durable.

Les écoles d'architecture ont intégré des enseignements en informatique à leur programme tardivement (Celnik 2014c). Celles **qui proposent un enseignement spécifique en BIM aujourd'hui sont encore rares**, et ces enseignements se limitent souvent à l'enseignement d'un outil en intégrant très peu la dimension collaborative de la technologie (Gless 2019).

L'actualisation du contenu pédagogique et son adéquation avec les évolutions de la société sont un pendant de la recherche universitaire (Boton, Forgues, Halin 2017). Mais les chercheurs sont rares dans les ENSA ; l'enseignement de la CAO (généralement réalisé par des enseignants issus du champ STA⁴³) est rarement mis en relation avec l'enseignement central de projet (FERRIES 2019). L'enseignement de projet ne permet donc généralement pas d'aborder les questions de

⁴² La dénomination de mastère est à ne pas confondre avec « master ». Le master, un grade universitaire est un diplôme et il est validé par l'État. Le mastère n'est pas un diplôme, il s'agit d'un label délivré par les écoles.

⁴³ Sciences et Techniques pour l'Architecture

collaboration orientée modèle avec une équipe de maîtrise d'œuvre, tandis que les cours de CAO se cantonnent à l'enseignement des outils et ne permettent pas d'aborder les questions collaboratives (Gless 2019).

Les constats concernant l'enseignement du BIM dans les ENSA sont régulièrement partagés : **un lien avec le projet est nécessaire, mais particulièrement difficile**. En 2017, un référentiel a été établi pour l'enseignement du numérique dans les ENSA. Mais celles-ci sont autonomes pour établir leur programme et très peu d'entre elles ont exploité ce référentiel pour établir le leur (FERRIES 2019). La mise en place de cours spécialisés sur le BIM est donc relativement rare et repose généralement sur des initiatives individuelles des enseignants (FERRIES 2019).

2.3.2.4 *La réception du BIM par les architectes*

En 2015, la revue AMC lance un appel à contributions des architectes sur la thématique « Le BIM est-il l'avenir de l'architecture ? »⁴⁴. Les réponses apportées permettent de percevoir la réception du BIM chez les architectes un an après son intégration dans les stratégies de l'État pour le développement du secteur de la construction.

Pour certains, le BIM est « l'occasion de reprendre la maîtrise du projet » (Levy-Bencheton 2015), « la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être » (Arene 2015), une occasion de reprendre en main le chantier que beaucoup d'architectes ont délaissé (Arene 2015) ou au contraire « [le] coup fatal que les architectes vont prendre derrière la tête s'ils ne résistent pas ensemble à ce nouveau diktat ! » (Sterlin 2015). Le BIM a été qualifié d'effet de mode passager, de « crise », « rupture » ou « mutation » qui va radicalement impacter l'acte de construire⁴⁵. Certains comparent d'ailleurs l'arrivée du BIM à la première informatisation des agences au cours des années 90 (Liste Architectes en mouvement 2014). Le BIM est rapidement identifié comme un enjeu, un train qu'il conviendrait de ne pas rater⁴⁶ (Liste Architectes en mouvement 2014). Nombreux sont ceux également qui ont tenté de mettre en garde les architectes : « l'attentisme de rigueur aujourd'hui ne doit pas faire oublier que d'autres acteurs s'emparent de ce processus » (Castel 2015).

De nombreux architectes craignent que le processus de création soit détérioré. Alors que certains sont enthousiastes à l'idée de pouvoir rapprocher les méthodes de travail des architectes et des ingénieurs (Arene 2015), d'autres souhaitent au contraire que l'architecte puisse décider seul de

⁴⁴ <https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-il-l-avenir-de-l-architecture,1534>

⁴⁵ « la crise que nous traversons n'est pas une crise, mais une nécessaire mutation (...) il faut oser de vraies ruptures, notamment comportementales » (Pélegrin 2014)

⁴⁶ « Effectué à temps, avec anticipation et volonté, cela donne un avantage concurrentiel. Effectué trop tard, sous la pression, cela devient coûteux et inefficace. » (Liste Architectes en mouvement 2014)

ses méthodes de travail pour en garder la maîtrise : « une petite caste d'idéalistes de la technique universelle, apôtres de la pensée conceptuelle unique, et assez peu conscients qu'un architecte conçoit mieux quand il a l'esprit libre, a décidé unilatéralement de révolutionner radicalement la manière de travailler dans des agences dont ils ne font pas partie et dont ils ignorent copieusement le quotidien. » (Sterlin 2015). La dimension rationnelle du BIM inquiète également et est loin de faire l'unanimité : certains condamnent « l'industrielle optimisation » du BIM qui fait « l'omission de la raison du projet » (Liste printemps des architectes 2014).

Le développement du BIM a également rapidement fait naître la crainte de l'extinction des petites agences, puisqu'il est souvent rappelé que « seules les grosses structures [peuvent] adopter la nouvelle technologie tellement son coût serait important » (Tripiet 2018). Le coût de l'équipement et de la mise en route du BIM inquiète, tout comme l'évolution des honoraires : l'architecte va-t-il y perdre ou y gagner ?

D'ailleurs, la question « à qui profite le BIM ? » est régulièrement posée. Si certains y voient un possible partage des bénéfices par tous les acteurs de la vie d'un ouvrage (Pélegrin 2014) et une opportunité de revaloriser les missions et honoraires des architectes, d'autres y voient une prise en otage par des éditeurs de logiciels : « [ils] poussent les agences dans leurs derniers retranchements pour les forcer à adopter leur nouveau standard ». Les architectes évoquent également la possibilité d'être surchargé de travail au profit d'autres acteurs : « les majors de la construction et de l'ingénierie, entrevoient la possibilité de se délester d'une grosse partie de leur travail de saisie et de modélisation sur le dos des architectes » (Sterlin 2015). Certains étendent la liste des « acteurs intéressés » aux consultants informatiques, ainsi qu'aux architectes et ingénieurs « ayant déjà acquis la compétence » et souhaitant prendre le dessus sur les architectes (Didelon, 2014). Ces réactions s'expliquent assez bien par l'histoire de la profession, issue de l'effritement des missions de la maîtrise d'œuvre. Depuis la création de l'ordre des architectes, la profession a été dans une posture de défense (du titre notamment) qui n'a peut-être fait que de les isoler des autres acteurs du secteur qui s'apprêtent à collaborer.

Pour les architectes, la collaboration sur un modèle commun pose également problème au regard du droit d'auteur qu'ils ont sur l'œuvre architecturale : « qui peut prétendre accaparer la propriété intellectuelle du projet résultant [de la collaboration des acteurs] ? » , « peut-on toujours parler d'œuvre ? » (Didelon 2014).

On note donc que la question du BIM divise les architectes : il s'agit d'un sujet qui enthousiasme, qui agace et qui fait peur. Si un « effet de mode » était évoqué au cours des années 2014-2015, la plupart des architectes semblent aujourd'hui s'accorder sur le fait qu'il s'agit d'un enjeu majeur

pour la profession, même si leurs avis divergent sur l'impact de cette transition sur la profession et sur la qualité architecturale.

- Le BIM est devenu un **enjeu important pour le développement du secteur de la construction**. Partout dans le monde, les États mettent en œuvre des politiques incitatives pour accélérer la diffusion des pratiques BIM.
- La France a **intégré le BIM tardivement dans sa stratégie**. Elle commence cependant à être dotée de plusieurs outils (plan BIM 2022, observatoire du BIM, réglementation) préparant la diffusion des pratiques BIM.
- Les **architectes ont réagi de façon assez vive par rapport au BIM** dans les premières années de son intégration dans les stratégies de l'État. Ces **réactions s'expliquent assez bien par l'histoire de l'institutionnalisation de la profession** et celle de la maîtrise d'œuvre. Les enjeux de la diffusion du BIM pour la profession sont nombreux, mais **son impact reste très incertain**.

2.4 Conclusion du chapitre

Le BIM est une technologie de l'information et de la communication qui découle naturellement des évolutions successives de la société et des grandes innovations notamment informatiques qui ont impacté tous les secteurs et toutes les industries. Elle peut néanmoins être qualifiée de technologie de rupture, car elle suppose une organisation du travail et une manière de collaborer des acteurs du secteur très différentes des méthodes employées actuellement. Si un cadre de travail a commencé à être élaboré pour permettre de commencer à mettre en place des pratiques BIM, il reste beaucoup à faire pour qu'elle puisse être opérationnelle. La France a d'ailleurs réagi tard sur le plan politique et a accumulé un retard stratégique par rapport à d'autres États sur ces questions. Mais le BIM se met progressivement en place depuis 2014. Les architectes en France sont divisés sur cette généralisation, et la dimension « rationnelle » de l'organisation du travail associée au BIM pose problème, comme d'autres avant lui.

L'acceptation des innovations et le changement dans les organisations

L'étude de la **diffusion, l'adoption et l'implémentation** du BIM dans les agences d'architecture pose de nombreuses questions qui concernent, de façon générale, la manière dont des acteurs appréhendent les **innovations**. Dans ce chapitre, nous évoquerons la notion **d'innovation** et la manière dont elles se diffusent dans une **population** donnée, les raisons qui poussent les **organisations** et les **individus** à adopter des innovations (notamment technologiques) et à engager un changement, ainsi que les méthodes de gestion et de conduite du **changement** qui permettent d'accompagner le processus d'adoption de ces innovations. La mise en place des innovations est abordée dans ce chapitre à trois principales échelles : celle de la population d'organisations, celle de l'organisation, et celle de l'individu.

3.1 Les innovations et leur propagation dans un système social

Les modèles de diffusion et d'adoption des innovations ont permis de clarifier la notion d'innovation, et la manière dont les innovations se propagent dans un système social.

3.1.1 L'innovation

Même si les deux concepts sont souvent utilisés de manière indistincte, il existe une différence entre **innovation** et **invention** (Alter 2015a) : l'**invention** correspond à la conception d'éléments en rupture avec ce qui existe, tandis que l'**innovation** correspond à la modification, la mise sur le marché et l'intégration des inventions par des acteurs (Schumpeter 1999). D'après l'organisation internationale de la standardisation (ISO), l'innovation est « un processus ou un produit nouveau ou amélioré qui se différencie de manière significative des précédents produits et processus qui étaient jusque-là disponibles aux utilisateurs » (ISO 2019). L'innovation est donc caractérisée par la disponibilité, perception, et mise en œuvre d'une invention par des acteurs (Rogers 2003). Le BIM correspond à cette définition, il s'agit d'une innovation.

L'histoire de la recherche sur la diffusion des innovations compte des théories complémentaires. Nous évoquerons ici principalement les travaux de Joseph Schumpeter et la théorie de la diffusion des innovations (TDI) d'Everett Rogers (Rogers 2003). Ces modèles décrivent de manière simplifiée la manière dont les innovations se propagent dans un système social.

On distingue les innovations incrémentales (qui constituent une amélioration continue) des innovations radicales (qui explorent de nouveaux domaines). Ce qui caractérise une innovation dépend également de son domaine d'application (Schumpeter 1999). On distingue ainsi différentes formes d'innovation comme **les innovations de produit** (l'introduction d'un nouveau produit), **de commercialisation** (l'ouverture de nouveaux marchés comme la location de particulier à particulier), **d'approvisionnement** (développement et découverte et exploitation de nouvelles sources d'approvisionnement), **de marché** (la création de nouvelles structures de marché comme l'ubérisation) et **les innovations organisationnelles** (l'introduction de nouvelles méthodes de production).

D'après les différentes formes d'innovations évoquées par Schumpeter (1999), on peut assimiler le BIM à la fois à une innovation **organisationnelle** (développement de nouvelles méthodes de travail, application de l'ingénierie concurrente), et une innovation de **produit** (introduction de nouveaux logiciels). Sa diffusion a également engendré des innovations de **commercialisation** (ouverture de services nouveaux comme les services plateformes BIM), et de **marché** (développement de nouvelles missions et nouveaux services comme le BIM management). Les

innovations surviennent rarement seules, elles s'engendrent les unes les autres, formant ainsi des grappes de façon cyclique.

3.1.2 Théorie de la diffusion des innovations

Dans les années 1960, Everett Rogers, sociologue américain, publie *Diffusion of Innovation*, un ouvrage fondateur sur l'étude des innovations et leur diffusion. Il s'agit d'un travail précurseur et d'une synthèse conséquente sur l'adoption des innovations. Il y étudie et modélise les phénomènes qui influencent la manière dont une innovation se diffuse dans une population donnée (Rogers 2003). La théorie de la Diffusion des Innovations (TDI) proposée par Rogers a fait l'objet de nombreux compléments, critiques et améliorations.

3.1.2.1 La diffusion de l'innovation dépend de différents facteurs

Le processus de diffusion d'une innovation correspond à **l'acceptation, l'acquisition** et le **déploiement** au cours du temps de certains **produits, idées** ou **pratiques** par des **individus, groupes d'individus** ou autres **unités d'adoption**, dans un **système social donné** avec un **système de valeurs** et une **culture** donnés (Katz, Levin, Hamilton 1963; Fichman, Kemerer 1999; Rogers 2003). La TDI a été réexplorée au cours des années 80-90 pour décrire (et essayer de prédire) la diffusion des technologies de l'information et de la communication.

D'après Rogers, le *taux d'adoption*, c'est-à-dire « la vitesse à laquelle une innovation est adoptée par les membres d'un système social » peut être expliqué par :

- **l'avantage relatif** (*relative advantage*) : l'avantage que l'adoption de l'innovation donne subjectivement à un acteur par rapport aux autres. Cet avantage peut être d'ordre économique, mais il peut également prendre d'autres formes comme un prestige social.
- **la compatibilité** (*compatibility*) : le degré de compatibilité de l'innovation avec les valeurs existantes de l'adoptant et de ses expériences passées ainsi que la compatibilité aux normes du système social auquel appartient l'adoptant.
- **la complexité** (*complexity*) : la difficulté subjective des individus à comprendre et utiliser une innovation.
- **la testabilité** (*trialability*) : le degré de possibilité de tester une innovation. D'après Rogers, les innovations qui peuvent être essayées sont généralement adoptées plus facilement.
- **l'observabilité** (*observability*) : degré de visibilité des résultats que produit une innovation au sein d'une population donnée.

Cette théorie accorde une grande importance à la capacité d'analyse de la situation de la part des adoptants et envisage la diffusion de l'innovation comme le fruit d'une démarche rationnelle (Lyytinen, Damsgaard 2001). Cependant, des travaux postérieurs à la TDI ont montré que des considérations plus personnelles (et non rationnelles) peuvent également influencer la décision des adoptants.

3.1.2.2 Le processus de décision et d'adoption d'une innovation

D'après Rogers, le processus d'adoption d'une innovation est très lié au processus de décision qui y est associé. Ainsi, il présente le processus d'adoption et de décision que suivent les individus (ou les organisations) lorsqu'ils sont confrontés à une innovation, en cinq phases (**Figure 16**):

- 1. Connaissance** : lorsqu'un individu (ou une unité de décision) est exposé à l'existence d'une innovation et commence à en comprendre le fonctionnement
- 2. Persuasion** : un individu (ou une unité de décision) a une attitude favorable ou défavorable vis-à-vis d'une innovation
- 3. Décision** : un individu (ou une unité de décision) engage une activité qui mène à prendre une décision d'adopter ou de rejeter une innovation
- 4. Implémentation** : l'innovation est déployée par l'individu ou l'organisation
- 5. Confirmation** : un individu (ou une unité de décision) cherche à être conforté dans sa décision d'adopter l'innovation, mais il peut également revenir sur sa décision.

Le processus peut être stoppé notamment à la phase de décision, lorsque les individus ou organisations décident d'adopter ou de rejeter l'innovation. Rogers nuance la phase de décision en précisant que la décision d'adopter peut être à effet « immédiat » ou différé.

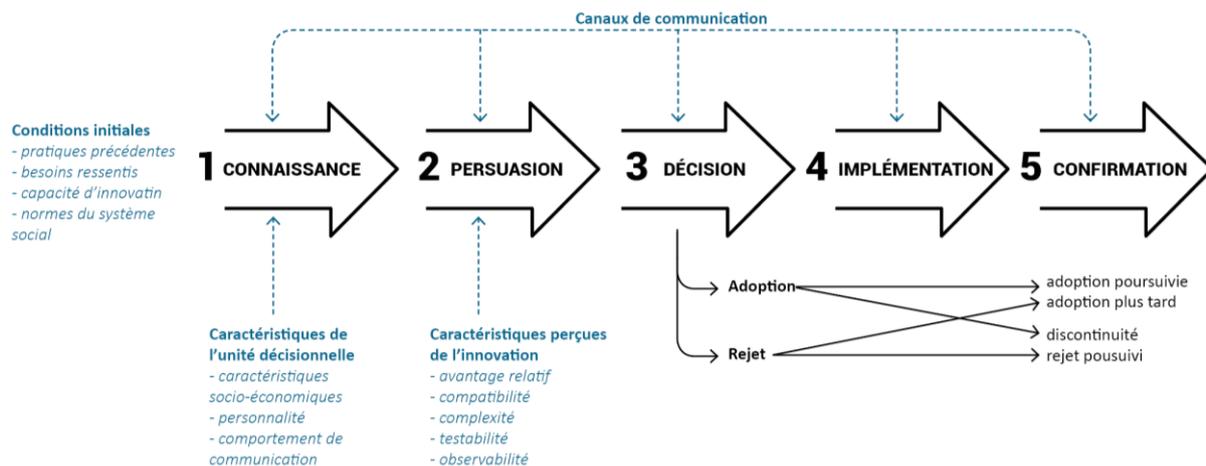


Figure 16. Modèle des étapes du processus d'innovation/décision. Traduction du modèle de (Rogers 2003)

Deux principales critiques sont adressées à cette théorie. D'une part, le processus d'adoption y est linéaire et **intègre peu les échecs de l'adoption, notamment de l'implémentation** (Mitsufuji 2001). Le modèle de Rogers est en effet très centré sur la décision d'adoption : les modèles de décision sont pertinents pour expliquer la décision, mais ne supportent pas vraiment l'« infusion » et donc l'implémentation de l'innovation dans l'organisation (Cooper, Zmud 1990). D'autre part, l'échelle de travail proposée par Rogers ne précise pas si la décision est prise au niveau de l'individu ou du pôle décisionnel de l'organisation (Larsen 2001).

3.1.2.3 Tous égaux face à l'innovation ?

Rogers a défini cinq catégories d'adoptants⁴⁷ qui adoptent une innovation plus ou moins tôt dans le processus de diffusion (**Figure 17**) : les **novateurs**, les **premiers adoptants** ou « *early adopters* » qui prennent des risques, la **première majorité** qui adopte assez tôt pour rester concurrentielle sur le marché, la **majorité tardive** qui « suit » la première majorité, et enfin les **retardataires**.

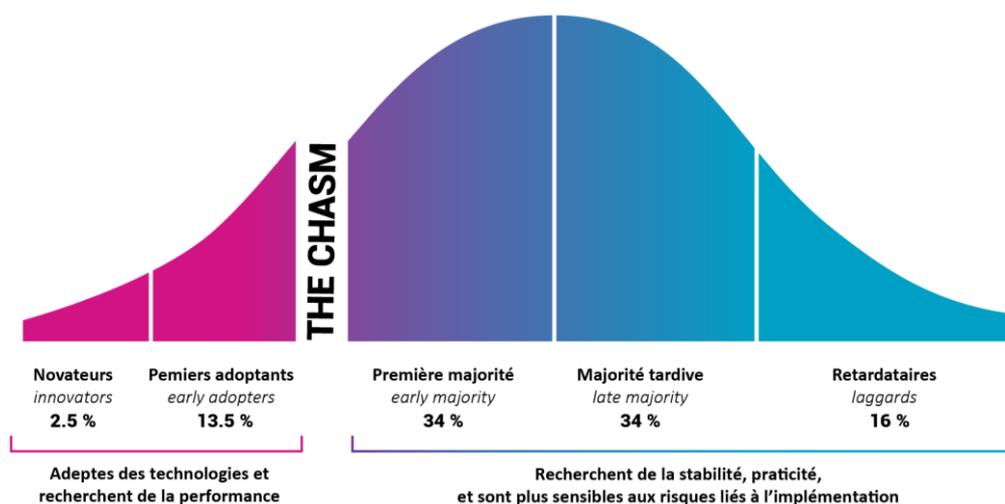


Figure 17. Catégorisation des adoptants sur la base de leur capacité à innover. Schéma réalisé à partir des travaux de (Rogers 2003; Moore 2001; Waarts, van Everdingen, van Hillegersberg 2002)

Le domaine du marketing⁴⁸ s'est approprié ce modèle de la TDI dans le but d'adapter les stratégies de vente au public visé par une innovation. Du point de vue marketing, il existe un écart (« *chasm* ») entre le comportement des premiers adoptants (**innovateurs** et **premiers adoptants**) et ceux qui font partie de la **première majorité**. Tandis que les premiers sont enthousiastes, visionnaires, et intéressés par les innovations, les seconds seront plus pragmatiques et sensibles aux pressions du marché et à l'avantage concurrentiel que leur procure l'adoption de l'innovation (Moore 2001)(voir **Figure 17**). Les motivations des adoptants à adopter une innovation évoluent donc au cours du processus de décision (Waarts, van Everdingen, van Hillegersberg 2002).

3.1.2.4 La fin du processus de diffusion d'une innovation

Pour Rogers, le processus de diffusion se termine lorsque la population est saturée avec l'innovation. Mais il existe un écart entre la population qui **peut (ou souhaite)** adopter une innovation, celle qui en **fait l'acquisition**, et celle qui **la met réellement en œuvre** (Robertson

⁴⁷ Les adoptants sont des membres d'un système social qui peuvent adopter une innovation

⁴⁸ Le marketing est un domaine qui consiste à étudier les besoins de consommateurs et leurs réactions dans le but de leur vendre un produit ou un service.

1967) (voir **Figure 18**). La « saturation » de l'innovation dans la population ne signifie généralement pas que la totalité de la population visée par l'innovation la met en œuvre.

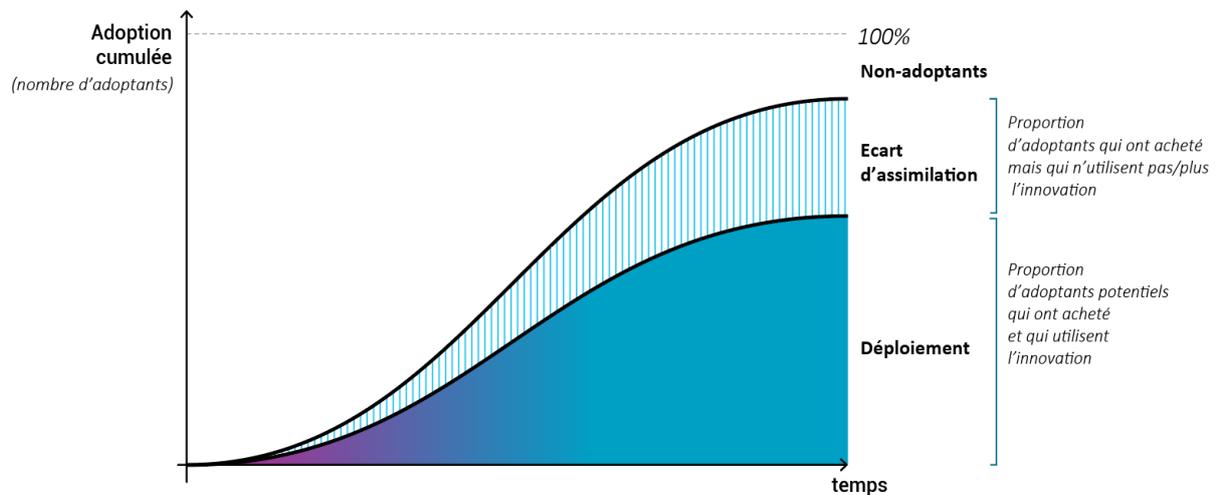


Figure 18. Écart d'assimilation d'une innovation. Schéma réalisé à partir des travaux de (Robertson 1967)

L'« **écart d'assimilation** » (qui concerne des adoptants qui ont acheté l'innovation, mais qui ne l'utilisent pas) peut correspondre à différentes situations : il arrive notamment que les organisations qui ont acquis une innovation aient des difficultés à la déployer (Fichman, Kemerer 1999).

3.1.3 La diffusion des innovations dans le secteur de la construction

Le secteur de la construction porte certaines spécificités qui impactent la manière dont les innovations s'y propagent. Sa fragmentation, son fonctionnement orienté sur le projet et les particularités de son « produit » (les ouvrages construits) freinent l'intégration des innovations.

3.1.3.1 Les spécificités du secteur de la construction face à l'intégration des innovations

Dans de nombreux secteurs, l'innovation est relative à une entreprise qui gère à la fois la conception et la fabrication de son produit. Dans le secteur de la construction, la conception, la construction et la gestion de l'ouvrage font intervenir de nombreux acteurs spécialisés dans des domaines différents : on parle alors de « **système complexe** » (Winch 1998). Le contexte de la construction est en effet caractérisé par une collaboration interorganisationnelle, une approche basée sur le projet et une distribution du pouvoir au sein de plusieurs organisations (Harty 2005). Cette **fragmentation de l'activité** a un impact sur la nature des entreprises qui composent le secteur et la manière dont les innovations y sont adoptées. En effet, le secteur est composé principalement de petites entreprises spécialisées dans des domaines différents, c'est une des raisons pour lesquelles il est **relativement stagnant en matière d'intégration technologique** (Nam, Tatum 1988).

Les caractéristiques des constructions (par rapport à des « produits » d'autres secteurs) ne favorisent pas la diffusion des innovations : les bâtiments et infrastructures sont complexes, doivent être durables, coûtent cher, et engagent en ce sens la responsabilité sociale de ceux qui le conçoivent et le construisent (Nam, Tatum 1988). Le risque associé à l'utilisation d'une innovation dans ce contexte est donc important, ce qui inhibe l'adoption d'innovations (Slaughter 2000).

Les travaux récents sur la diffusion des innovations dans le secteur de la construction insistent sur la nécessité de comprendre la connectivité sociotechnique des acteurs, des ressources et des activités pour étudier et comprendre la manière dont les innovations s'y installent (Havenvid et al. 2019). Ces caractéristiques typiques d'un « système complexe » (composé de nombreux acteurs interconnectés) ont progressivement amené les travaux de recherche à exploiter la théorie des réseaux pour étudier la manière dont les innovations se propagent dans le secteur de la construction, comme Harty (2008).

3.1.3.2 Les mécanismes d'adoption et de diffusion d'une innovation dans le secteur

De nombreux auteurs dans le domaine de l'innovation pour le secteur de la construction notent **que les architectes, ingénieurs et contractants sont d'importants vecteurs d'innovation** (Slaughter 2000; Winch 1998). (Winch 1998) par exemple les appellent des « **intégrateurs du système** » (*system integrators*). Ils sont donc, avec le législateur, les principaux acteurs moteurs dans la propagation des innovations du secteur : leur adoption est particulièrement importante pour que l'innovation puisse s'y diffuser. Les maîtres d'ouvrages, et gestionnaires de patrimoine sont généralement parmi les adoptants les plus tardifs du secteur étant donné leur position de « bout de chaîne ». Enfin, les institutions professionnelles, les fournisseurs et les clients sont les derniers à adopter les innovations et à les promouvoir (Slaughter 2000; Winch 1998).

À l'échelle des projets et des organisations, le leadership est essentiel pour qu'une innovation puisse être adoptée. La compréhension technique de la technologie est un prérequis de base pour être un leader de l'adoption de l'innovation, indépendamment de la taille de l'organisation (Nam, Tatum 1997). Le **processus d'adoption** d'une innovation dans une organisation du secteur est constitué à la fois d'une approche « top-down » (du niveau stratégique vers le niveau opérationnel) et d'une approche « bottom-up » (du niveau opérationnel vers le niveau stratégique) (Winch 1998). L'approche top-down consiste en la décision d'adopter et l'organisation de l'implémentation par une unité décisionnelle ; l'approche bottom-up correspond à un processus de résolution de problèmes et d'apprentissage qui est effectué par le niveau opérationnel au cours des projets (Winch 1998). **L'apprentissage par le projet** est un des mécanismes importants de la diffusion des innovations dans le secteur. La transformation ne se fait par ailleurs pas seulement sur les pratiques, les processus et les systèmes : elle est susceptible d'impacter également les innovations adoptées elles-mêmes (Harty 2005).

3.1.3.3 Les caractéristiques des innovations et la manière dont elles sont adoptées

Étant donné le caractère complexe du secteur, on distingue deux **types d'innovations** : celles dont les implications sont restreintes à une seule organisation (les **innovations bornées** « *bounded innovations* » (Harty 2005) ou « *firm-based* » (Teece 1986)) ; et celles qui impliquent les interactions entre les acteurs (les **innovations non bornées** « *unbounded innovations* » (Harty 2005) ou « *network-based* » (Teece 1986)).

D'autres modes de classification des innovations ont été développées notamment par (Slaughter 2000). L'auteur propose une distinction entre les innovations **modulaires** (une grande amélioration dans une région du secteur n'impactant pas le reste du secteur), **architecturales** (une petite amélioration dans un domaine nécessitant un changement dans l'ensemble du système), **incrémentales** (une petite amélioration ayant peu d'impact sur l'ensemble du secteur), **radicales** (qui rendent certaines précédentes innovations obsolètes) et **systémiques** (qui sont un ensemble ou grappes d'innovations ayant une forte capacité d'amélioration dans la pratique impactant l'ensemble du secteur).

- **L'innovation** correspond à un **processus** ou un **produit** nouveau ou amélioré qui se différencie de manière significative de ce qui existait jusque-là. Le BIM correspond en cela à la définition des innovations et a engendré d'autres innovations.
- Il existe des **modèles** qui décrivent la **manière dont les innovations se diffusent** dans un système social. D'après ces modèles les **adoptants** qui choisissent d'utiliser l'innovation au début du processus de diffusion n'ont pas les mêmes motivations que ceux qui la mettent en œuvre plus tard.
- Le **secteur de la construction** est généralement **lent à intégrer des innovations** technologiques, car il est **fragmenté** et que l'intégration d'une innovation porte un risque élevé au vu de la nature des ouvrages construits.
- Certains acteurs du secteur de la construction comme **les architectes et les ingénieurs sont des vecteurs d'innovation pour l'ensemble du secteur.**
- Les **travaux récents** sur la diffusion des innovations dans le secteur de la construction se situent à l'échelle macro (échelle du secteur tout entier) et **exploitent notamment la théorie des réseaux.**

3.2 Pourquoi les organisations changent et comment les individus acceptent les innovations

Les théories de la diffusion des innovations permettent de décrire le processus de décision que suivent les adoptants lors de l'adoption d'une innovation. Elles associent souvent la **décision** d'adopter une innovation à une **démarche plutôt rationnelle** et décrivent peu les mécanismes et pressions qui sont à l'œuvre dans le processus de décision. Dans cette partie, nous allons étudier les facteurs qui influencent l'adoption d'une innovation, notamment en déconstruisant la notion de « décision » et en évoquant les autres pressions qui influencent les choix d'adopter une innovation.

3.2.1 L'environnement comme moteur du changement : une perspective adaptative

Au cours des années 1940, on envisage de moins en moins que les organisations comme étant façonnées par un ensemble de décisions rationnelles et spontanées. Les pressions externes auxquelles sont soumises les organisations sont de plus en plus étudiées (car elles sont de plus en plus présentes dans une période de crise économique). Ainsi, les **théories institutionnelles** considèrent les organisations comme des structures sociales qui **s'adaptent** à leur environnement économique et social (Rouleau 2007).

Au cours des années 1950, **l'impact des technologies sur la structure organisationnelle** des entreprises (type de hiérarchie, nombre de niveaux hiérarchiques, etc.) grandit. Les chercheurs commencent à étudier cette structure et à la mettre en relation avec les technologies mises en œuvre dans les organisations. Les **théories de la contingence** ont ainsi mis en évidence des relations entre technologies, environnement, structure et performance dans les organisations (Woodward 1980; Burns, Stalker 1981). L'environnement externe façonne les entreprises, car elles adoptent certaines innovations technologiques pour assurer leur survie et face aux évolutions de leur environnement économique et social (Rouleau 2007).

La **théorie néo-institutionnelle** a identifié trois types de pressions que subissent les organisations (DiMaggio, Powell 1983; 2000) :

- **L'isomorphisme coercitif** (*coercitive isomorphism*) :
 - Il s'agit des pressions formelles et informelles subies par une organisation de la part d'autres organisations. Il peut s'agir de réglementations, de pressions concurrentielles, des exigences des clients, ou encore des exigences culturelles de l'environnement de l'organisation.

- **Les processus mimétiques** (*mimetic processes*) :

- Lorsque les organisations traversent des périodes d'incertitudes et que leurs objectifs sont peu clairs, elles peuvent adopter (intentionnellement ou non) les pratiques des organisations qui leur sont similaires. Les « processus mimétiques » sont une réponse à l'incertitude.
- **Les pressions normatives** (*normatives pressures*) :
 - Elles correspondent aux vecteurs de normes qui uniformisent les pratiques au sein d'une profession donnée. Il peut s'agir de la norme transmise par l'enseignement, la formation et le milieu universitaire, ou par les « bonnes pratiques » diffusées par les organisations professionnelles et réseaux de professionnels.

Les entreprises qui se situent sur un marché similaire réagissent à des pressions externes similaires et auront donc tendance à se ressembler sur le plan organisationnel. Ce phénomène de convergence est appelé « isomorphisme institutionnel ».

3.2.2 L'environnement comme facteur déterminant : une perspective déterministe

Les théories de la contingence et la théorie néo-institutionnelle se positionnent dans une perspective dans laquelle les organisations s'adaptent à leur environnement pour assurer leur pérennité (perspective adaptative). Les unités de décision des organisations sont attentives aux évolutions de leur environnement ; elles formulent et mettent en œuvre des réponses stratégiques aux opportunités et menaces issues de cet environnement (Hannan, Freeman 1977).

Mais la perspective adaptative a deux principales limites. D'une part, les capacités d'adaptation des organisations sont limitées, car les sources d'inertie organisationnelle sont nombreuses. D'autre part, toute adaptation ne peut se faire seulement à l'échelle d'une organisation. Elle se fait nécessairement à l'échelle d'un ensemble d'organisations qui trouvent un équilibre dans leur diversité à l'échelle de la population.

L'échelle de réflexion ne devrait donc pas se limiter à l'organisation, mais doit intégrer des groupes ou « populations » d'organisations (Hannan, Freeman 1977; 1984). C'est ainsi que la perspective déterministe, contrairement à la perspective adaptative, a intégré les limites des organisations à s'adapter. Cette perspective aborde l'évolution d'une organisation comme « déterminée » par celle du secteur, bien plus que par les décisions prises par son unité décisionnelle. Nous évoquons dans cette partie les principes de la perspective déterministe.

3.2.2.1 *L'inertie organisationnelle comme frein à l'adaptation*

L'inertie organisationnelle (Hannan, Freeman 1977; 1984) qui limite la capacité d'adaptation d'une organisation émane de son environnement **interne** et **externe**. Le **contexte interne** des organisations inclut :

- **Les précédents investissements de l'organisation** : équipement, ou personnel spécialisé non transférable sur d'autres tâches.
- **Les informations disponibles aux décideurs** : les unités de décisions sont limitées par les informations qu'elles ont sur leur propre organisation.
- **Les politiques internes** : tout changement perturbe l'équilibre d'une organisation.
- **L'histoire de l'organisation** : les précédentes décisions prises, technologies ou processus de travail adoptés impactent la marge de manœuvre de l'entreprise et peuvent augmenter le coût du changement.

Parmi les **éléments externes** à l'organisation qui la limitent dans sa capacité de mise en œuvre du changement, on retrouve :

- **Des limites fiscales et légales** : l'organisation ne peut entrer ou sortir d'un marché à sa guise, car elle est soumise à certaines règles.
- **La disponibilité des informations** : l'acquisition d'informations spécifiques et pertinentes pour l'organisation est coûteuse et difficile, notamment lorsque l'environnement est en évolution.
- **Les contraintes de légitimité** : une organisation qui a acquis une certaine légitimité dans un domaine aura des difficultés à en sortir ou à investir de nouveaux domaines.
- **La rationalité collective** : si elle est composée de plusieurs décideurs, l'unité de décision aura des difficultés à s'accorder sur une stratégie économique définie dans un contexte incertain.

L'inertie organisationnelle peut être suffisamment forte pour empêcher les organisations de réagir à leur environnement dans des délais qui leur permettent d'assurer leur pérennité.

3.2.2.2 *L'environnement externe qui opère une sélection naturelle sur les organisations*

D'après (Hannan, Freeman 1977; 1984), pour comprendre l'évolution des organisations, il faut travailler à au moins **cinq niveaux** : (1) l'individu, (2) les sous-unités, (3) l'organisation, (4) les populations d'organisations, (5) les communautés de populations d'organisations.

L'**écologie des populations d'organisations** propose d'étudier les dynamiques d'évolution des organisations non plus seulement à l'échelle des organisations ou de leur unité décisionnelle, mais à l'échelle des populations d'organisations et de leur équilibre. La notion de population d'organisation correspond à « un ensemble d'organisations engagées dans des activités semblables et qui utilisent leurs ressources de manière similaire » (Rouleau 2007).

Ces théories transposent la théorie de l'évolution de Darwin⁴⁹ à l'évolution des populations d'organisations. Plutôt qu'une adaptation des organisations, l'environnement opère une forme de sélection naturelle des organisations (Hannan, Freeman 1977; 1984). Ce processus de sélection a lieu à l'échelle d'une population d'organisations. Les organisations qui « survivent » dans ce processus ne sont donc pas nécessairement individuellement les plus adaptées à leur environnement, mais la **population d'organisations issue du processus de sélection naturelle** constitue une forme de « biodiversité » adaptée à son environnement à un moment donné.

Les théories de la contingence, la théorie néo-institutionnelle, ainsi que l'écologie des populations d'organisation ont été très critiquées à la fin des années 1990 pour leur vision déterministe de l'évolution des organisations (Rouleau 2007). En effet, d'après cette théorie, l'évolution d'une organisation est déterminée par son environnement : elle n'aurait donc pas (ou très peu) de capacité d'intervention sur son propre destin.

De plus, la théorie de l'écologie des populations n'étudie que la naissance et la mort des organisations. Elle occulte leur croissance et leur maturité, et ne décrit pas le processus de changement interne à l'organisation (Rouleau 2007). Depuis les années 2000, ces théories sont toujours utilisées, mais régulièrement enrichies. L'hétéromorphisme (diversité d'organisations trouvant un équilibre dans un secteur) se positionne au cœur de nombreuses recherches en théories des organisations (Rouleau 2007).

3.2.2.3 Vecteurs de changement et acceptation des technologies

Chez plusieurs auteurs, il existe une notion d'équilibre ou de stabilité de l'organisation. Les groupes sociaux sont en perpétuel changement, mais se situent la plupart du temps dans une relative stabilité (Lewin 1947). Cette stabilité est due à un équilibre entre **forces restrictives** (préservation d'un état donné, coût du changement, résistance au changement) et **forces propulsives** (environnement extérieur, volonté de survie) (Lewin 1947).

Le changement a alors lieu ou est déclenché lorsque cet équilibre est perturbé. Par exemple, un changement de vision ou de valeurs des individus qui composent l'organisation peut entraîner une inadéquation entre la structure organisationnelle et ces nouvelles valeurs (Lewin 1947; Greenwood, Hinings 1988), enclenchant ainsi un processus de changement. Un changement technologique majeur ou un changement dans la distribution du pouvoir peut également perturber l'équilibre de l'organisation et contraindre les individus à adapter leur structure et leur schéma interprétatif, c'est-à-dire leurs idées et valeurs (Greenwood, Hinings 1988). De nombreux

⁴⁹ Cette théorie se situe donc dans la branche du darwinisme social, qui consiste à appliquer les théories de l'évolution à l'étude des sociétés humaines.

auteurs ont également souligné le fait **qu'un changement technologique majeur peut contraindre les individus à adapter leurs structures organisationnelles** (Greenwood, Hinings 1988). Un changement qui n'est pas cohérent avec le système de valeur des individus est voué à l'échec (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014; Greenwood, Hinings 1988).

D'après Lewin, pour enclencher un changement dans des conditions convenables, il est préférable de réduire les forces restrictives plutôt que d'augmenter les forces propulsives. En effet, lorsque les pressions externes augmentent sans que les forces restrictives ne soient réduites, le changement est particulièrement difficile pour les individus. Pour Kotter au contraire, il faut « instaurer un sentiment d'urgence » (Kotter 2015). Sans cette pression, il sera impossible de produire la coopération nécessaire à la mise en place du changement qui demande par ailleurs beaucoup de sacrifices et d'esprit d'initiative.

La **psychologie sociale** a permis d'étudier **les facteurs déterminants dans le choix d'adopter une innovation technologique** en adoptant notamment l'angle psychologique (individus) et social (groupes).

La **théorie de l'action raisonnée** (TRA – *Theory of Reasoned Action*) (Fishbein 1979) (Fishbein, Ajzen 2011) a établi que le comportement des individus est basé sur **l'intention d'agir**, les **croyances par rapport aux conséquences de l'adoption d'un comportement**, et la **norme subjective**, c'est-à-dire ce que l'individu pense que l'on attend de lui (Deutsch, Gerard 1955). La **perception de la facilité de mise en place et d'utilisation** d'une technologie donnée impacte également l'intention de la mettre en place (TPB - *Theory of Planned Behaviour*, (Ajzen 1991; Madden, Ellen, Ajzen 1992)).

La **TAM** (*Technology Adoption Model*) est une des théories les plus répandues concernant l'adoption des technologies. Elle fait suite à la TRA et TPB en explicitant les facteurs qui incitent les individus à accepter une technologie de l'information (Davis 1989). D'après cette théorie, **l'utilité perçue** (*perceived usefulness*) ainsi que la **facilité d'utilisation** (*ease of use*) sont des facteurs déterminants dans la décision d'adopter une technologie. Ces notions sont positionnées par rapport à une vision qu'un utilisateur a *a priori* d'une innovation. Mais la perception que les utilisateurs ont *a priori* d'une technologie (croyances, attitudes et intentions) ne suffit pas à expliquer leur comportement vis-à-vis de celle-ci : leur retour d'expérience (*a posteriori*) pendant la mise en place de celle-ci est également un facteur d'adoption déterminant (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992).

Plus récemment, des théories unificatrices et synthétiques se sont développées. C'est le cas du modèle unifié d'acceptation et d'utilisation des technologies (*Unified Theory of Acceptance and Use*

of Technology - UTAUT) (Venkatesh, Thong, Xu 2012) et du modèle d'acceptation de la technologie n°3 (Technology acceptance model 3 - TAM3) (Venkatesh, Bala 2008) (voir **Figure 19**).

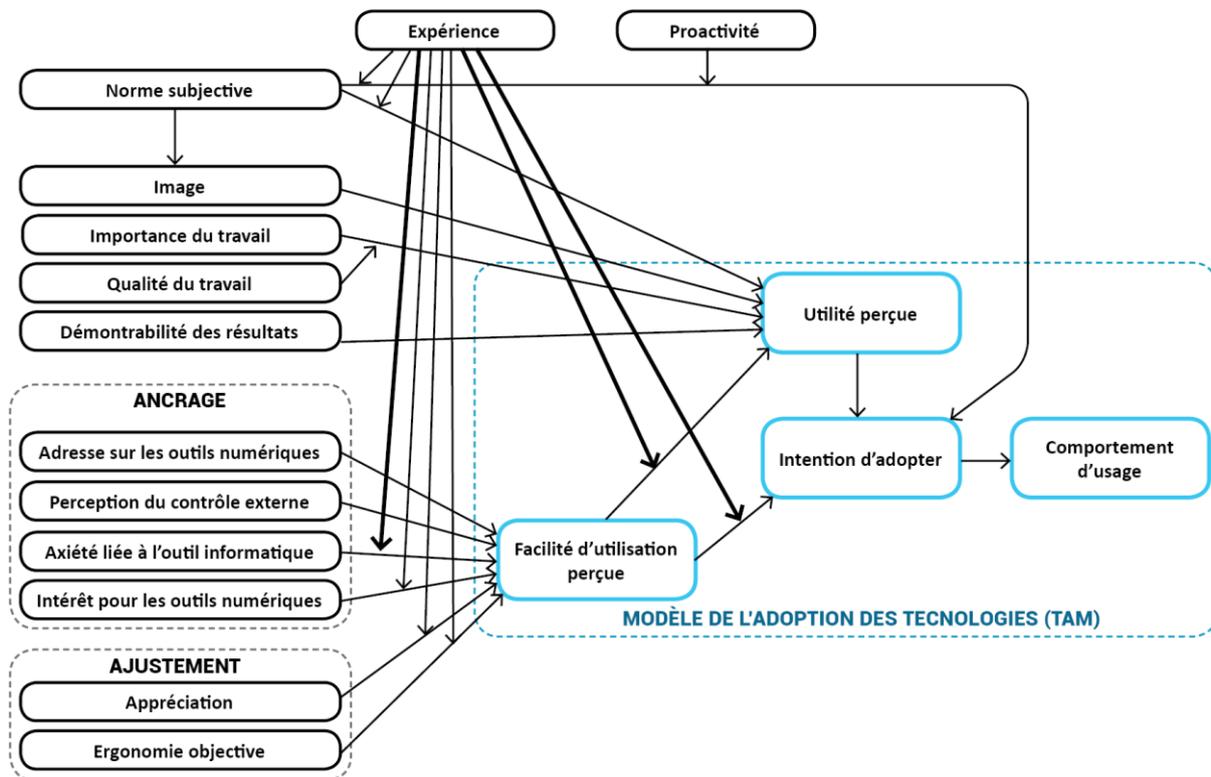


Figure 19. Modèle d'acceptation des technologies n°3 (TAM3). Schéma traduit à partir de (Venkatesh, Bala 2008).

Note de lecture : les lignes épaisses correspondent aux relations ajoutées dans la version n°3 de la TAM.

La facilité d'utilisation et l'utilité perçue de la technologie dépend de différents facteurs relatifs à l'environnement de la personne (son poste, la norme subjective), mais également de sa perception des outils informatiques, eux-mêmes influencés par l'expérience de la personne et sa motivation (Venkatesh, Bala 2008) (voir **Figure 19**). C'est le cas également du « modèle de l'utilisateur fainéant » (*Lazy User Model – LUM*)(Collan, Tétard 2011).

- ➔ **L'environnement** d'une organisation est un moteur important de sa décision à opérer un changement. Il ne détermine pas totalement son évolution, car elle garde une capacité d'action qui lui est propre.
- ➔ Les **modèles et théories d'acceptation des technologies** apportent des clés de compréhension des mécanismes à l'œuvre lorsque les individus sont confrontés à des technologies nouvelles. La perception de leur utilité, tout comme l'évolution du contexte et la peur de la mise en danger de l'organisation si la technologie n'est pas adoptée, peut pousser l'unité décisionnelle d'une organisation à décider de mettre en œuvre une technologie dans son organisation.

3.3 Gestion et conduite du changement dans les organisations

Les études de la diffusion des innovations et les théories organisationnelles proposent des approches globales du changement à **une échelle interorganisationnelle ou organisationnelle**. Elles ont créé un pont théorique entre **le niveau (inter-) organisationnel** et **le niveau individuel**. Les perspectives comportementalistes de l'adoption des technologies ont permis de mieux décrire les raisons qui expliquent le rejet ou l'acceptation des technologies. Cependant, ces différentes théories et perspectives **abordent très peu le déroulement et la mise en œuvre du changement au sein des organisations et à l'échelle des individus**.

Trois approches différentes ont été suivies pour aborder le changement dans les organisations : une littérature très **généraliste** sur l'intérêt du changement (pourquoi changer ?), une approche **théorique** qui décrit les mécanismes de changement, et une littérature **pragmatique** qui propose des outils pratiques pour conduire le changement (comment changer ?) (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Ces trois approches sont complémentaires.

Dans cette partie, nous exploitons particulièrement les approches théorie et pragmatique (les approches généralistes sur les raisons du changement ont été évoquées précédemment). Nous décrirons d'abord la notion de changement et son déroulement, et identifions ensuite les leviers de conduite du changement.

3.3.1 Le changement à l'échelle de l'organisation : une notion complexe et multifacettes

La notion de changement est à la fois intuitive et relativement difficile à conceptualiser. En sciences du management, en sociologie ainsi qu'en anthropologie, de nombreux travaux ont permis de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent ce concept en apparence très complexe. Dans cette partie, nous explorons différentes manières contradictoires et complémentaires de définir le changement.

3.3.1.1 *Entre changement radical et changement continu*

Certains auteurs du volet théorique de la littérature sur le changement évoquent le **passage d'un état A à un état B** (Lewin 1947). Ce changement est perçu comme une forme de « destruction créatrice », au cours de laquelle l'ancien doit être détruit pour que le nouveau puisse être créé (Alter 2015a). Cette conception du changement est basée sur la comparaison entre deux états (ou archétypes) stables, dans lesquels la structure organisationnelle est alignée avec les objectifs stratégiques (Greenwood, Hinings 1988). Ce type de changement est généralement appelé « **changement radical** ». Il est assimilé à un changement rapide dont l'étendue au sein de l'organisation est importante. Le déclenchement du passage de l'état A à l'état B a alors lieu lorsqu'un élément extérieur vient perturber la situation d'équilibre de l'organisation. Pendant

cette phase, les précédents comportements, normes et routines sont déconstruits et les individus remettent en question les éléments qui garantissaient auparavant la stabilité de l'organisation (*Unfreeze*). S'en suit une **phase** d'essais-erreurs qui permettent aux individus de tester et trouver un nouvel équilibre. Une fois que la phase de recherche a abouti, une **phase de consolidation** (*Refreeze*) vient conforter le nouvel équilibre trouvé (Lewin 1947; Burnes 2004).

La posture conceptuelle opposée consiste à considérer que toute organisation est en changement permanent et que le changement n'est pas un moment particulier de la vie de l'organisation, mais fait partie de sa vie : elle est en **changement continu**. Plus modeste, moins étendu, mais également moins rapide, ce type de changement porte plusieurs noms dans la littérature scientifique. Il est tantôt qualifié de **changement ordinaire** (Alter 2015b), **d'évolution** (Miller 1982), de **changement continu** ou de changement **incrémental** (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

L'opposition entre changement continu et changement radical est courante, mais ces deux notions sont en réalité complémentaires à l'échelle de la vie d'une organisation. En effet, elles **traversent des phases de changement radical** au cours desquelles elles construisent ou déconstruisent leur structure en profondeur, et **de changement continu** (ou d'amélioration continue) qui leur permettent de conforter leur fonctionnement. Cette opposition de concepts trouve différentes dénominations dans la littérature : **réorientation** et **convergence** (Tushman, Romanelli 1985), **révolution** et **évolution** (Miller 1982) ou encore **construction** et **reproduction** (Hargrave, Van de Ven 2006). Les phases de convergence correspondent à des changements de faible ampleur qui peuvent impliquer une évolution des systèmes de contrôle, de structure et de distribution du pouvoir. Les phases de réorientation voire de recréation impliquent, en plus, une modification dans la stratégie d'activités, voire un changement de valeurs et de croyances des individus (Tushman, Romanelli 1985; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

3.3.1.2 *L'origine du changement*

Tout changement ne fait pas nécessairement l'objet d'une planification stratégique ou d'une intervention de la direction de l'organisation. Ils sont parfois plus spontanés et émanent de problématiques très opérationnelles. Mais lorsque le changement est profond et nécessite l'acquisition par exemple de matériel, l'intervention de la direction est incontournable. Ainsi, différents concepts permettent de qualifier l'origine d'un changement.

Certaines stratégies émanent de la direction pour se diffuser au niveau opérationnel, il s'agit des **approches descendantes (top-down)**. D'autres sont au contraire ancrées au niveau opérationnel et sont proposées spontanément par les membres de l'organisation, on parle alors d'**approche montante (bottom-up)** (Lupton 1991; Smeds, Haho, Alvesalo 2003).

Dans certains cas, lorsqu'on souhaite centrer le propos non plus sur les unités de l'organisation mais sur la démarche qui a fait émerger le projet de changement, on parle d'approche **déductive** ou **inductive** (Mintzberg, Westley 1992). Les changements déductifs sont ancrés dans la réflexion et dans la modification de la culture organisationnelle pour se répercuter progressivement au niveau opérationnel, tandis que les changements inductifs prennent racine au niveau opérationnel sur des problématiques concrètes pour être intégrés dans les infrastructures puis la culture de l'entreprise.

Malgré leur intérêt, les concepts d'approche montante/descendante et inductive/déductive restent théoriques. En pratique, même dans le cadre des approches montantes, l'intervention de la direction est généralement nécessaire. Et dans le cadre des approches descendantes ou inductives, l'implication du niveau opérationnel est primordiale. Les approches du changement sont donc très variées et combinent de différentes manières les concepts évoqués (Mintzberg, Westley 1992).

Plusieurs approches pour conduire le changement dans une organisation sont observées. La direction peut concevoir le changement puis **l'imposer**, ou au contraire **proposer** un changement en impliquant fortement les membres de l'organisation dans le processus de constitution du changement. On parle alors de changement **imposé** et **prescrit** ou de changement **proposé** et **(co-)construit** (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014; Hargrave, Van de Ven 2006).

3.3.1.3 *Le déroulement du changement : un apprentissage à l'échelle de l'organisation*

Qu'il soit radical ou continu, qu'il émane de la direction ou du niveau opérationnel, le changement organisationnel fait appel à des mécanismes difficiles à identifier et à décrire.

Bien qu'il décrive les différentes phases que connaissent les adoptants lorsqu'ils sont confrontés à une innovation, le modèle d'adoption-décision proposé par Rogers ne décrit pas le changement opéré dans l'organisation ainsi que l'appropriation de l'innovation (Cooper, Zmud 1990). Certains auteurs ont proposé un modèle qui comble ces lacunes. Ils détaillent les étapes du changement : **l'initiation**, **l'adoption**, **l'adaptation**, **l'acceptation**, la **routinisation** et **l'infusion** (Cooper, Zmud 1990).

Le **changement organisationnel** a été souvent associé à la notion d'**apprentissage organisationnel** et donc de **connaissances organisationnelles**. L'apprentissage organisationnel est ce qui permet aux organisations de modifier leurs réponses à leur environnement. Il correspond à l'évolution de la capacité collective des membres d'une organisation à adopter des stratégies d'action nouvelles (Argyris, Schön 1978). L'apprentissage individuel est nécessaire pour enclencher un apprentissage organisationnel, mais il n'est pas suffisant. Pour que l'apprentissage se produise au niveau organisationnel, « il faut que les

découvertes, inventions et évaluations des membres entrent dans la mémoire de l'organisation » (Argyris, Schön 1978). L'apprentissage doit ainsi permettre de modifier durablement les réactions de l'organisation.

L'apprentissage organisationnel peut se manifester de différentes manières: sur la forme **d'exploration** de nouvelles solutions, ou sur **l'exploitation** et l'amélioration de solutions existantes (March 1991). Ces concepts recourent ceux évoqués précédemment : le changement radical ou continu.

La notion de **boucles d'apprentissage** permet de décrire le processus d'apprentissage et de caractériser sa profondeur dans l'organisation (Argyris, Schön 1978) (voir **Figure 20**).

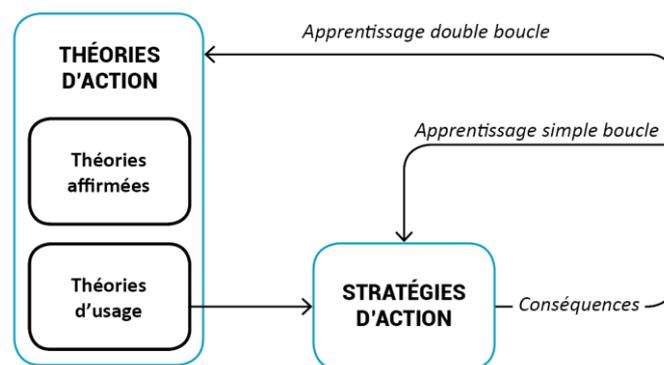


Figure 20. Apprentissage en double et simple boucle. Source : (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014) d'après (Argyris, Schön 1978)

L'apprentissage en « simple boucle » correspond à la réaction des membres d'une organisation à des contextes internes ou externes variant. Ils mettent en œuvre des essais-erreur pour faire évoluer leur **stratégie d'action** et ainsi maintenir une stabilité dans la production de l'organisation. L'individu se base alors sur **les théories d'action de l'organisation** (croyances, attitudes, valeurs, culture, normes) pour adapter ses stratégies d'action. L'apprentissage en « double boucle » est plus profond et implique une révision des théories d'action de l'organisation lorsque celles-ci ne permettent plus de produire des **stratégies d'action** adaptées à un contexte donné. Mais ce type de changement est particulièrement difficile à mettre en œuvre par les organisations et une tentative peut échouer (Nonaka 1994).

La notion **d'apprentissage** fait intervenir également celle de **connaissance** organisationnelle. On différencie généralement **connaissance tacite** et **explicite** (Nonaka 1994). La connaissance explicite peut être exprimée et représentée, tandis que la connaissance tacite est ancrée dans l'action, l'engagement et l'implication dans un contexte spécifique. La connaissance tacite n'est généralement pas explicitée par les membres de l'organisation : elle peut même être particulièrement difficile à expliciter. C'est le cas par exemple lorsque les acteurs ont beaucoup

d'expérience et ont développé une forme d'intuition dans la réalisation de certaines tâches complexes.

L'apprentissage organisationnel implique un passage et une conversion de connaissance entre les individus de l'organisation par différents mécanismes. On parle alors de mécanisme de **socialisation** (passage de connaissance tacite à connaissance tacite), de **combinaison** (de connaissance explicite à connaissance explicite), **d'externalisation** (de connaissance implicite à connaissance tacite) et **d'internalisation** (de connaissance explicite à connaissance tacite) (Nonaka 1994).

3.3.2 Conduire le changement : leviers, risques, et conséquences

L'évolution des contextes économiques à l'origine de la concurrence entre les entreprises a fait évoluer la manière dont on perçoit, planifie ou accompagne le changement organisationnel. Des leviers et stratégies d'action ont été développés pour conduire le changement, et les raisons des échecs dans la mise en œuvre du changement ont été étudiées.

3.3.2.1 Freins et échecs du changement

Les blocages au changement sont nombreux. Ils peuvent être dus à des facteurs très variés et intervenir à différents moments dans le processus de changement. Les **théories organisationnelles** abordent les raisons qui poussent **la décision d'engager un changement**. La littérature sur **la conduite du changement** s'est quant à elle focalisée sur **les facteurs qui favorisent le succès ou l'échec de la mise en œuvre du changement**. Ces deux littératures n'abordent pas les mêmes étapes du changement, mais sont tout à fait complémentaires.

Les théories de l'écologie des populations d'organisations évoquent plusieurs formes d'**inerties organisationnelles**⁵⁰ qui empêchent les organisations d'engager un changement, même lorsque les pressions externes sont fortes (Hannan, Freeman 1977). Mais ces inerties peuvent également perturber un changement alors qu'il est déjà engagé.

La théorie de l'écologie des populations d'organisations (Hannan, Freeman 1984) a permis de différencier plusieurs situations d'échec du changement ou de mort des organisations (voir **Figure 21**).

⁵⁰ Forces qui empêchent une organisation d'évoluer

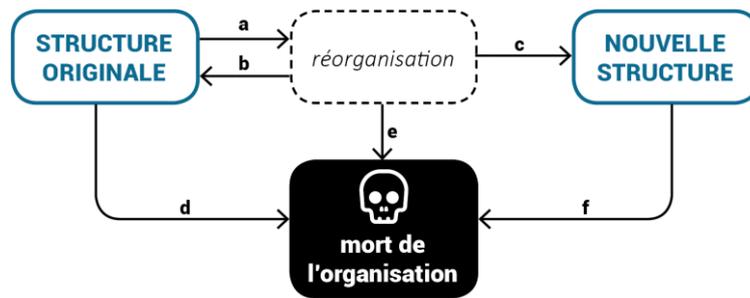


Figure 21. Schéma représentant les états associés au processus de changement fondamental dans une structure organisationnelle.
Adapté de (Hannan, Freeman 1984)

Il s'agit alors de se positionner à l'échelle de la vie d'une organisation et non plus seulement de l'adoption d'une innovation. Tout d'abord, dans la perspective évolutionniste, une organisation qui n'aurait pas su s'adapter suffisamment rapidement dans un environnement changeant et très concurrentiel pourrait « mourir » (d, sur la **Figure 21**). Si l'organisation se lance dans un changement important et radical (a), celui-ci peut échouer et amener l'organisation à revenir à ses précédentes pratiques (b). Le changement peut également être trop difficile à supporter pour l'organisation, et être à l'origine de la mort de l'organisation (e). Il est également possible que le changement fonctionne (c) et donne lieu à une structure pérenne, ou que la nouvelle structure ne soit pas non plus adaptée à son environnement ou ne soit pas capable d'absorber le changement et meure.

Parmi les inerties qui empêchent la mise en œuvre du changement, on retrouve les **précédents choix réalisés dans l'organisation**, comme des choix technologiques ou stratégiques qui ont progressivement réduit le champ de possibles. Cela s'appelle la « dépendance au sentier » ou (« *path dependance* ») (Arthur 1989; Liebowitz, Margolis 1995; Burgelman 2002). Le poids de l'habitude et la difficulté de perturber les routines, le coût de changement, la spécialisation dans une certaine discipline, l'emploi de personnel, mais également de simples aléas peuvent impacter durablement la manière dont les organisations appréhendent et mettent en œuvre leur propre évolution. Lorsque cette dépendance au sentier va jusqu'à inhiber complètement la possibilité de changement, on parle de phénomène de « lock-In » (Arthur 1989; Liebowitz, Margolis 1995; Burgelman 2002), qui concerne donc plutôt le blocage de la décision de changer et non la mise en œuvre du changement.

Lorsque le processus de changement est initié, l'organisation s'éloigne progressivement de son état initial et la cohérence entre ses valeurs et son fonctionnement peut faire défaut. Les membres de l'organisation ont alors des expériences désagréables et peuvent promouvoir un retour à la stabilité passée pour préserver leur confort (Greenwood, Hinings 1988). Ce phénomène est généralement appelé « **résistance au changement** », et correspond aux formes que peut prendre

le rejet d'un changement par les membres de l'organisation. Celui-ci peut tout à fait mener à l'échec de la mise en œuvre du changement.

Déclencher un changement profond est difficile parce qu'il amène l'organisation dans une phase d'incertitude (exploration), tandis qu'elle aura tendance à privilégier la stabilité (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Pendant la mise en œuvre du changement, la résistance au changement peut se manifester de différentes manières comme des craintes de la part des employés, une faible efficacité, une forme d'hostilité ou au contraire un détachement des individus par rapport à leur travail (qui peut être source de *turnover* dans l'organisation). La « résistance au changement » est donc souvent décrite comme la « bête noire de ceux qui véhiculent des idées de changement » (Bareil, Savoie 1999).

Mais les réactions qui inhibent le changement ne sont pas nécessairement violentes ou explicites. Elles peuvent même être inconscientes et émaner des individus pour se diffuser à l'échelle de l'organisation. Ces **routines défensives** sont constituées d'un ensemble d'actions, de pratiques et de règles qui ont vocation à éviter aux individus d'être menacés ou embarrassés (Argyris 1994). Par exemple, lorsqu'un dysfonctionnement est observé par un membre de l'organisation, celui-ci pourra ne pas le reporter à sa hiérarchie pour éviter une confrontation désagréable. Cette maximisation de confort à l'échelle individuelle empêche l'organisation d'évoluer. Le blocage peut aussi émaner de la direction, car enclencher un changement signifie pour elle de réformer ce qu'elle a elle-même mis en place auparavant.

Les conditions de réussite ou d'échec d'un projet de changement sont donc liées à la stabilité de l'organisation et sa position par rapport au changement, l'engagement des membres de l'organisation dans le changement (et notamment avant le changement), et les caractéristiques des membres qui conduisent le changement (Franklin 1976). De plus, lorsque le changement est engagé, les organisations sont soumises à différentes formes d' « aveuglement » qui ont tendance à favoriser des changements de petite ampleur. Ces « **myopies** » peuvent être **temporelles** (privilégier les effets visibles sur le court-terme), **spatiales** (privilégier les effets visibles à proximité immédiate), ou viser à **minimiser les échecs** (et valoriser les expériences couronnées de succès) (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

3.3.2.2 *Le processus de changement chez les individus*

Traditionnellement, l'étude des facteurs humains dans le changement organisationnel intègre la « résistance au changement » comme principal objet d'étude. Les études qui adoptent cet angle consistent à comprendre pourquoi les individus résistent au changement et d'identifier des leviers pour réduire cette résistance (Coch, French Jr 1948). Mais ces approches concluent généralement à une forme d'impuissance face à ce phénomène, et portent une vision très négative de la réaction

des individus face au changement (Bareil, Savoie 1999). Certains auteurs ont adopté une perspective subjective (adopter le point de vue des individus) pour décrire le processus du changement, et les **émotions perçues** par les individus confrontés au changement (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Les différentes phases émotionnelles que vivent les individus pendant un important changement sont parfois assimilées aux étapes du deuil (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

Dans un premier temps, les individus recevant le projet de changement connaissent une phase de (1) **choc**. Celle-ci est caractérisée par une forme de déni et de paralysie. Ils entrent ensuite dans une phase de (2) **résistance**, qui vise à protéger leurs acquis : cette phase est difficile à vivre, suscite peur, anxiétés, et différentes formes de souffrances. Le passage à (3) **l'exploration** du changement est alors difficile. Celle-ci consiste à déconstruire et rejeter des anciennes routines. Pour les membres de l'organisation, cela est source de confusion, de soulagement ou de résignation. Enfin, si le processus suit son cours, les individus entrent dans une phase (4) **d'implication**, qui consiste à construire une nouvelle réalité. La situation émotionnelle des individus s'améliore alors (Bareil, Savoie 1999).

Bareil, Savoie (1999) sont partis de l'observation des phases de préoccupation des individus lors d'un changement pour élaborer une stratégie de mise en œuvre du changement à destination des directions. Ces phases ont été décrites en sept points (Bareil, Savoie 1999):

- **Aucune préoccupation** : les faits peuvent être présentés aux équipes et la discussion autour du changement est encouragée
- **Préoccupations personnelles** : les membres de l'organisation s'inquiètent de leur position dans l'organisation. La direction peut encourager l'expression des préoccupations personnelles et tenir les destinataires informés des implications du changement sur leur poste.
- **Préoccupations centrées sur l'organisation** : Les impacts du changement et les objectifs à atteindre doivent être clarifiés par la direction.
- **Préoccupations centrées sur le changement** : le changement commence à prendre forme et la direction doit expliquer en quoi consiste le changement.
- **Préoccupations centrées sur le soutien disponible** : Les membres de l'organisation peuvent douter de leur propre capacité à mettre en œuvre le changement, il est nécessaire de les rassurer.
- **Préoccupations centrées sur la collaboration** : les membres de l'organisation se tournent vers leurs collègues pour assurer la mise en œuvre du changement, il faut alors créer des moments d'échanges pour organiser le changement.
- **Préoccupations centrées sur l'amélioration continue** : le changement est mis en œuvre et la direction peut encourager les nouvelles propositions des membres de l'organisation pour pouvoir ancrer le changement

3.3.2.3 *Stratégies et leviers d'action pour conduire le changement*

Au cours des années 1980-90, les technologies de l'information et de la communication se sont développées. Leur implémentation dans les grandes entreprises a fait apparaître une nouvelle

mise en œuvre du changement : la « gestion de la transformation globale ». Celle-ci consiste à inscrire un projet de changement global et radical de manière pérenne au sein de l'organisation. Il ne s'agissait donc plus seulement d'accompagner un changement radical sur une courte période, mais aussi d'assurer la pérennité du changement en enclenchant le processus d'amélioration continue (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). C'est par ailleurs à cette même période qu'est validée la première version d'une norme dont l'objet est de décrire les exigences pour la mise en place de management de la qualité : la norme ISO 9001 (ISO 1987). Celle-ci définit des outils managériaux qui permettent d'assurer l'amélioration continue dans les entreprises qui souhaitent assurer la qualité de leurs produits.

Les **approches pragmatiques** de la gestion du changement ont permis d'identifier des outils, stratégies et leviers d'action qui permettent d'améliorer la manière dont le changement peut être organisé et accompagné.

Les stratégies et leviers d'action pour conduire le changement sont légion. Ils dépendent du changement à mettre en œuvre et de l'état initial de l'organisation. Ces stratégies se positionnent parfois dans une perspective de changement imposé ou proposé. Mais, quelle que soit l'approche adoptée, les membres de l'organisation ne sont jamais passifs, et sans leur implication et appropriation du changement, celui-ci ne peut avoir lieu (Bernoux 2015).

Plusieurs auteurs ont développé des méthodes pour la mise en œuvre d'un changement imposé par la direction. (Allaire, Firsirotu 1988) propose un modèle en quatre étapes. **L'étape préliminaire** correspond à l'élaboration de la part de la direction d'un plan d'action tacite et encore flou qui guidera le changement et se précisera ensuite. La **première étape** de cette conduite de changement consiste à réaliser un diagnostic intransigeant et impartial de l'organisation. La **seconde étape** consiste à utiliser ce diagnostic pour évaluer la structure à différents niveaux : culture organisationnelle, valeurs et croyances, comportements, collaboration, infrastructures, etc. **La troisième étape** permet de définir la structure souhaitée qui répond aux nouveaux objectifs (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). La démarche qui consiste à réaliser un diagnostic pour planifier le changement est aujourd'hui encore tout à fait courante. On la retrouve par ailleurs dans la norme ISO 9001 qui définit également des phases de diagnostic, de retranscription des processus existants de l'entreprise ainsi que leur évaluation pour la formalisation de processus cibles (ISO 1987).

Un changement imposé peut être mis en œuvre de différentes manières. Il peut notamment s'appuyer sur le **contexte d'influence pour le changement** (individuel ou en groupe), le **mode de communication adopté** (réunions, confrontations en face à face ou mails d'information), la **source d'influence du management** (mesures disciplinaires, contrôle des ressources, légitimité

pour initier le changement, etc.), le **niveau de connaissance du changement au niveau de l'organisation** (clair, partagé, flou, etc.) et le **niveau de transparence dans l'action managériale** (transparent, opaque) (Poole, Gioia, Gray 1989). Ces leviers suscitent des réponses émotionnelles différentes de la part des membres de l'organisation en fonction de la manière dont ils sont combinés (Poole, Gioia, Gray 1989). D'après ces mêmes auteurs, le mode le plus efficace pour mettre en œuvre un changement radical planifié intègre des mesures coercitives. Il combine une communication transparente sur les objectifs de changement de la part de la direction, des pressions directes et individuelles sur les membres de l'organisation et la mise en œuvre de mesures disciplinaires (récompenses et sanctions). Dans leur étude, les schémas plus collectifs et moins coercitifs ont produit de moins bons résultats pour la mise en œuvre rapide de changements radicaux et profonds (Poole, Gioia, Gray 1989).

Mais la planification stratégique et le changement imposé de cette manière ont de nombreuses limites. Ce modèle, qui ne laisse que très peu d'autonomie aux membres de l'organisation, a montré une faible efficacité dans des environnements turbulents : la capacité des acteurs de l'organisation à développer des stratégies permet d'assurer la stabilité de l'organisation sur le long terme (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). De plus, la planification stratégique est en proie à différentes erreurs de la part du top-management : **l'erreur de prédétermination** (prédiction erronée du futur), **l'erreur de formalisation** (vision erronée de l'organisation), et **l'erreur de détachement opérationnel** (prise en compte limitée de l'action et des contraintes opérationnelles) (Mintzberg, Waters 1985).

Ces erreurs conduisent à un décalage entre la **stratégie prévue** et la **stratégie réalisée**, car le projet de changement mis en œuvre subira généralement des aléas (voir **Figure 22**). Il faut alors distinguer les **stratégies délibérées** (planification stratégique) des **stratégies émergentes** qui, comme leur nom l'indique, émergent lorsque l'organisation avance dans le changement (Mintzberg, Waters 1985).

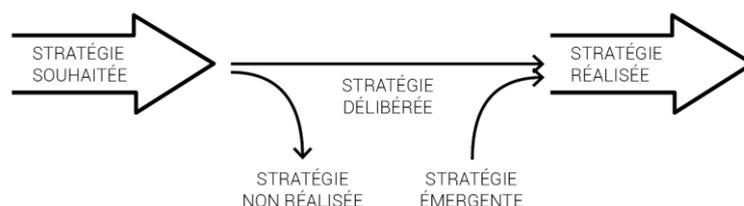


Figure 22. Types de stratégies. Traduit de (Mintzberg, Waters 1985)

Dans la perspective d'un changement proposé, la stratégie de la direction consistera à « activer » les membres de l'organisation en leur laissant une grande marge de manœuvre pour conduire le changement et lui donner forme. Elle les encourage à rompre le statu quo et les laisse

expérimenter leur laissant ainsi la possibilité de s'approprier le changement et d'en devenir acteur. Cette phase peut être relativement longue et chaotique. La phase d'institutionnalisation commence ensuite : le top-management opère des arbitrages (choix des éléments à généraliser dans l'organisation) pour assurer le retour à l'ordre et stabiliser la situation (Alter 2015b; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014). Ce modèle se rapproche du modèle « Activation, Sélection, Rétention » (ASR) (Weick 2015) qui consiste à activer l'environnement, sélectionner les comportements ou processus à conserver, puis retenir les nouvelles expériences.

Plusieurs leviers sont à la portée des directions qui engagent leur organisation dans un changement proposé. Elles peuvent **fédérer les acteurs, articuler et partager une vision, définir les orientations du changement** et identifier **les personnes en charge, assurer la communication** et la **formation, analyser ses systèmes, mesurer et vérifier les résultats, et assurer des signaux et récompenses** (Kanter, Stein, Jick 1992).

Parmi les **approches pragmatiques**, celle de Kotter (Kotter 1995) est l'une de celles qui ont trouvé le plus grand écho au sein des entreprises. Celui-ci s'est intéressé au rôle du manager qui est un relai du changement. La feuille de route qu'il propose compte huit étapes, organisées en quatre grandes phases (Kotter 2015) :

- **Préparer le changement**
 - Établir un sens de l'urgence pour susciter le besoin du changement
 - Créer un groupe relai du changement
- **Engager le changement**
 - Développer une vision globale du changement qui clarifie la direction du changement
 - Communiquer la vision du changement pour impliquer les membres de l'organisation
- **Réaliser le changement**
 - Identifier et traiter les obstacles à la nouvelle vision en impliquant les membres
 - Planifier pour avoir des résultats rapides
- **Ancrer le changement**
 - Continuer les efforts, compléter les compétences et mettre en place des récompenses
 - Ancrer le changement dans la culture de l'organisation

L'auteur détaille également **huit erreurs courantes qui inhibent le changement** : s'autoriser trop d'autosatisfaction ; ne pas parvenir à créer une coalition directrice suffisamment puissante ; sous-estimer la puissance de la vision ; communiquer trop peu la vision ; laisser des obstacles

bloquer la nouvelle vision ; ne pas parvenir à susciter des victoires rapides ; crier victoire trop tôt ; et négliger d'ancrer les changements dans la culture de l'entreprise (Kotter 2015).

3.3.2.4 Les théories critiques et la critique de l'aliénation liée à la rationalisation

À partir des années 1990, donc au même moment que le développement de la gestion du changement initiée par l'implémentation des technologies de l'information et de la communication, la **critique de la rationalisation du travail** et des organisations s'est intensifiée. Elle ne concernait alors plus seulement les ouvriers, mais également les employés du bureau. La connaissance scientifique et technique a été appliquée à tous les domaines d'activité pour augmenter la performance et la rentabilité (Rouleau 2007).

D'après les auteurs des théories critiques, les conditions de travail dans les entreprises sont aliénantes et engendrent des souffrances et frustrations chez les individus. La subjectivité et le ressenti des individus sont au cœur de leur objet, tout comme la critique de la rationalité technologique (Rouleau 2007). Les théories critiques ont promu des réflexions sur les pratiques d'oppression et d'exclusion des individus dans les organisations. Elles ont **indiqué les individus doivent avoir une certaine autonomie et responsabilité** pour s'épanouir dans une organisation. **Ils doivent avoir la capacité à porter des jugements sur des valeurs**, et des idées, et ce quelle que soit leur niveau de richesse, de pouvoir et de statut (Alvesson, Willmott 2012).

- Dans la littérature théorique sur le changement, celui-ci est généralement décrit par sa **radicalité** (changement radical ou changement continu), son **origine** (niveau opérationnel ou niveau stratégique), et la **manière dont il est mis en œuvre** (imposé, proposé, etc.).
- Les changements peuvent **échouer**, ou **déstabiliser une organisation**. Un changement radical est une étape particulièrement délicate de la vie d'une organisation.
- Le changement qui a lieu à l'échelle organisationnelle nécessite **l'implication des membres** de l'organisation, qui auront des émotions variées au cours du processus de changement. Le changement est même décrit comme un **processus de deuil** pour les individus, qui déconstruisent les précédentes pratiques pour être en mesure de s'impliquer dans le changement.
- Les **stratégies et leviers** d'action pour organiser et conduire le changement sont légion. Ils sont généralement organisés en quatre phases : étudier l'organisation, préparer le changement, réaliser le changement, et ancrer le changement dans le long temps.

3.4 Conclusion du chapitre

Il existe **différents types d'innovations**, qui se diffusent généralement en grappes. C'est le cas du BIM, qui découle de différentes innovations technologiques et organisationnelles. Le BIM a également contribué à développer de nouveaux marchés (innovation de marché), de nouvelles technologies et de nouveaux procédés.

Les **modèles d'adoption et de diffusion de l'innovation** ont permis d'explicitier la manière dont une innovation se propage dans un système social. D'autres travaux ont évoqué les raisons qui poussent les acteurs à décider de mettre en œuvre une innovation. Les théories organisationnelles ont mis en évidence **l'influence du contexte externe des entreprises**, qui peut favoriser ou au contraire inhiber la décision d'adoption. Les **inerties internes** aux organisations qui impactent cette décision ne sont pas négligeables non plus. Cependant, et malgré ces différentes pressions, **les organisations gardent une capacité d'action** qui leur est propre. La perception que les individus ont **des innovations** influence leur volonté de les mettre en œuvre. Cette perception dépend à la fois de l'innovation elle-même, et des caractéristiques des individus.

Il y a donc trois principaux types de facteurs qui influencent la décision d'adopter une innovation : les facteurs externes à l'organisation, les facteurs internes (y compris les personnalités et caractéristiques des individus), **et les caractéristiques des innovations.**

La mise en place d'une innovation dans une organisation nécessite parfois un changement de grande ampleur, en particulier lorsqu'il s'agit d'une technologie de l'information et de la communication. La littérature sur la **gestion et conduite du changement** distingue différents « types de changement ». Ils sont caractérisés par leur **radicalité**, leur **origine** et la manière dont ils sont **mis en œuvre**. Généralement, la mise en place d'une TIC ne concerne pas seulement un changement d'outil de travail, mais **implique également une révision des méthodes et processus de travail**. Le changement radical nécessite même, au-delà des méthodes et processus, une **révision de la stratégie et de la culture de l'organisation** et les dirigeants ont à leur disposition plusieurs leviers qui peuvent contribuer au succès de la mise en œuvre du changement.

Conclusion de la Première partie

Le BIM s'inscrit à la fois dans les évolutions successives de la maîtrise d'œuvre et des modèles de gestion de projet, et dans le développement et l'évolution des technologies, notamment les technologies de l'information et de la communication. Il pose cependant de nombreux problèmes d'intégration et la littérature sur la diffusion des innovations ainsi que la gestion du changement apportent des éléments intéressants pour aborder l'adoption du BIM dans les organisations.

Le BIM comme support des évolutions technologiques et organisationnelles

La **maîtrise d'œuvre** telle qu'on la connaît aujourd'hui est **multidisciplinaire**. Elle intervient sur la conception et la réalisation d'un ouvrage. Sa diversification depuis le XIX^e siècle, dûe à la prise en compte accrue de contraintes techniques, a nécessité la mise en place d'outils et de méthodes pour la **coordination des acteurs de la maîtrise d'œuvre**. Ce sont donc les nouveaux modèles de gestion de projet (et leurs cadres réglementaires), ainsi que les technologies de l'information et de la communication qui ont outillé ces nouvelles pratiques. Nous avons montré en quoi la technologie BIM a vocation à outiller les pratiques actuelles et en développement des équipes de maîtrise d'œuvre.

Les **innovations de processus** comme les **nouveaux modèles de gestion de projet** sont généralement d'abord développées dans l'industrie (notamment automobile ou aéronautique) avant de l'être dans le secteur de la construction. La **fragmentation des chaînes de valeurs** dans ce secteur en plusieurs acteurs, généralement de très petites entreprises, y **ralentit la diffusion des innovations**. Alors que le **modèle séquentiel** est aujourd'hui généralisé dans la construction, le **modèle concourant** est évoqué et commence à être exploité depuis le début des années 1990

dans d'autres industries. Ce modèle est caractérisé par la **prise en compte amont des phases aval du projet** (maintenance, gestion). Cette approche du cycle de vie d'un produit ou « PLM » (*product lifecycle management*) se transpose progressivement aujourd'hui dans le secteur de la construction ; elle est incarnée par les méthodes et pratiques BIM (Botton et al. 2016). La gestion, l'exploitation et la maintenance des ouvrages est donc (ou va être) progressivement intégrée dans les phases amont de conception, à l'image d'un « îlot d'automation » qui se raccorde aujourd'hui à ceux des phases amont de la vie d'un ouvrage. **Le « BIM » est le nom donné aujourd'hui à l'outillage de l'organisation des activités des acteurs d'un ouvrage, pour sa programmation, conception, construction et gestion.**

Les innovations radicales comme l'ordinateur et l'arrivée d'internet ont eu des répercussions dans tous les secteurs et dans toutes les industries. Elles ont entraîné le développement de nombreuses autres innovations. L'arrivée **d'internet** a accéléré le développement de **l'interopérabilité** des systèmes et a mis les **données** et **l'information** progressivement au centre de tous les développements technologiques. Ainsi, le niveau de maturité 2 des pratiques BIM s'apparente aux échanges tels qu'ils ont commencé à être développés dans les années 1990 et 2000. Le *cloud computing*, c'est-à-dire la **centralisation d'informations** en ligne est en développement actuellement dans tous les secteurs. Il correspond à ce que l'on a appelé « BIM niveau 3 » qui n'est pour l'instant pas réellement opérationnel. Certaines applications comme les plateformes collaboratives BIM en constituent actuellement les prémises. Elles proposent pour l'instant plutôt des dépôts de fichiers que de l'interopérabilité par protocole d'échange d'informations entre applications web interopérables.

La profession d'architecte

En s'institutionnalisant, en France (comme dans de nombreux pays⁵¹), la profession d'architecte s'est concentrée sur les **missions de conception** dans sa **dimension artistique et sociale**. Elle s'est construite une identité d'**architecte-artiste** en s'éloignant des problématiques techniques de l'ouvrage, au moment où des spécialistes des questions techniques du bâtiment émergeaient.

Si certains auteurs prétendent que les architectes ont signé leur arrêt de mort en s'éloignant de la technique, il n'est pas certain que cela eut été évitable, tout comme l'augmentation, la diversification et la spécialisation des acteurs de la maîtrise d'œuvre. La multiplication des contraintes techniques a nécessité de plus en plus de compétences spécifiques.

⁵¹ Nous n'avons pas ici étudié la culture professionnelle des architectes dans d'autres pays qu'en France, alors que le BIM est une préoccupation internationale aujourd'hui. Cependant, il semble que la culture du projet et la culture artistique soient en grande partie partagées, notamment en Europe (Champy 1995).

Si l'amélioration de la formation technique des architectes leur permettrait une meilleure maîtrise du projet et de sa conception dans son ensemble, elle ne remplacerait certainement pas les compétences des spécialistes toujours plus nombreux de la maîtrise d'œuvre.

Mais, pour les architectes autrefois « maîtres de l'œuvre architecturale » cette spécialisation est **vécue comme une perte de pouvoir sur l'ouvrage** et est assimilée à la perte de leur position d'acteur central de la maîtrise d'œuvre. La profession d'architecte a tenté de se protéger face à ce phénomène, notamment en protégeant le port du titre d'architecte. Elle s'est peut-être engagée dans une voie qui l'exclut progressivement de la dimension collaborative de la maîtrise d'œuvre et la met à l'écart des autres acteurs. Ce n'est donc peut-être pas tant l'identité d'artiste qui est problématique que la manière dont la profession a tenté de se protéger.

L'histoire de la profession a laissé plusieurs reliquats qui posent aujourd'hui question dans le cadre des évolutions à venir de la maîtrise d'œuvre. Le fait que l'architecte soit le seul de projet à être investi d'une mission d'intérêt général, qu'il soit le seul professionnel libéral ou encore qu'il dispose d'un droit d'auteur sur l'œuvre architecturale conçue collectivement pose aujourd'hui question. L'identité de l'architecte ne peut plus se baser sur une vision territorialiste⁵² de l'ouvrage et de sa conception. Les différents développements (techniques et organisationnels) en cours, qui sont incarnés par le BIM, impacteront nécessairement la profession qui sera amenée à repositionner son identité aujourd'hui peu compatible avec certaines des évolutions en cours.

La difficile adoption du BIM et les outils pour l'étudier et l'outiller

Bien qu'il s'inscrive dans la continuité des évolutions des modèles de gestion de projet et des évolutions technologiques, le BIM est une innovation qui est difficile à implémenter, comme l'ont été les autres technologies de l'information et des communications. Il a suscité de nombreuses réactions dans le secteur de la construction, en particulier de la part des architectes. Si l'étude de l'institutionnalisation de la profession permet d'apporter un éclairage sur les raisons des réactions que suscite le BIM dans les agences, il n'existe aujourd'hui pas de données ou d'enquête d'envergure qui décrit et quantifie l'adoption du BIM dans les agences d'architecture. Les modèles de diffusion de l'innovation apportent des éléments sur lesquels nous pouvons nous appuyer pour constituer une enquête sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture. Les modèles de gestion du changement explorent quant à eux les leviers du changement organisationnel : ils peuvent être exploités pour proposer des outils à destination des agences d'architecture qui souhaitent implémenter des pratiques BIM.

⁵² Au sens de la protection de leur droit sur l'ouvrage, au mépris du caractère collaboratif de la conception.

Partie 2 :

Proposition n°1 :

un cadre de recherche pour étudier l'adoption du BIM

L'adoption du BIM est abordée de différentes manières dans la littérature scientifique. Très peu d'études ont cependant proposé un cadre conceptuel solide pour appréhender les concepts de diffusion, d'adoption et d'implémentation. Dans cette partie, nous nous appuyons sur des domaines d'étude variés pour constituer un cadre de recherche sur lequel nous nous appuyons dans la suite de nos travaux. Ce cadre est constitué de deux volets. Dans un premier temps, dans le **chapitre 4**, nous proposons une clarification et distinction des termes de **diffusion**, d'**adoption**, d'**implémentation** et d'**appropriation** des innovations, qui aboutit au **Modèle Unifié du Processus d'Adoption des Innovations**. Celui-ci a permis de distinguer deux types de **facteurs** qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation : ceux qui influencent la décision de mettre en place une innovation et ceux qui impactent le succès de son implémentation. Dans le **chapitre 5**, nous proposons donc une taxonomie des **facteurs d'adoption**.

Un Modèle Unifié du Processus d'Adoption du BIM

L'utilisation des modèles de diffusion et d'adoption des innovations pour étudier l'adoption du BIM a été plébiscitée par plusieurs chercheurs (Hosseini et al. 2016; Murphy 2014). Plusieurs chercheurs ont noté qu'ils sont sous-exploités dans la littérature sur le BIM (Poirier, Staub-French, Forgues 2015a).

Dans la littérature scientifique relative à l'adoption du BIM, on retrouve **six principales approches** du sujet, qui sont parfois combinées :

Les **approches « étude de littérature »** (1) sont en général un préliminaire. Elles exploitent la plupart du temps une littérature spécifique au BIM et à son adoption et plus ponctuellement les théories de diffusion de l'adoption (exemple : (Ahmed, John P. Kawalek, Kassem 2017)). Les modèles conceptuels restent sous-exploités dans ce domaine, à tel point que les termes « diffusion », « adoption » et « implémentation » sont utilisés de manière indifférenciée et parfois pour désigner des concepts différents (Ahmed, Paul Kawalek, Kassem 2017).

Les approches inductives et qualitatives (2), qui s'appuient sur des observations de terrain pour étudier la manière dont les pratiques BIM sont mises en œuvre se sont largement développées au moment de l'expansion des pratiques BIM, dans les années 2010. Il s'agit surtout d'études de cas réalisées dans de très grandes entreprises/agences pour identifier leurs difficultés d'implémentation (exemple : (Almuntaser, Sanni-Anibire, Hassanain 2018; Machado, Underwood, Fleming 2016; Arayici et al. 2011a; Love et al. 2015)). Ces études ont initialement été conduites dans des contextes anglo-saxons. Un peu plus tard, lorsque d'autres pays ont commencé à réaliser le même type d'études, les lacunes des connaissances sur les PME⁵³ ont été notées (Poirier, Staub-

⁵³ Petites et moyennes entreprises

French, Forgues 2015b; Hosseini et al. 2016). Les enquêtes de ce type en France sont très rares, et l'antériorité des études anglo-saxonnes semble avoir orienté la manière dont le sujet est abordé ailleurs. Mais la taille des entreprises, le cadre du travail et le contexte socio-économique varient d'un pays à l'autre, la question nécessite donc peut-être d'être traitée différemment dans chaque pays.

Les études quantitatives pour évaluer le niveau d'adoption du BIM (3) sont nombreuses (exemples : (Kassem, Succar 2017; Eadie et al. 2015; Ismail, Adnan, Bakhary 2019)). Elles ont été conduites notamment pour comparer les acteurs par rapport à leur avancement BIM des pays, qui est rapidement devenu un enjeu économique et concurrentiel. Ces études n'ont pas de cadre commun. Elles ont donc eu recours à des critères différents pour évaluer le niveau d'adoption des acteurs, empêchant ainsi toute comparaison et études chronologiques entre études. Certaines enquêtes font exception, comme celle réalisée par (Kassem, Succar 2017) pour laquelle les chercheurs ont d'abord défini un cadre conceptuel basé sur une étude de littérature très étendue (Succar, Kassem 2015).

Les études des facteurs d'adoption du BIM (4) ont pour objet l'identification des éléments qui influencent les acteurs à mettre en œuvre des pratiques BIM (décision de mettre en œuvre des pratiques et les éléments qui perturbent le déroulement des projets BIM). Les facteurs identifiés dans ces études sont souvent présentés de façon très hétérogène, du fait du manque de cadre théorique (exemples : (Rogers, Chong, Preece 2015; Kim, Park, Chin 2016; Takim, Harris, Nawawi 2013; Tsai, Mom, Hsieh 2014; Son, Lee, Kim 2015; Won et al. 2013)).

Les approches pragmatiques (5) ont vocation à proposer des outils pour accompagner les acteurs dans l'adoption du BIM (exemples : (Gu, London 2010; Machado, Underwood, Fleming 2016; Bonanomi, Paganin, Talamo 2016)). Ces approches se saisissent assez peu des résultats des études des facteurs d'adoption pour construire leurs propositions.

Enfin, les **modèles conceptuels et propositions de cadre de recherche** (6) sont très rares. Voici deux exemples de modèles pour étudier l'adoption du BIM à l'échelle d'un marché (Succar, Kassem 2015) et à l'échelle d'une organisation : (Herr, Fischer 2019). C'est en partie ce manque de modèles conceptuels qui rend très hétérogènes et parfois peu fiables les résultats des études sur l'adoption du BIM.

Dans ce chapitre, **nous proposons un cadre de recherche basé sur la définition des concepts de diffusion, d'adoption, d'implémentation et d'appropriation**. Nous proposons également un modèle qui permet de les articuler. Celui-ci servira de base à l'étude des facteurs d'adoption du BIM et nous permettra de constituer un cadre de recherche solide pour notre enquête de terrain.

La démarche employée pour développer ce cadre émane donc plutôt d'une logique déductive. Nous nous sommes en effet appuyés sur des théories, modèles, et définitions pour constituer un cadre de recherche qui a lui-même ensuite été exploité pour l'observation et la compréhension du terrain (Chapitre 6 : Une enquête par entretiens, Chapitre 7 : Une enquête par questionnaire ; Chapitre 8 : Études de cas dans quatre agences d'architecture qui implémentent des pratiques BIM). Dans les faits, si les modèles théoriques ont bel et bien orienté l'enquête par questionnaire, une partie des études de cas présentées en chapitre 8 ont été réalisées préalablement ou parallèlement à l'élaboration du cadre de recherche. Ce décalage est dû au fait que les études de cas ont nécessité des conditions d'expérimentations très exceptionnelles et se sont étalées sur plusieurs années. Ces travaux ont donc nourri la réflexion sur les modèles théoriques proposés sans que leur contribution ne puisse être identifiée de façon absolument claire. L'approche pour développer le Modèle Unifié de Processus d'Adoption du BIM est donc **principalement** déductive, mais a pu être impactée par le calendrier de recherche légèrement en décalage avec une logique purement déductive.

4.1 Proposition de clarification des terminologies de diffusion, adoption, implémentation et appropriation d'une innovation

Nous proposons ici une clarification des notions de diffusion, adoption, implémentation et appropriation basée sur une littérature variée sur les innovations en général et sur le BIM en particulier. Des hypothèses sont avancées pour expliquer les confusions observées dans la littérature.

4.1.1 Diffusion de l'innovation

La Diffusion est « un concept qui représente la propagation de l'innovation dans une population d'adoptants » (Stoneman, Diederer 1994; Succar, Kassem 2015). Rogers (2003) définit la diffusion comme le « processus par lequel une innovation est communiquée par certains canaux au cours du temps parmi les membres d'un système social ». Cette définition met l'accent sur la notion de transmission entre les acteurs, comme l'apprentissage social ou organisationnel, mais est également très centré sur la communication dans un système social.

Ces définitions ne précisent cependant pas l'échelle de la population ou du système social concerné par la diffusion : s'agit-il de la diffusion d'une innovation au sein d'une population d'entreprises, d'individus ou de l'utilisation de plus en plus étendue d'une innovation au sein d'une même entreprise ? Pour lever cette confusion, des chercheurs ont distingué la diffusion interentreprises de la diffusion intraentreprise.

La **diffusion interentreprises** (Stoneman, Diederer 1994) est caractérisée par « l'augmentation au cours du temps du nombre d'entreprises utilisant ou ayant fait l'acquisition d'une technologie ». L'adoptant est ici une organisation et l'échelle de travail est une population d'organisations. La **diffusion intraentreprise** (Battisti, Stoneman 2005) correspond à l'utilisation de plus en plus intensive d'une technologie au sein d'une même entreprise. Cette diffusion rejoint les notions d'apprentissage organisationnel et d'amélioration continue. Elle considère donc l'adoptant comme étant une entreprise en considérant l'échelle du groupe social des individus qui constituent l'organisation.

La définition la plus répandue de « diffusion » correspond à la diffusion interentreprises.

4.1.2 Adoption de l'innovation

Le terme « adoption » de l'innovation trouve de multiples définitions dans la littérature scientifique. Elle est utilisée tantôt pour faire référence :

- **À la décision** prise par la direction de commencer à mettre en œuvre une innovation : « L'adoption est une décision, typiquement faite par un dirigeant, qui indique que les employés de l'organisation vont utiliser une innovation dans leur travail » (Klein, Sorra 1996). Rogers différencie même deux types de décision : la décision de la direction de faire utiliser une innovation par les membres d'une organisation, et la décision collective d'acceptation de l'innovation (Rogers 2003).
- **Au moment** où l'on a acquis un certain niveau de maîtrise de l'innovation. Dans la littérature spécifique au BIM, ce moment est même appelé « Point d'adoption » ou PoA (*Point of Adoption*), faisant référence au moment où une organisation met en œuvre avec succès les outils et processus BIM. Ce moment marque le saut initial dans l'utilisation du BIM qui va ensuite être améliorée progressivement (Succar, Kassem 2016).
- **À un processus** long qui décrit les différentes étapes associées à la mise en œuvre d'une innovation, qui commence au moment où l'on ne connaît pas l'innovation jusqu'au moment où l'on est capable de la mettre en œuvre (Rogers 2003).

Dans son ouvrage fondateur *Diffusion of Innovations*, Rogers a décrit le « **processus de décision-adoption** » en cinq étapes. Ce modèle a été adapté à plusieurs reprises et parfois renommé comme étant « **le processus d'adoption** » sans référence explicite à la décision dans le titre (Karlsson 1988). Plus récemment, ce modèle a été utilisé à plusieurs reprises dans la littérature spécifique au BIM pour décrire le processus d'adoption du BIM (voir Tableau 2) : l'étape de décision y est parfois devenue « le point d'adoption » (Ahmed, Paul Kawalek, Kassem 2017).

Tableau 2. Différents modèles en cinq étapes qui décrivent le processus d'adoption/de décision.

<i>Étape 1</i>	<i>Étape 2</i>	<i>Étape 3</i>	<i>Étape 4</i>	<i>Étape 5</i>	<i>Référence</i>
Connaissance	Persuasion	Décision	Implémentation	Confirmation	(Rogers 2003)
Sensibilisation	Intérêt	Essai	Evaluation	Adoption	(Karlsson 1988)
Sensibilisation	Intention et intérêt	Point d'Adoption	Implémentation	Confirmation	(Ahmed, Paul Kawalek, Kassem 2017)

Aucun consensus ne se dégage autour d'une définition précise de la notion d'adoption.

Nous proposons ici de distinguer les différentes définitions de l'adoption en précisant s'il s'agit du **processus** d'adoption, de la **décision** d'adoption (*Decision of Adoption - DoA*) ou de la **confirmation** d'adoption (*Confirmation of Adoption - CoA*).

Le **processus d'adoption** est donc **le processus par lequel le BIM est connu, mis en œuvre, puis ancré dans les pratiques d'un adoptant qui peut être un individu ou une organisation.**

Au cours de ce processus, il existe un **moment** où la **décision** de mettre en œuvre l'innovation est prise (DoA) par le top-management de l'organisation. Après qu'elle ait été testée et éprouvée, il existe un moment où la prise en main de l'innovation est stabilisée au point où l'organisation peut l'utiliser dans ses projets courants : c'est la **Confirmation d'Adoption (CoA)**. Après la CoA, les adoptants continuent à améliorer leur maîtrise de l'innovation.

4.1.3 Implémentation de l'innovation

Rogers définit la quatrième étape du processus d'adoption, l'implémentation, comme la mise en utilisation de l'innovation. Il s'agit d'un « ensemble d'activités réalisées pour préparer, déployer ou améliorer des livrables et des processus de travail » (Kassem, Succar 2017). Ces définitions peuvent également amener différentes compréhensions du concept. Certains travaux exploitent ainsi l'expression « implémentation du BIM » pour désigner :

- **Le processus d'adoption**, incluant la décision
- **L'organisation de pratiques de travail BIM** au sein d'une équipe de projet dont les membres sont déjà opérationnels et formés individuellement sur les pratiques BIM.
- **Le processus d'amélioration continue liée à l'utilisation prolongée du BIM.** Cette définition rapproche les notions d'implémentation et de niveau de maturité ; l'expression « évaluation de l'implémentation » est même parfois utilisée en lieu et place d' « évaluation de la maturité » comme chez (Naville, Rajeb 2016).
- **La première mise en œuvre de pratiques BIM** au sein d'une organisation dont les membres et l'organisation ne maîtrisent pas ces pratiques. Cette mise en œuvre du changement porte un caractère radical, qui impacte profondément les pratiques de l'organisation, comme chez (Fadeuilhe 2015).

Ces quatre interprétations font référence à des concepts différents et incompatibles dans une même notion. Le premier sera désigné par le processus d'adoption, le second fait plutôt référence à un plan d'exécution BIM. C'est la dernière définition de l'implémentation que nous utiliserons ici. **L'implémentation d'une innovation fait partie du processus d'adoption. Il s'agit d'un ensemble d'activités qui ont vocation à mettre en place une technologie qui n'était jusque-là pas encore utilisée dans une organisation. Parfois appelée déploiement, elle comporte trois volets : technique (achat et mise en place des logiciels par exemple), humain (formation du personnel, embauche) et processus (mise en place de pratiques et processus de travail).**

4.1.4 Appropriation d'une innovation

L'appropriation de l'innovation concerne le niveau de l'individu, contrairement à l'implémentation qui concerne l'échelle d'une organisation. L'appropriation est **le processus individuel d'acceptation puis d'amélioration de la capacité à utiliser l'innovation** (Venkatesh, Bala 2008).

Cette définition propose que l'appropriation se déroule en deux temps : **l'acceptation** (proche du changement radical) puis **l'amélioration** (qui recoupe les définitions du changement continu)⁵⁴.

⁵⁴ Voir partie 3.3.2.2, « Le processus de changement chez les individus, p.96

Ainsi, le processus individuel **d'acceptation** peut s'apparenter au deuil (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014): les individus connaissent une phase de **choc**, puis de **résistance**, **d'exploration** et enfin **d'implication**. Lorsque l'acceptation a eu lieu et que l'individu est impliqué dans le changement, alors la **seconde phase de l'appropriation commence : l'amélioration** de l'utilisation de l'innovation. Celle-ci correspond au processus **d'apprentissage individuel**, ou l'apprentissage par la pratique (Kim 1998). La définition générale de l'appropriation recoupe celle de l'adoption qui peut concerner l'échelle de l'individu ou de l'organisation. Pour plus de clarté, il faut peut-être préférer « appropriation » pour un individu, et « adoption » pour une organisation.

L'appropriation d'une innovation est donc un processus **individuel** qui se déroule en deux phases : l'acceptation de l'innovation, puis l'apprentissage par la pratique. C'est un processus long qui commence par une étape potentiellement radicale qui implique émotionnellement l'individu.

- Dans la littérature scientifique concernant l'adoption du BIM, les termes de diffusion, d'adoption, d'implémentation et d'appropriation trouvent une définition hétérogène. Nous en proposons les définitions suivantes :
- La **diffusion interentreprises** correspond à l'augmentation au fil du temps du nombre d'entreprises qui ont fait l'acquisition d'une innovation.
- La **diffusion intraentreprise**, que l'on préférera ici appeler « apprentissage organisationnel » correspond à l'utilisation de plus en plus intensive d'une innovation au sein d'une entreprise.
- L'**adoption** d'une innovation est le processus par lequel l'innovation est connue, mise en œuvre puis ancrée dans les pratiques d'une organisation.
- L'**implémentation** correspond à un ensemble d'activités qui permettent de mettre en place et d'ancrer dans le temps une innovation au sein d'une organisation qui ne l'utilisait pas auparavant.
- L'**appropriation** d'une innovation est un processus individuel qui se déroule en deux phases : l'acceptation de l'innovation puis l'amélioration de son utilisation *via* l'apprentissage par la pratique.

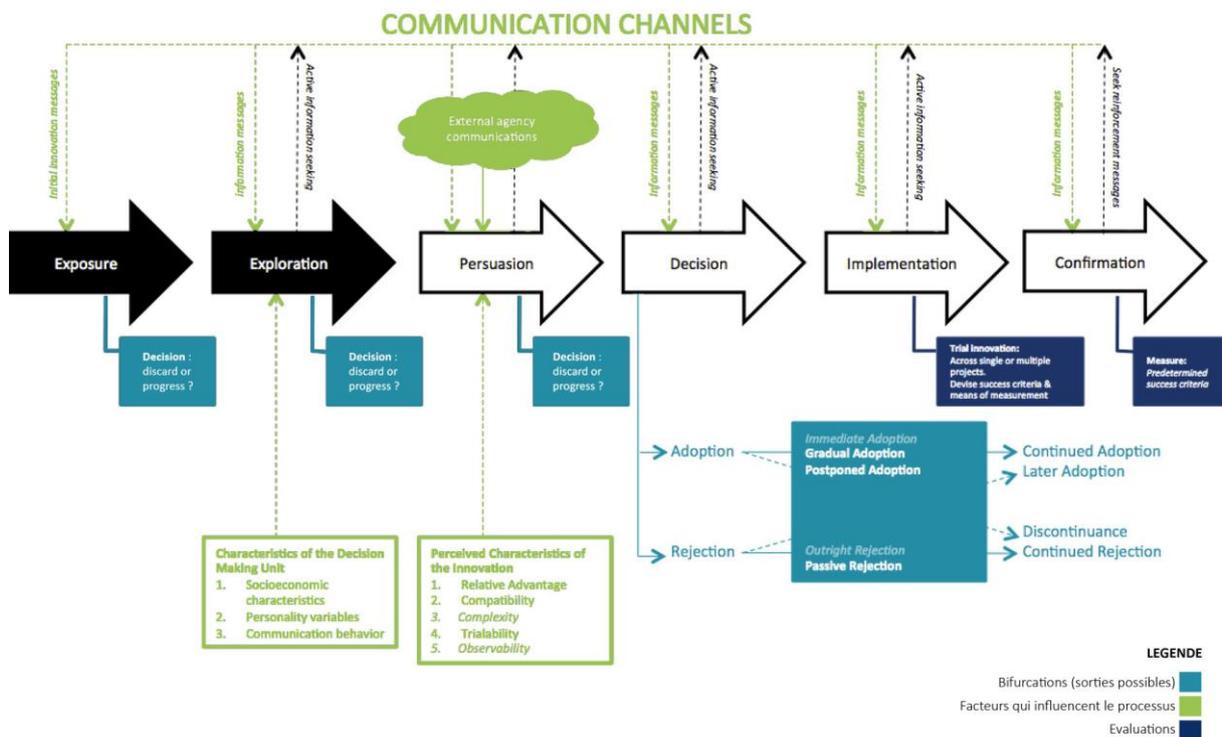
4.2 Processus d'adoption du BIM : le besoin d'un modèle unificateur

Différentes utilisations du modèle d'adoption-décision dans le cadre de l'étude de l'adoption du BIM sont ici référencées et analysées. Les modifications dont il a fait l'objet, ainsi que des limites des modèles proposés sont également passées en revue.

4.2.1 Le processus d'adoption de Rogers revisité pour étudier l'adoption du BIM

Une vision orientée sur les canaux de communication

Gledson (2017) propose une évolution modèle de Rogers pour étudier l'adoption de la BIM-4D (voir **Figure 23**). L'auteur démontre que ce processus est applicable à plusieurs échelles, au niveau de l'industrie, d'une organisation, d'un projet, et au niveau individuel (Gledson 2017).



*Figure 23. Variante du modèle de processus d'adoption-décision proposé par (Gledson 2017).
Note : couleurs ajoutées ici par l'auteure pour des besoins d'explicitation*

Il propose de détailler la première phase du modèle de Rogers, intitulée « **connaissance** » (*knowledge*). Dans la variante du modèle proposée, les organisations sont tout d'abord **exposées** à une innovation, puis **l'explorent** pour acquérir des connaissances sur celle-ci. Le modèle ici proposé est très centré sur les canaux de communication et l'impact qu'ils ont sur les adoptants (en vert, en haut de la **Figure 23**).

Le modèle de Rogers ne fait apparaître **qu'une « sortie » du processus** : c'est à l'étape de **décision**. La variante ici proposée intègre des sorties possibles aux étapes **d'exposition**, **d'exploration**, de **persuasion** et de **décision** (ici mises en évidence en bleu clair sur la **Figure 23**). L'auteur n'aborde pas ces événements comme des « sorties » de processus, mais comme des moments particuliers de décision « continuer ou arrêter ? ».

Pour les étapes d'**implémentation** et de **confirmation**, il n'envisage pas réellement l'échec ou la sortie du processus d'adoption : il s'agit d'une étape plutôt itérative, qui se solde par une « mesure » permettant de déterminer si l'étape est terminée et « validée » ou non.

Une vision orientée sur la décision, utilisée pour une enquête poussée

Le modèle du processus d'adoption proposé par Ahmed et al. (2017) (et plus récemment dans (Ahmed 2019)) (voir **Figure 24**) est également basé sur le processus d'adoption-décision de Rogers. Les chercheurs l'ont utilisé pour structurer une enquête par questionnaire sur les facteurs qui influencent l'adoption du BIM (Ahmed, Kassem 2019).

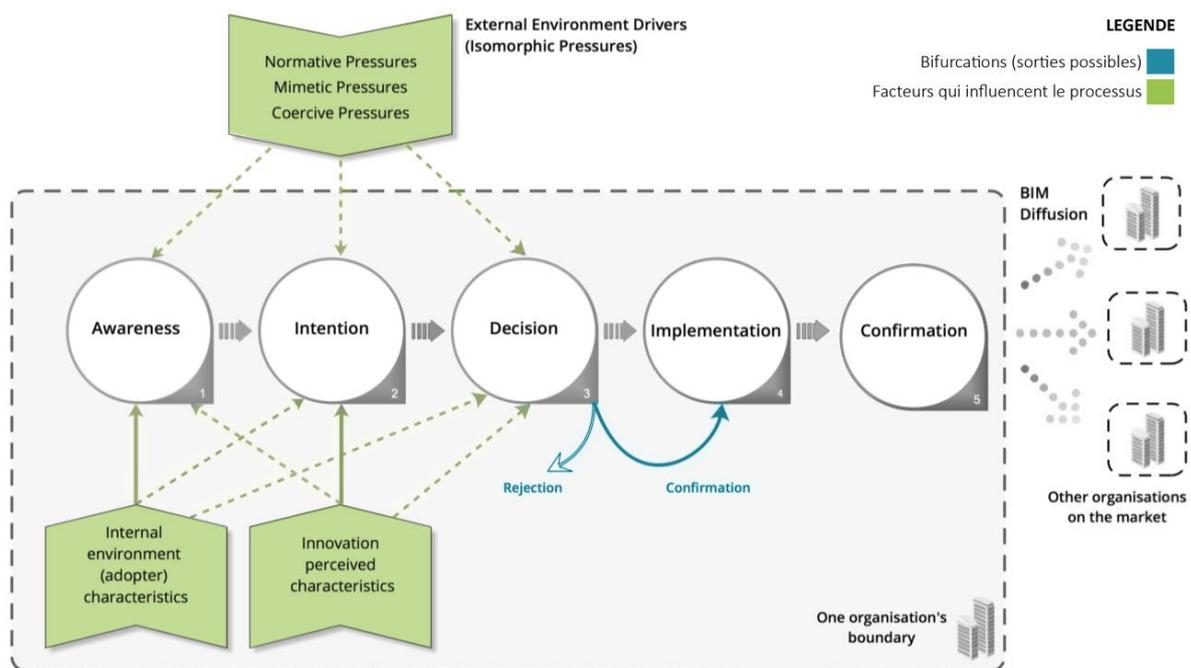


Figure 24. Processus d'adoption-décision proposé par (Ahmed, Kassem 2019) d'après le modèle de Rogers.
Note : couleurs ajoutées ici par l'auteure pour des besoins d'explicitation

Il s'agit d'une des tentatives les plus abouties dans la littérature sur l'adoption du BIM d'exploitation du processus d'adoption pour l'étude des facteurs qui influencent l'adoption du BIM. Contrairement à de nombreuses études dans ce domaine, les auteurs ont précisé leur échelle de travail : l'organisation. Ils ont ajouté au processus d'adoption de Rogers l'étape de présensibilisation (*pre-awareness*), avant la sensibilisation. Ils ont également ajouté et positionné

la « diffusion » après la dernière phase du processus (*confirmation*) pour marquer l'articulation à la fin du processus avec le phénomène d'amélioration continue et/ou de diffusion interentreprise.

Ce travail marque une avancée importante sur l'exploitation et l'exploration du processus d'adoption du BIM pour l'étude de l'adoption du BIM, notamment dans les agences d'architecture. Il comporte cependant des lacunes.

Si la réflexion qui précède une décision peut s'inscrire sur un temps long, la décision est, quant à elle, associée plutôt à un moment qui marque la fin de cette réflexion et annonce le passage vers l'action. Dans le modèle proposé par Ahmed (2019) et Gledson (2017) comme dans celui de Rogers, la décision s'inscrit dans une phase. **Elle pourrait être signifiée par un jalon plutôt qu'une phase pour marquer son caractère ponctuel qui clôt une phase de réflexion.**

De plus, Ahmed (2019) positionne l'arrêt du processus d'adoption uniquement à la phase de décision (« rejet » du BIM), comme Rogers. Mais le modèle de Rogers a été justement critiqué parce qu'il **intègre peu les échecs du processus d'adoption** (Mitsufuji 2001). On sait de plus que le BIM est difficile à mettre en œuvre⁵⁵ (Fadeuilhe 2015) et la possibilité de l'échec d'une implémentation a été identifiée dans l'étude du changement⁵⁶.

Pour développer leur modèle, Ahmed et al. (2017) se sont d'abord appuyés sur la littérature spécifique à l'adoption du BIM. Ils ont donc intégré la théorie de la diffusion des innovations, et la théorie néo-institutionnelle (Ahmed 2019), déjà présentes ponctuellement dans la littérature spécialisée sur le BIM. Les **théories ainsi exploitées s'inscrivent principalement dans une perspective adaptative des organisations**⁵⁷ qui positionne la **décision** comme base suffisante pour leur survie (Rouleau, 2007). Mais ces modèles de décision n'adressent pas la phase d'implémentation (Cooper, Zmud 1990). Ils ont par ailleurs été historiquement très liés à la planification stratégique, qui est aujourd'hui remise en question dans le domaine de la gestion du changement, en particulier **car la seule décision ne suffit pas à assurer la survie de l'organisation ou le succès de l'implémentation**. Il est probable que l'assimilation adoption-décision, déjà présente dans le modèle de Rogers, ait empêché de considérer l'échec de l'implémentation dans de nombreuses études sur l'adoption du BIM. Ces lacunes se sont reportées sur l'étude des facteurs d'adoption, qui concernent principalement la décision. Les **facteurs qui influencent l'implémentation** sont cependant particulièrement importants pour les

⁵⁵ Voir partie 2.2.2.2, « Sur le plan humain et organisationnel : les difficultés de mise en œuvre du BIM », p.63

⁵⁶ Voir partie 3.3.2, « Conduire le changement : leviers, risques, et conséquences », p.94.

⁵⁷ Voir partie 3.2.1, « L'environnement comme moteur du changement : une perspective adaptative » p.84

professionnels du secteur et il est nécessaire de les étudier pour développer des méthodes d'accompagnement à l'implémentation.

Dans leur enquête par questionnaire, Ahmed et Kassem (2019) se sont appuyés sur leur modèle pour étudier les facteurs qui influencent le processus d'adoption du BIM. Ils y ont positionné explicitement leur travail sur les seules trois premières phases du processus d'adoption. Ils ont donc rendu explicite leur focalisation sur la décision d'adopter le BIM, ce qui apporte beaucoup de clarté à l'étude et a l'avantage de positionner les pistes de recherche sur l'implémentation.

4.2.2 Un focus sur l'implémentation du BIM

Les bénéfices associés au BIM sont bien plus étudiés que le processus par lequel on le met en œuvre (Bonanomi, Paganin, Talamo 2016). Les acteurs qui implémentent le BIM se focalisent plus souvent sur les aspects techniques de son déploiement que sur les problématiques organisationnelles (Fadeuilhe 2015). Pourtant, le bénéfice que l'on tire de pratiques BIM dépend du changement que l'on construit dans l'organisation au moment de son implémentation (Lindblad, Vass 2015). Le modèle traditionnel de dessin en deux dimensions est stable et persistant (Babič, Rebolj 2016) : des changements culturels et organisationnels profonds sont nécessaires pour mettre en œuvre des pratiques BIM (Lindblad, Vass 2015; Naville, Rajeb 2016; Poirier, Staub-French, Forgues 2015b).

Plusieurs études ont permis d'identifier le besoin pour les acteurs d'être guidés dans l'adoption du BIM, à la fois sur les aspects techniques (comme le choix des technologies) et sa dimension organisationnelle (Gu, London 2010).

Les études qui abordent les problématiques organisationnelles de l'implémentation du BIM sont relativement récentes et peu nombreuses. De plus, elles ne positionnent pas l'implémentation dans le processus plus général d'adoption du BIM, et ne procurent donc pas une vision globale de l'ensemble du processus que suivent les organisations de leur première exposition à l'innovation jusqu'à son intégration complète en leur sein.

Lorsque des feuilles de route (roadmap) pour l'adoption du BIM sont proposées, elles sont le plus souvent composées d'une description de ce que devrait être un projet en BIM bien maîtrisé, et ne décrivent pas ou très peu les étapes difficiles associées aux premières mises en place de pratiques BIM (comme dans les travaux de Gu, London (2010) et du CIC (2010)).

Il existe donc d'une part **des études qui exploitent le processus d'adoption du BIM** qui évoquent peu le changement organisationnel, et d'autre part **des études sur le changement organisationnel** qui ne se positionnent pas par rapport au processus d'adoption. Ces **deux**

approches sont pourtant complémentaires et doivent se rejoindre dans une approche unifiée.

4.2.3 Processus d'adoption et niveau de maturité

Au cours du processus d'adoption (et plus particulièrement de l'implémentation), les acteurs acquièrent un certain niveau de maîtrise de l'innovation. Pourtant, **les travaux sur le processus d'adoption du BIM sont rarement mis en relation avec les niveaux de maturité BIM** qui ont vocation à évaluer et décrire le niveau d'utilisation et de maîtrise des professionnels (entreprises ou individus) (Absil et al. 2015; Succar 2010). Ils sont complémentaires à l'étude de l'adoption et de l'implémentation du BIM (Naville, Rajeb 2016).

Le modèle proposé par Succar et Kassem (2015) (voir **Figure 25**) fait exception, car il positionne les niveaux de maturité sur des étapes de processus d'adoption.

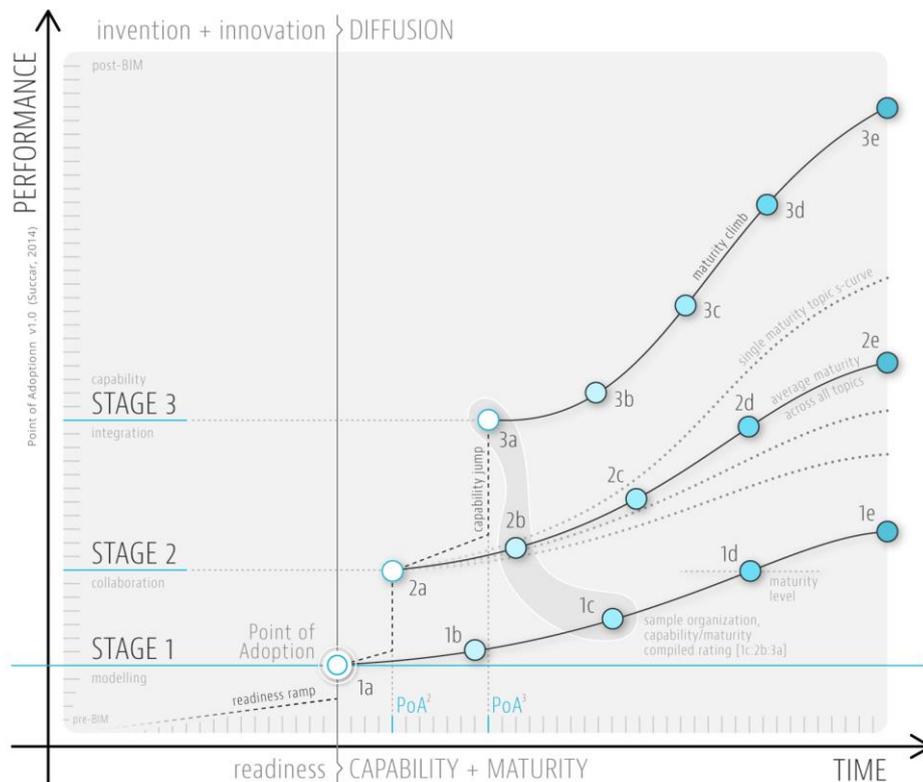


Figure 25. Modèle du point d'adoption et des niveaux de maturité BIM. Source : (Succar, Kassem 2015)

Le modèle du point d'adoption (*Point of Adoption* model – *PoA*) représente les différentes étapes d'adoption du BIM, correspondant aux trois niveaux de capacité BIM. La *readiness ramp* représente les étapes progressives de préparation à l'adoption. Le **point d'adoption** condense quant à lui à la fois la **décision d'adopter** et **l'implémentation**. Le « Point d'Adoption » concentre ici à la fois la décision d'adopter et l'atteinte d'une certaine maturité dans la mise en œuvre du BIM. Après que ce « point d'adoption » ait été atteint, l'organisation entre dans une

phase au cours de laquelle elle augmente progressivement son niveau de maturité jusqu'à atteindre un certain niveau de capacité (amélioration progressive). Les auteurs ont nommé ces niveaux de maturité et ajouté des échelons aux trois principaux niveaux (les échelons 1a, 1b ; 2a, etc.). Ils ont proposé, dans des travaux complémentaires, une méthode de calcul du niveau de maturité. Ce modèle, qui condense une grande partie du processus d'adoption en un seul point se concentre sur l'évolution de la maturité BIM au cours du temps. La mise en œuvre des niveaux de maturité BIM est envisagée ici par les auteurs graduellement : il faut d'abord avoir adopté le niveau de maturité 1 (PoA) pour adopter le niveau 2 (PoA2), etc.

Si ce modèle a l'inconvénient de condenser la décision d'adopter et la première implémentation du BIM en un point, il a en revanche le mérite de connecter le processus d'adoption avec le concept de niveaux de maturité.

4.2.4 Autres perspectives

Si plusieurs modèles de processus d'adoption dans le secteur de la construction découlent du travail de (Rogers 2003), il existe également des modèles qui se positionnent dans une perspective très différente.

(Tatum 1987) propose un modèle de processus d'innovation dans les entreprises du secteur de la construction. Celui-ci adopte une vision stratégique et pragmatique de l'adoption des innovations dans les firmes qui a une visée plutôt prescriptive, contrairement au modèle de Rogers qui est descriptif. Les étapes du processus qu'il décrit impliquent des actions stratégiques prises par la direction d'une organisation (reconnaître les forces et opportunités d'une innovation, créer un climat adéquat pour accueillir l'innovation, etc.).

Le modèle de processus d'adoption des innovations dans la construction de (Winch 1998) se situe à l'échelle du secteur et décrit les interactions entre l'environnement, les projets, et les entreprises. L'auteur considère que l'adoption des innovations passe par un processus d'apprentissage qui se situe au cours des projets qu'une entreprise réalise. Le modèle de (Slaughter 2000) décrit les différents acteurs du secteur (par corps de métier) qui adoptent successivement les innovations, permettant ainsi leur diffusion à l'échelle du secteur. Il s'agit d'un modèle descriptif, orienté sur les acteurs.

4.2.5 Synthèse

Plusieurs auteurs ont démontré l'intérêt et la pertinence du modèle de processus d'adoption des innovations pour étudier l'adoption du BIM. Ce qui différencie les modèles que nous avons pu identifier dans la littérature est principalement l'échelle de travail considérée (échelle du secteur ou d'une firme) et leur visée (descriptive ou pragmatique). Le modèle de Rogers a plutôt une visée

descriptive et se situe à l'échelle d'une entreprise. Néanmoins il permet de positionner à l'étape de l'implémentation des éléments plus pragmatiques.

Les modèles de processus d'adoption des innovations dans le secteur de la construction dérivés de celui de Rogers apportent des précisions intéressantes au modèle initial, comme un travail plus fin sur les facteurs d'adoption ou sur les premières phases du processus. Cependant, ils reportent certaines de ses lacunes. En effet, ce modèle est **centré sur la décision** et s'inscrit dans une perspective adaptative : c'était la perspective la plus couramment adoptée dans les années 60, lorsque Rogers a développé ce modèle. Dans cette perspective, c'est la décision qui assure la pérennité de l'organisation, alors « décision » équivaut à « adoption » et il n'est pas utile d'étudier les facteurs qui influencent le succès de l'implémentation. **Les « sorties » du processus d'adoption qui ne sont pas liées à des décisions ne sont pas représentées.** On note également que le processus d'adoption est caractérisé par des phases, mais certaines d'entre elles font référence à des événements très ponctuels, comme la décision. Ainsi, pour évaluer l'avancement du processus, il est important d'y intégrer la notion de **jalon**. **Les travaux qui exploitent le processus d'adoption évoquent donc peu la gestion du changement et les problématiques organisationnelles liées à l'implémentation du BIM.**

Les travaux qui ont porté sur l'implémentation sont souvent plus centrés sur les bénéfices du BIM que sur ce qui influence le succès de l'implémentation. Ils ne se positionnent pas dans la perspective générale du processus d'adoption du BIM. **Les travaux sur la maturité BIM se concentrent quant à eux sur le phénomène d'amélioration continue** (et de changement incrémental) qui a lieu après l'implémentation. Ils ne sont que très rarement mis en perspective avec le processus d'adoption ou avec les travaux liés à l'implémentation.

D'une part, les travaux sur le processus d'adoption du BIM intègrent très peu l'implémentation et se concentrent sur la décision, d'autre part les travaux sur l'implémentation du BIM ne se positionnent pas dans la perspective globale du processus d'adoption, et enfin, les études sur la maturité du BIM ne se positionnent ni vis-à-vis de l'implémentation ni sur le processus d'adoption.

Chacun de ces travaux adresse des parties différentes du processus d'adoption. Ils sont pourtant complémentaires et il est nécessaire de les combiner pour étudier le processus d'adoption dans sa globalité.

→ La littérature sur l'adoption, l'implémentation et la maturité des pratiques BIM est fragmentée. Il existe peu de connexions entre les recherches qui abordent ces différents aspects de l'adoption du BIM. **Un modèle unificateur est nécessaire pour étudier le processus d'adoption du BIM dans sa globalité.**

4.3 Processus d'adoption du BIM : proposition d'un modèle unificateur.

Dans cette partie, nous proposons un modèle unificateur du processus d'adoption du BIM, qui s'appuie sur la littérature spécialisée sur l'adoption du BIM ainsi que sur une littérature relative à la diffusion des innovations et la gestion du changement.

4.3.1 La nécessité de proposer un modèle unificateur et les pistes de recherche

4.3.1.1 *Le modèle de Rogers et les pistes pour le développer*

Le processus d'adoption décrit par Rogers n'a pas vocation à être prescriptif : il **décrit** le processus que suivent généralement les adoptants lorsqu'ils mettent en œuvre une innovation, de sa découverte à sa maîtrise, en passant par son implémentation. Sa pertinence pour étudier l'adoption du BIM a été démontrée par le passé dans la littérature. Nous choisissons de prendre appui sur ce modèle, car il adopte une perspective descriptive qui permet également de positionner des démarches prescriptives notamment au moment de l'implémentation. Le fait que le modèle soit descriptif permet de positionner les actions prises par une organisation pour implémenter des pratiques BIM dans un contexte plus large qui n'implique pas seulement ses actions, mais également ses réactions.

Le modèle de Rogers permet d'aborder le processus d'adoption dans sa globalité, du point de vue d'un adoptant (nous adoptons ici le point de vue d'une organisation). Cette caractéristique est intéressante dans notre cas puisque nous souhaitons aboutir à des préconisations destinées aux agences elles-mêmes.

Les pistes récentes pour combler les lacunes des modèles d'adoption et de diffusion des innovations consistent à créer **une meilleure cohérence entre différentes échelles d'étude**, là où les recherches sont habituellement focalisées sur le seul niveau de l'individu, de l'organisation ou d'un secteur (Gruber 2020). Nous avons vu également qu'il est nécessaire d'intégrer les échecs possibles du processus, notamment au moment de l'implémentation. Ces deux points sont donc nos points de départ pour développer le modèle de Rogers.

4.3.1.2 *Une littérature scientifique compartimentée*

La littérature spécialisée sur l'adoption du BIM à l'échelle micro fonctionne **en îlots qui abordent la décision, l'implémentation et la maturité BIM de façon distincte** (voir **Figure 26**). Ainsi, les études sur l'adoption du BIM se concentrent en fait sur la décision d'adopter (et les phases amont), les études sur l'implémentation ne se connectent peu au processus d'adoption, et les études sur la maturité se concentrent sur l'évaluation et sont peu mises en relation avec l'implémentation.

ETAT DE L'ART INNOVATION

(partie 1)

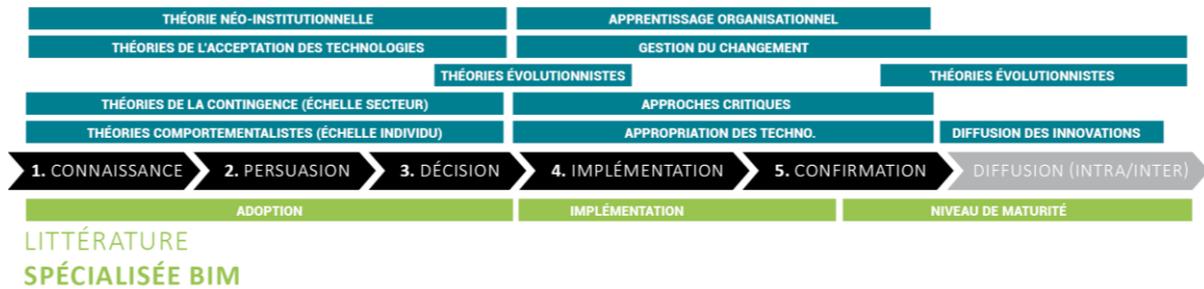


Figure 26. Positionnement sur le processus d'adoption des études dans la littérature sur le BIM, et les travaux sur l'adoption des innovations.

Nous avons identifié dans la littérature scientifique relative aux innovations et à l'appropriation des technologies⁵⁸ plusieurs champs d'étude et de nombreuses théories complémentaires qui permettent d'aborder en profondeur chacune des phases du processus d'adoption (voir **Figure 26**).

Les **théories de la contingence** et la **théorie néo-institutionnelle** évoquent l'impact de l'environnement externe d'une organisation sur la décision d'adopter une innovation ; les **théories comportementalistes** et de **l'acceptation des technologies** abordent ce qui convainc un individu (l'unité décisionnelle ici) de mettre en œuvre une technologie ; les **théories évolutionnistes** étudient les éléments externes qui poussent une organisation à mettre en œuvre une technologie, et les inerties organisationnelles qui l'en empêchent ; la **gestion du changement**, **l'appropriation des technologies**, ainsi que **l'apprentissage organisationnel** abordent la manière dont les innovations technologiques sont mises en œuvre et ancrées dans les pratiques d'une organisation, et la théorie de la **diffusion des innovations** permet d'aborder la diffusion interentreprises ainsi que le processus d'adoption⁵⁹.

Nous nous appuyons donc sur la littérature spécialisée sur le BIM et la littérature relative aux innovations pour proposer un **Modèle Unificateur du Processus d'Adoption du BIM**, à l'échelle micro (échelle d'une organisation). Celui-ci sera un support construire des études qualitatives ou quantitatives, et alimenter des travaux plus théoriques, sur l'identification des facteurs qui influencent le processus d'adoption du BIM par exemple.

⁵⁸ Voir Partie 1, Chapitre 3, « **L'acceptation des innovations et le changement dans les organisations** », p.76

⁵⁹ *Ibid.*

4.3.1.3 Les principes de développement du Modèle Unificateur du Processus d'Adoption du BIM

On s'appuie ici sur l'hypothèse que la mise en œuvre étendue de pratiques BIM dans une **organisation** nécessite une décision actée par son **unité décisionnelle**. En effet, même si des initiatives spontanées d'employés permettent d'enclencher une démarche BIM dans une organisation, l'engagement de l'unité décisionnelle est nécessaire pour engager les frais associés à l'achat de matériel, logiciels et formations et à la communication de la vision (Kotter 2015).

Contrairement au modèle de Rogers et aux modèles dérivés, nous ne proposons **pas un processus d'adoption-décision, mais un processus d'adoption** qui inclut l'implémentation et qui peut **échouer**, comme l'a démontré la littérature sur la gestion du changement et les théories évolutionnistes.

Nous proposons également d'ajouter des **jalons** au processus, ce qui permet de marquer la fin d'une phase et différencier les événements ponctuels des actions ou phases, plus longues.

Enfin, nous conserverons certains éléments apportés par modèles récemment proposés dans la littérature spécialisée sur le BIM, comme la recherche du **positionnement des facteurs d'adoption sur plusieurs phases du processus** (et non seulement sur certaines phases comme dans le modèle de Rogers), et l'ajout de phases avant et après le processus qui marquent notamment la transition avec la diffusion inter- et intraentreprise.

4.3.2 Phases et jalons du processus d'adoption d'une innovation dans une organisation

Nous proposons un modèle de processus d'adoption en cinq phases, comme le modèle de Rogers. Certaines phases ont été adaptées, des jalons ont été ajoutés et des phases amont et post-adoption ont été intégrées (voir **Figure 27**).

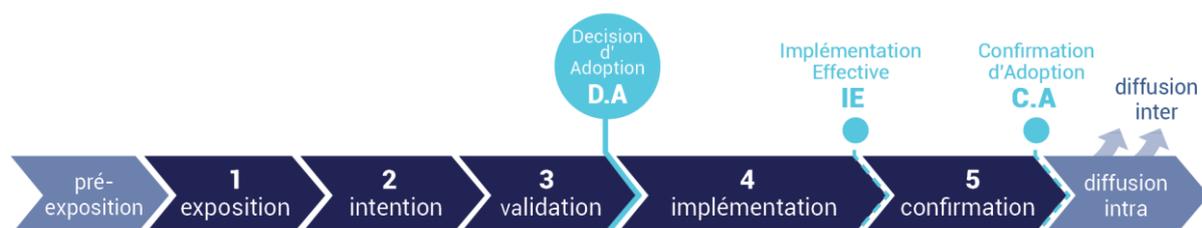


Figure 27. Phases et jalons du processus d'adoption

4.3.2.1 Le début du processus : l'exposition à l'innovation et la décision de l'adopter

Au début du processus de **diffusion** de l'innovation, la communication sur l'innovation n'a pas encore atteint toutes les organisations, et peu d'entre elles l'ont mis en place. Avant que le processus d'adoption ne commence, l'organisation n'a pas encore été confrontée à l'innovation (**pré-exposition, Figure 27**).

L'organisation est ensuite progressivement exposée à l'innovation (**phase 1 : exposition**) via différents canaux de communication comme les médias professionnels, les confrères qui ont déjà adopté l'innovation, les clients qui ajustent leurs exigences, etc. Contrairement au modèle de Rogers, dans lequel la première phase s'intitule « connaissance », les auteurs précédemment évoqués ont renommé cette phase « sensibilisation » (*awareness*) (Ahmed 2019) et « exposition »/ « exploration » (Gledson 2017). Le terme connaissance, proposé par Rogers est un peu fort à une étape où l'organisation (et en particulier leur unité décisionnelle) vient de la découvrir. La formulation de Gledson d'« exposition » nous a semblé ici plus adaptée.

Certaines organisations avancent ensuite dans le processus en approfondissant leur exploration, ce qui manifeste leur intention éventuelle de la mettre en œuvre (**phase 2 : intention**). Dans les modèles de Rogers (2003) et de Gledson (2017), cette phase s'intitule « persuasion », qui insiste sur l'impact du contexte. Ahmed (2019) propose la dénomination d'« intention ». Cette formulation nous semble plus juste, car elle se positionne du point de vue de l'organisation qui affine son intention et non d'un acteur externe qui tenterait de « persuader ».

Si son intention persiste, l'unité décisionnelle de l'organisation entre dans la phase de validation (**phase 3 : validation**) au cours de laquelle l'impact de la mise en œuvre de l'innovation est évalué par l'unité décision, afin qu'elle puisse prendre une décision. Le projet de changement s'esquisse pour envisager son impact et sa faisabilité. L'ensemble des modèles de processus d'adoption étudiés ont nommé cette phase « décision ». Il nous semble que la décision est un moment ponctuel (et non une phase) qui solde la phase de validation. Nous l'avons représentée ici sous la forme d'un jalon (**jalon 1 : Décision d'Adoption, D.A. ou DoA**⁶⁰). Le passage de la DoA est marqué par la décision prise par l'unité décisionnelle de l'organisation d'engager l'organisation dans l'implémentation.

Notons que dans le modèle de Gledson (2017), une décision est présentée à chaque phase en amont de la phase de décision. Or dans les premières phases du processus, notamment l'exposition, l'unité décisionnelle est assez peu préoccupée par l'innovation (voir Figure 28) : elle ne prend donc pas une décision de façon pleinement consciente de formelle. Les organisations ne « sortent » donc pas du processus à ce moment, elle peut rester à la phase d'exposition sans jamais marquer son intention ou rester à la phase d'intention sans jamais aller plus loin.

Le jalon de la décision d'adoption apparaît comme un **point de basculement dans le processus**. Avant ce point, les adoptants potentiels sont préoccupés par l'accumulation

⁶⁰ DoA pour *Decision of Adoption* qui fait écho au modèle du point d'adoption (*Point of Adoption Model - PoA*) proposé par Succar, Kassem (2015).

d'informations leur permettant de se positionner et prendre une décision. Après la DoA, ils se fixent un objectif d'implémentation et mettent tout en œuvre pour l'atteindre : leurs préoccupations sont plutôt axées sur son déroulement et son impact (voir **Figure 28**).

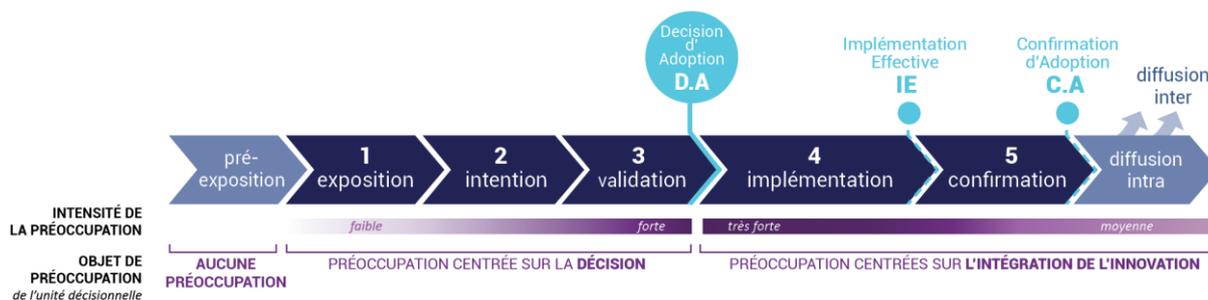


Figure 28. Phases et jalons du processus d'adoption proposé mis en relation avec les préoccupations de l'unité décisionnelle de l'organisation

4.3.2.2 De la décision d'adopter à la diffusion intraentreprise

Si l'unité décisionnelle de l'organisation décide de mettre en œuvre l'innovation, cette dernière entre dans la phase d'implémentation (**phase 4 : implémentation**). Une série d'activités sont alors entreprises pour déployer des outils, processus et méthodes liées à l'innovation. Lorsque l'innovation a été mise en place, que des formations ont éventuellement été réalisées et que les pratiques ont été testées sur au moins un projet (**jalons 2 : implémentation effective**), il est nécessaire d'ancrer les nouvelles pratiques dans le temps et d'évaluer la pertinence de la mise en œuvre de l'innovation (**phase 5 : confirmation**).

Dans les modèles très centrés sur la décision comme celui de Rogers (2003) et de Gledson (2017), la confirmation correspond au besoin des individus à être confortés ou confirmés dans leur décision. Dans la perspective que nous adoptons ici, qui inclut la possibilité de l'échec de l'implémentation (ou l'échec de l'ancrage des pratiques alors qu'elles ont été implémentées, comme cela est noté dans la littérature sur la gestion du changement ⁶¹), la confirmation correspond à la confirmation que les pratiques implémentées peuvent perdurer dans l'organisation, qu'elles ont été acceptées et ancrées dans ses pratiques habituelles. Notons cependant que le phénomène de besoin de confirmation existe bel et bien du point de vue des individus, et il est même source de biais qui peuvent nuire à l'intégration de l'innovation. On parle alors d'aveuglement ou de myopies qui visent à privilégier les effets visibles sur le court terme, les effets visibles à proximité immédiate et on minimise les échecs (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

⁶¹ Voir partie 3.3.2, « Conduire le changement : leviers, risques, et conséquences », p.94 et plus particulièrement la partie 3.3.2.1, « Freins et échecs du changement », p.94

Au cours de la phase d'implémentation, l'organisation est dans une phase de **changement radical** et la **connaissance organisationnelle** sur l'innovation augmente fortement (voir **Figure 29**). Ce n'est qu'une fois que l'implémentation est effective (I.E.) que l'organisation entre dans une phase de **changement continu** qui vise à améliorer progressivement les acquis (voir **Figure 29**). Du point de vue des membres de l'organisation (hors unité décisionnelle), l'annonce de la décision d'adoption a pu être un choc. Pour qu'ils puissent **s'approprier** l'innovation et la mettre en œuvre, **les individus** passent alors par deux phases (voir **Figure 29**). L'**acceptation** est le processus de deuil qui vise à déconstruire les précédentes pratiques et qui aboutit à l'implication⁶² ; elle est suivie de la phase d'amélioration qui vise à poursuivre les efforts pour parfaire les pratiques alors développées (voir **Figure 29**).

En fonction du déroulement de l'implémentation, de l'implication générale et des aléas, les connaissances organisationnelles sur l'organisation se développent alors plus ou moins vite (voir **Figure 29**).

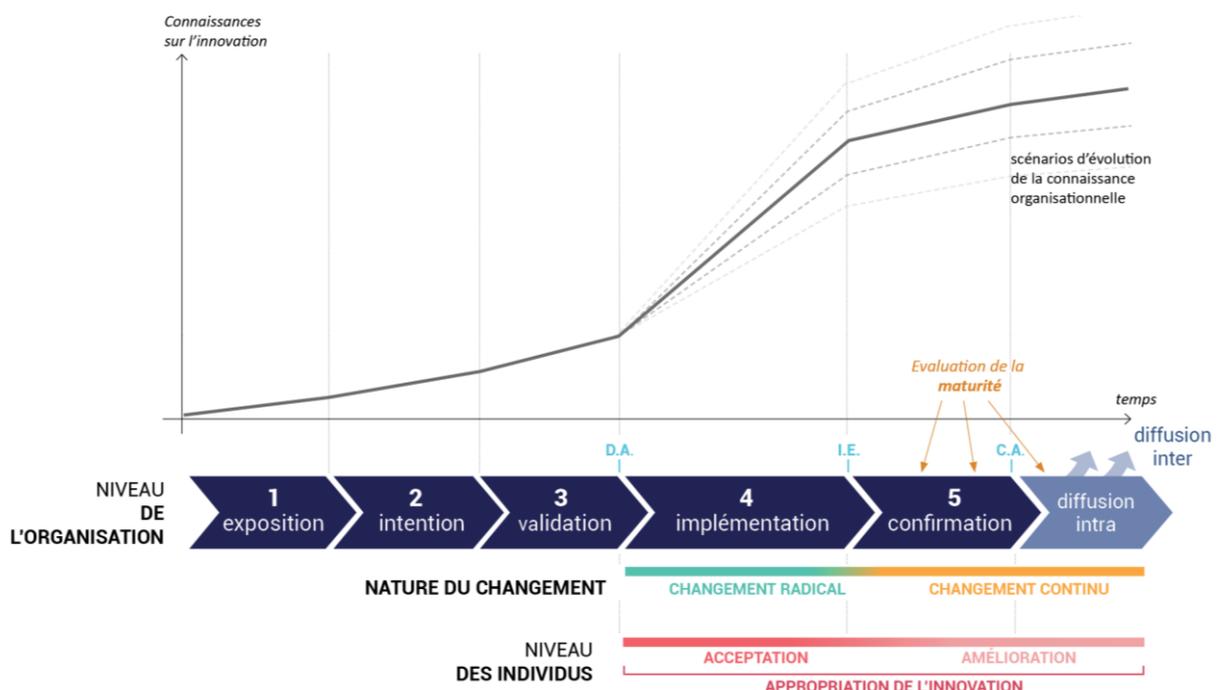


Figure 29. Phases et jalons du processus d'adoption proposé mis en relation avec la nature du changement, l'augmentation des connaissances organisationnelles et l'appropriation de l'innovation par les membres de l'organisation

La **Figure 29** intègre en axe vertical les connaissances sur l'organisation qui augmentent au fil du processus d'adoption, contrairement au Modèle du Point d'Adoption⁶³. En effet, le modèle proposé par Succar, Kassem (2015) positionne la performance de l'organisation. Il est probable que la

⁶² Voir partie 3.3.2.2, « Le processus de changement chez les individus », p.96

⁶³ Voir **Figure 25**. Modèle du point d'adoption et des niveaux de maturité BIM. Source : (Succar, Kassem 2015), p.118

phase d'implémentation forme plutôt un creux dans la performance de l'organisation, mais contribue fortement à l'augmentation de ses connaissances organisationnelles. Du point de vue des niveaux de maturité, nous formulons l'hypothèse que chaque niveau suit le même processus séparément, et de façon éventuellement non linéaire (intégration de certaines pratiques de niveau 2 avant des pratiques avancées de niveau 1), comme le prévoit le modèle du point d'adoption).

Si la mise en œuvre de l'innovation persiste dans le temps et entre dans les pratiques courantes de l'organisation, on dira alors que l'adoption est « confirmée » (**jalón 3: Confirmation d'Adoption ou CoA**). L'organisation retrouve alors une utilisation plus stable de l'innovation. Les préoccupations de l'unité décisionnelle vis-à-vis de l'innovation diminuent, mais restent importantes (voir **Figure 28**) pour que l'amélioration continue puisse s'enclencher (**diffusion intraentreprise et amélioration continue**). L'organisation contribue alors également à la diffusion de l'innovation par rapport aux autres organisations (**diffusion interentreprises**).

4.3.3 Sorties du processus d'adoption

Nous avons montré que les sorties du processus d'adoption étaient, dans la littérature spécialisée sur l'adoption du BIM, associées uniquement à une décision. Dans cette partie, nous explorons les sorties et arrêts possibles du processus d'adoption proposé précédemment (voir **Figure 30**).

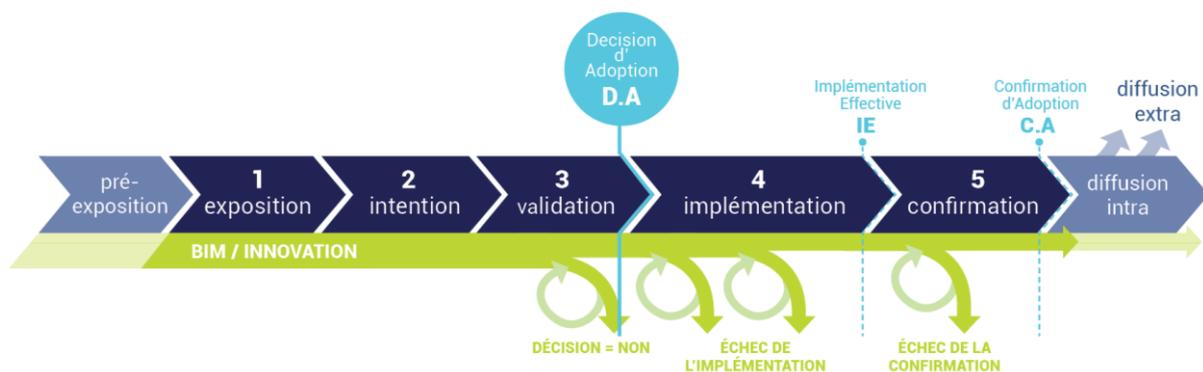


Figure 30. Processus d'adoption avec jalons et sorties possibles du processus.

4.3.3.1 Gel du processus avant la décision et sortie du processus au moment de la décision

Une organisation peut s'arrêter à différentes phases dans le processus d'adoption. Il est possible que l'unité décisionnelle s'arrête à la phase d'exposition sans jamais passer à la phase d'intention.

Une sortie du processus peut se produire au moment de la **décision d'adopter (Figure 30)**: l'innovation est rejetée, mais les acteurs peuvent reconsidérer leur décision plus tard (Rogers 2003; Ahmed, Paul Kawalek, Kassem 2017; Gledson 2017). En ce qui concerne les phases avant la décision, le niveau de préoccupation de l'unité décisionnelle concernant l'innovation est faible : l'organisation reste donc à une phase et ne sort pas réellement du processus d'adoption. On dira

dans notre cas que la situation est « figée » ou « gelée » (pour reprendre le terme de Lewin (1947), qui indique une situation stable pour les adoptants).

L'adoptant peut rester figé à la phase de validation, s'il décide de mettre en œuvre l'innovation sans engager d'actions réelles. L'innovation n'est alors pas rejetée, mais l'adoption est différée, laissant l'adoptant figé au juste avant la DoA.

4.3.3.2 *Échecs de l'implémentation*

La « sortie » du processus d'adoption au cours de la phase d'implémentation doit donc être considérée, et ce à différents avancements de l'implémentation :

- **Au début de l'implémentation.** Cela peut avoir lieu à cause d'inerties organisationnelles (Hannan, Freeman 1977; 1984) ou de routines défensives (Argyris 1994). Les membres de l'organisation ont tendance à préserver une stabilité (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014) et éviter l'inconfort généralement associé au changement. Cela peut donner lieu à un blocage ou « gel » du processus d'adoption au tout début de l'implémentation, juste après la DoA (Greenwood, Hinings 1988; Bareil, Savoie 1999).
- **Au cours ou à la fin de l'implémentation.** L'organisation peut être déstabilisée par le changement par manque d'anticipation, au point de mettre sa santé économique en danger (Hannan, Freeman 1984). C'est le cas par exemple lorsque le coût de l'implémentation est trop important et n'a pas été anticipé. L'organisation peut alors faire marche arrière et reprendre ses pratiques antérieures, mais elle peut également être mise en difficulté et éventuellement mettre la clé sous la porte (Hannan, Freeman 1984). Les résistances au changement peuvent également se produire au cours de l'implémentation, même si la manière dont elles se manifestent diffère en début et fin d'implémentation (Lapointe, Rivard 2005).

4.3.3.3 *Échecs de la confirmation*

La littérature sur la gestion du changement fait également apparaître **la possibilité de l'échec de l'ancrage du changement** (phase de confirmation, voir Figure 30). Cette « sortie » du processus d'adoption peut alors prendre des formes diverses et peut trouver différentes causes :

- **Lorsque l'innovation n'est finalement pas intégrée dans les routines ou la mémoire de l'organisation** bien qu'elle ait été mise en œuvre (Lewin 1947; Burnes 2004; Cooper, Zmud 1990; Hannan, Freeman 1977; Argyris, Schön 1978). L'importance et la difficulté de l'ancrage du changement dans les routines de l'organisation ont par ailleurs été soulevées dans de nombreux travaux pragmatiques sur la gestion et conduite du changement⁶⁴.
- **Lorsque l'innovation ne s'avère pas pertinente** sur le long terme à cause par exemple d'une erreur d'appréciation au départ sur l'intérêt de l'innovation (Mintzberg, Waters 1985), ou sur la manière de mettre en œuvre le changement (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

⁶⁴ Voir partie 3.3.2.1, « Freins et échecs du changement », p.94.

Hannan et Freeman (1984) ont décrit les issues de cet échec. Lorsque le changement a été mis en œuvre de façon relativement avancée, le retour en arrière est difficile, mais reste possible. L'organisation peut également se retrouver dans une situation où c'est le changement opéré qui a rendu l'organisation non pérenne et non « adaptée » à son environnement alors que l'innovation est intégrée.

Le processus d'adoption peut donc s'arrêter après la Décision d'adopter l'innovation, au cours de l'implémentation et pendant la phase de confirmation d'adoption pour différentes raisons. Cet échec peut également avoir différentes issues (« mort » de l'organisation dans le pire des cas, retour aux pratiques précédentes, ou nouvelle forme d'organisation).

4.3.4 Les facteurs qui influencent le processus d'adoption

La compréhension des facteurs qui influencent le processus d'adoption est nécessaire pour proposer des outils permettant d'accompagner les acteurs dans la transition. Le processus d'adoption et son étude rend possible l'explicitation des distinctions nécessaires à l'étude des facteurs d'adoption du BIM.

Nous avons montré que le jalon de la **décision d'adoption** (DoA) était un moment charnière dans le processus d'adoption. Avant la DoA, les préoccupations de l'unité décisionnelle de l'organisation sont centrées sur la décision d'adopter l'innovation et en évaluent les conséquences ; après la DoA, elle est préoccupée par ce qui peut influencer le succès de l'implémentation. Nous considérerons donc deux types de facteurs : les facteurs qui influencent la décision d'adoption (facteurs de décision) et les facteurs qui influencent le succès de l'implémentation et l'ancrage des pratiques dans l'organisation (facteurs d'implémentation) (voir **Figure 31**).

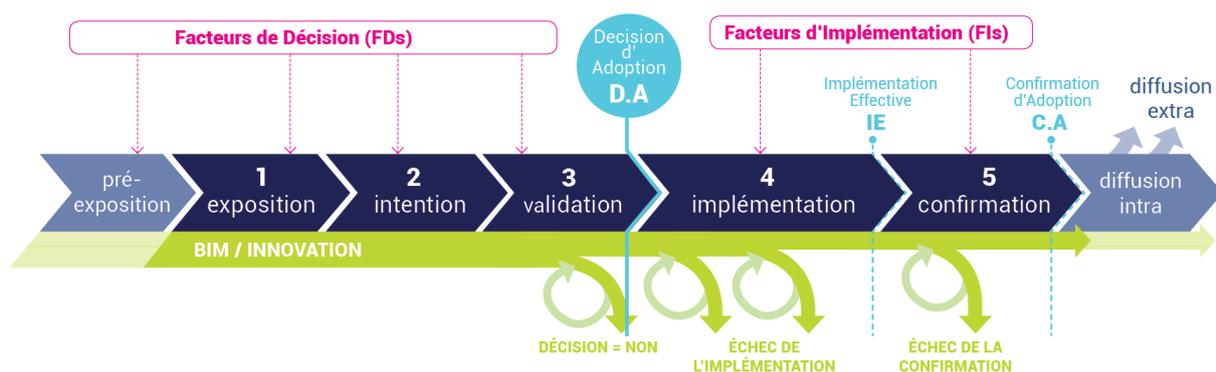


Figure 31. Processus d'adoption avec jalons, sorties du processus et positionnement des facteurs d'adoption

Dans les modèles proposés dans la littérature spécialisée sur le BIM (et dans le modèle de Rogers), les facteurs d'implémentation ne sont pas envisagés. Seuls les facteurs de décision sont traités, et ils sont généralement positionnés sur différentes phases avant la décision. Nous posons ici

l'hypothèse que les facteurs qui influencent l'exposition des acteurs à l'innovation sont aussi ceux qui influencent leur intention de l'adopter, la validation et la décision d'adoption. De manière similaire, nous supposons que les facteurs qui peuvent influencer l'implémentation, son déroulement et son succès sont également ceux qui peuvent influencer la phase de confirmation et la diffusion intraentreprise. Il est possible que ces facteurs se manifestent de façon différente d'une phase à l'autre.

4.3.5 Synthèse et perspectives / hypothèses

Notre étude de littérature sur l'adoption du BIM a montré une fragmentation des études en trois îlots très peu articulés les uns avec les autres : l'adoption du BIM qui aborde principalement la décision d'adopter des pratiques BIM, l'implémentation qui évoque les problématiques de changement organisationnel et les études sur le niveau de maturité qui évalue la maturité des pratiques BIM.

Nous avons montré la pertinence du modèle de processus d'adoption de Rogers. Ce dernier, tout comme son utilisation dans la littérature spécialisée sur le BIM porte des lacunes que nous avons tenté de combler ici en proposant un Modèle Unificateur du Processus d'Adoption du BIM. Ce modèle décrit les phases que connaissent les organisations (et leur unité décisionnelle) lorsqu'elles sont confrontées à une innovation comme le BIM et qu'elles le mettent en œuvre et permet d'articuler plusieurs échelles et champs d'étude. Le Modèle Unificateur du Processus d'Adoption du BIM s'articule en cinq phases et trois principaux jalons, entourés par un état amont et un état aval (voir Tableau 3).

Tableau 3. Synthèse et description succincte des différentes phases et jalons du processus d'adoption du BIM

<i>Nom</i>	<i>Code</i>	<i>Type</i>	<i>Organisation</i>
Pré-exposition	0	État	L'organisation n'a pas encore été exposée à l'innovation
Exposition	1	Phase	L'organisation commence à être exposée à l'innovation
Intérêt	2	Phase	Les membres de l'organisation qui sont exposés à l'innovation et/ou l'unité décisionnelle de l'organisation sont préoccupés par l'innovation et commencent à se positionner. en approfondissant leur exploration, ce qui manifeste leur intention éventuelle de la mettre en œuvre
Validation	3	Phase	L'unité décisionnelle de l'organisation évalue l'impact de la mise en œuvre de l'innovation, notamment en évaluant la balance bénéfices-coût de la mise en œuvre de l'innovation. Un projet de changement peut commencer à émerger mis il reste flou à ce stade.
Décision d'Adoption	J1	Jalon	Il s'agit du moment où la décision est prise dans l'organisation, notamment par l'unité décisionnelle, d'implémenter ou pas l'innovation.
Implémentation	4	Phase	L'organisation met en place l'innovation et la met en œuvre pour la première fois.
Implémentation effective	J2	Jalon	Lorsque l'innovation a été mise en place et testée sur au moins un projet.
Confirmation	5	Phase	L'utilisation de l'innovation persiste dans le temps et l'organisation commence à l'intégrer dans sa pratique courante.
Confirmation d'Adoption	J3	Jalon	La pertinence de l'innovation a été évaluée et son utilisation s'est stabilisée.
Diffusion	6	État	L'organisation entre dans une phase d'amélioration continue de son utilisation de l'innovation (diffusion intraentreprise). L'organisation contribue à la diffusion de l'innovation auprès des organisations voisines (diffusion interentreprises).

La nature originale du Modèle de Processus d'Adoption du BIM réside dans sa mise en relation de plusieurs travaux sur l'adoption du BIM, et l'articulation de nombreux champs d'étude. Il intègre donc des **états** de l'organisation, les **phases** et les **jalons** qu'elle traverse, mais également les **objets et degrés de préoccupation** de l'unité décisionnelle de l'organisation au cours du processus, la **nature radicale et continue du changement** qu'elle met en œuvre, la description de **l'appropriation de l'innovation** à l'échelle des membres de l'organisation, l'évolution de la **connaissance organisationnelle**, et les **sorties/gels possibles du processus**.

Le modèle proposé peut servir de cadre pour une enquête sur l'adoption et l'implémentation du BIM ; il peut également servir d'appui pour l'étude des facteurs qui influencent l'adoption du BIM.

Les facteurs qui influencent le processus d'adoption

La diffusion du BIM est souvent qualifiée de « lente », comme la plupart des innovations dans le secteur de la construction. Une partie des études qui se focalisent sur les raisons de cette lenteur consistent à identifier les facteurs qui influencent l'adoption du BIM et à quantifier leur impact. Mais, compte tenu des lacunes présentes dans la littérature sur l'adoption du BIM, les facteurs étudiés ont souvent été uniquement ceux qui influencent la décision d'adopter des pratiques BIM. Dans ce chapitre, nous proposons **un cadre pour l'étude des facteurs qui influencent l'adoption du BIM**, en cohérence avec le processus d'adoption proposé dans le chapitre précédent.

Dans un premier temps, une classification structurée de facteurs qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation est proposée. Celle-ci est basée sur l'étude de littérature relative aux innovations et n'est pas centrée sur la technologie BIM. Une synthèse des études plus spécifiques aux facteurs d'adoption du BIM est ensuite présentée, afin d'en extraire les méthodes, lacunes et résultats. Enfin, un cadre pour l'étude des facteurs qui influencent **l'adoption du BIM** est proposé.

5.1 Positionnement des facteurs d'adoption

Différents modèles de facteurs d'adoption se côtoient dans la littérature et positionnent ces derniers sur des dimensions très différentes. Nous en avons identifié quatre :

- **L'objet d'influence du facteur** (ce sur quoi il exerce son influence) :
 - **L'échelle de travail** (le point de vue adopté pour l'étude des facteurs : micro, meso, macro)
 - **L'étape du processus d'adoption** concernée par l'influence du facteur (décision d'adopter ou implémentation)
 - **La phase du cycle de vie** concernée par l'influence du facteur.
- **L'origine contextuelle ou « domaine » du facteur :**

Le facteur peut être issu de la nature ou du contexte des adoptants, des caractéristiques d'une innovation, et de la nature du changement mis en œuvre pour adopter l'innovation.

- **La nature de l'influence du facteur :**

Le facteur peut favoriser le succès ou l'échec de l'adoption et il peut exercer une influence plus ou moins forte. Ainsi, les facteurs dont on a observé une influence très forte sont parfois appelés « facteurs clés », que ce soit pour le succès ou l'échec.

5.1.1 Échelles de travail : des contextes interdépendants

L'environnement et les caractéristiques d'une organisation peuvent être particulièrement moteurs dans sa décision d'adopter une innovation⁶⁵. Trois principaux niveaux sont généralement présentés dans l'étude de l'adoption des innovations (Gruber 2020) et du BIM (Succar, BIME initiative 2009; Poirier, Staub-French, Forgues 2015a)⁶⁶ : **les marchés et industries** correspondant à **l'échelle macro**, **les équipes de projet** à **l'échelle meso** et les **organisations** à **l'échelle micro**. Chaque échelle a sa propre unité décisionnelle (voir Tableau 4 ci-dessous). L'étude des facteurs d'adoption est donc spécifique à chaque échelle.

⁶⁵ Voir partie 3.2, « Pourquoi les organisations changent et comment les individus acceptent les », p.84

⁶⁶ Ce point est introduit dans l'état de l'art en partie 2.3.1.1, « Le concept de macro-adoption », p.67.

Tableau 4. Échelles d'étude de l'adoption du BIM.

Échelle	Définition	Unité décisionnelle	Définition Facteur influençant l'adoption	Exemple d'étude de facteurs d'adoption
MACRO	Marchés et industries	Institution internationale, gouvernement, etc.	Facteurs qui influencent le niveau d'adoption du BIM des entreprises dans un pays.	(Kassem, Succar 2017)
MESO	Projets et équipes de projet	Maître d'ouvrage, chef de projet, etc.	Facteurs qui influencent la mise en œuvre de pratiques BIM dans un projet BIM donné au sein d'une équipe de projet	(Davies, McMeel, Wilkinson 2015)
MICRO	Organisation/entreprise	Dirigeant ou associés de l'organisation, directeur, manager.	Facteurs qui influencent la mise en œuvre de pratiques BIM dans une organisation	(Ahmed, Kassem 2019)

Lorsqu'il s'agit d'étudier l'adoption d'une innovation (et donc des pratiques BIM) ou d'identifier les facteurs qui l'influencent, il faut considérer l'impact des autres échelles sur celle que l'on étudie (Hannan, Freeman 1977; 1984). Les différents contextes d'adoption et d'implémentation du BIM sont en effet interdépendants (Poirier, Staub-French, Forgues 2015a) (voir **Figure 32**).

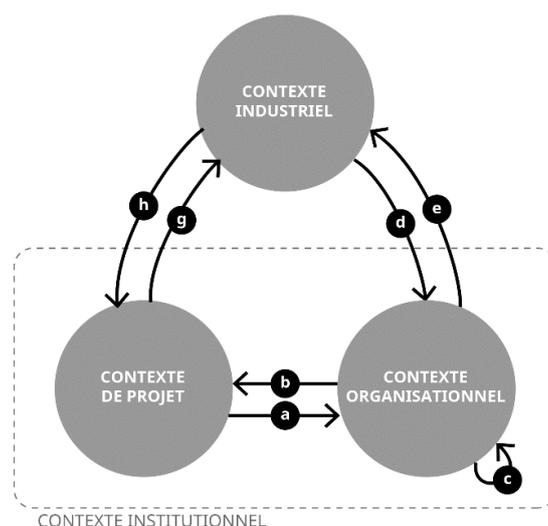


Figure 32. Interdépendance des contextes d'adoption et implémentation du BIM⁶⁷. schéma inspiré de (Poirier, Staub-French, Forgues 2015a), dans une version moins détaillée.

Dans le cas du BIM, le contexte organisationnel est influencé par **la nature et le contexte des projets** réalisés par l'organisation (a, **Figure 32**), le **contexte industriel et réglementaire** dans lequel elle s'inscrit (d, **Figure 32**) et les **composantes internes** de l'organisation (c, **Figure 32**) comme les caractéristiques de ses membres.

⁶⁷ Les influences b,e,g,h (**Figure 32**) sont ici exclues de notre champ d'étude car elles concernent l'étude de l'adoption du BIM aux échelles meso et macro.

Notre étude est positionnée sur **l'échelle micro, c'est-à-dire sur les facteurs qui influencent la décision d'adopter** d'une part **et le succès de la mise en œuvre de pratiques BIM au sein des entreprises** d'autre part.

5.1.2 Facteurs de décision et facteurs d'implémentation

Le Modèle Unifié du Processus d'Adoption du BIM a permis de différencier deux types de facteurs d'adoption : les **facteurs de décision** (qui influencent la décision d'adopter une innovation) et les **facteurs d'implémentation** (qui influencent le succès de l'implémentation). Nous avons aussi identifié les gels et sorties possibles du processus d'adoption (voir **Figure 31**. Processus d'adoption avec jalons, sorties du processus et positionnement des facteurs d'adoption, p129).

L'identification des facteurs d'adoption (décision et implémentation) consiste à identifier ce qui influence le gel ou la sortie du processus d'adoption, au cours des différentes phases du processus d'adoption précédemment identifiées.

Nous avons également identifié différents champs d'étude et théories qui permettent d'étudier les phénomènes observés, et nous les avons positionnés sur les phases du processus d'adoption qu'ils traitent (voir **Figure 26** Positionnement sur le processus d'adoption des études dans la littérature sur le BIM, et les travaux sur l'adoption des innovations., p.122).

Nous allons donc, dans cette partie, puiser dans ces différentes ressources et champs d'étude pour identifier les facteurs qui causent les sorties et gels du processus d'adoption.

5.1.3 Quatre domaines de facteurs

Un consensus a progressivement émergé dans la littérature scientifique sur les catégories de facteurs qui influencent la décision d'adopter une innovation. Ils sont classés en trois principaux domaines : **le contexte externe; le contexte interne de l'organisation, ainsi que les caractéristiques relatives à l'innovation** (Waarts, van Everdingen, van Hillegersberg 2002). Ces facteurs sont centrés sur la décision d'adopter une innovation. Ils n'intègrent donc pas les facteurs qui influencent le changement et l'implémentation.

Pourtant, l'implémentation fait partie du processus d'adoption d'une innovation et nous avons vu que seules les recherches récentes sur l'adoption intègrent la possibilité de l'échec de l'implémentation. Ces échecs sont pourtant évoqués dans la littérature sur la gestion du changement. Cette dernière a montré que les stratégies mises en œuvre pour l'implémentation et les caractéristiques du changement influencent le succès de l'implémentation. Il faut donc ajouter un quatrième domaine de facteurs aux trois précédemment identifiés : **les caractéristiques du changement.**

Pour poursuivre notre objectif de lister et catégoriser les facteurs d'adoption du BIM (décision et implémentation), nous considérerons donc les trois domaines identifiés dans la littérature sur l'adoption des innovations, et y ajoutons celui du changement.

Nous avons donc identifié les quatre domaines suivant ⁶⁸ :

- **Les caractéristiques du contexte externe de l'organisation :**

- Elles correspondent à l'état du marché et à des normes formelles ou non formelles qui peuvent influencer l'organisation dans sa décision d'adoption ou dans le déroulement de l'implémentation de l'innovation.

- **Les caractéristiques du contexte interne :**

Il s'agit de l'ensemble des composantes de l'organisation, incluant l'histoire de l'organisation, sa structure organisationnelle et les caractéristiques des membres qui la composent.

- **Les caractéristiques de l'innovation adoptée**

Il s'agit des caractéristiques objectives et perçues de l'innovation par les membres de l'organisation, ainsi qu'à sa présence et accessibilité sur le marché.

- **Les caractéristiques du changement mis en œuvre :**

Il s'agit des actions entreprises dans l'organisation pour adopter l'innovation, ainsi qu'aux réactions qu'elles engendrent.

Ce quatrième domaine de facteurs que nous ajoutons va donc à l'encontre des recherches récentes sur l'adoption des innovations dans les organisations. Dans les exemples récents d'étude des facteurs qui influencent l'adoption de certaines innovations (de produit, de procédé, ou autre), ce sont toujours les trois premiers domaines de facteurs qui sont considérés dans l'étude des facteurs d'adoption, et ce, quel que soit le champ d'étude observé. Par exemple sur les applications mobiles pour le suivi des patients (Ngongo et al. 2019; Ramdani, Duan, Berrou 2020), l'adoption de pratiques d'agriculture durable chez les agriculteurs (Foguesatto, Borges, Machado 2020), l'adoption du *cloud-computing* dans les organisations (Sadoughi, Ali, Erfannia 2020), ou encore l'intégration de certains programmes pédagogiques innovants dans les universités (Wang, Chiou 2020). Systématiquement, l'adoption est principalement évoquée comme la décision d'adopter, et les facteurs de décision considérés (alors appelés « facteurs d'adoption ») sont d'ordre **environnementaux** (externe), **organisationnels** (internes), et liés à **l'innovation** elle-

⁶⁸ Nous avons par ailleurs classé les différentes références identifiées dans l'état de l'art dans ces quatre catégories (voir Tableau 37, « Classement des références présentées dans l'état de l'art pour l'étude des facteurs d'adoption », Annexe 1, p.379).

même (innovation). Il arrive que des facteurs liés au changement soient traités : ils sont alors classés dans la catégorie « internes à l'organisation ».

5.1.3.1 Pourquoi le domaine de facteurs d'adoption « changement » est-il absent des études ?

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles aucune étude ne classe les facteurs d'adoption liés au changement dans un domaine de facteur dédié.

Premièrement, le terme d'adoption a historiquement été très associé à la **décision** d'adopter, ce qui a eu pour conséquence de minimiser/inhiber l'intégration des événements et facteurs qui ont lieu au cours de l'implémentation pendant le processus d'adoption. Or la notion de changement intervient précisément au cours de cette période. Il faut noter également que le domaine de la gestion du changement s'est développé après que les premiers modèles d'adoption et de facteurs d'adoption ne se soient développés : il est possible que la réutilisation de ces modèles sans l'intégration de nouveaux champs les aient fait perdurer tels qu'ils ont été présentés dans les travaux séminaux. Les travaux sur la gestion du changement ont par ailleurs montré qu'indépendamment du contexte externe d'une organisation, de son contexte interne et des caractéristiques d'une innovation, la manière dont elle met en œuvre le changement (ou dont les individus s'y projettent) a un impact à la fois sur la décision d'adopter et sur le succès de l'implémentation.

Deuxièmement, on peut noter que les catégories de facteurs « contexte externe », « contexte interne » et « caractéristiques de l'innovation » sont plus tangibles et plus facilement observables que le changement, qui est une notion particulièrement complexe, abstraite et impalpable.

Troisièmement, l'étude des facteurs d'adoption est généralement positionnée implicitement à l'échelle macro ou, dans tous les cas, d'un point de vue externe à l'organisation. Ce positionnement (externe à l'organisation) peut inciter à intégrer ce qui se passe à l'intérieur de l'organisation (comme le changement) dans la catégorie « contexte interne » de l'organisation. En revanche, lorsque l'on étudie les facteurs d'adoption du point de vue de l'organisation (et non plus d'un regard extérieur), on est tenté d'étudier deux questions différentes : « qu'est-ce qui explique le fait que l'organisation ait **décidé** de mettre en œuvre l'innovation ? » et « qu'est-ce qui explique le fait qu'elle **l'ait réellement mis en œuvre (qu'elle ait souhaité continuer à la mettre en œuvre / qu'elle ait réussi à la mettre en œuvre) ? »**. Le modèle d'adoption cumulée de Robertson (1967)⁶⁹ montrait d'ailleurs déjà un « écart d'assimilation » entre les adoptants qui ont acheté ou décidé d'adopter une innovation et ceux qui l'ont réellement mis en œuvre. Du point de

⁶⁹ Voir **Figure 18** « Écart d'assimilation d'une innovation. Schéma réalisé à partir des travaux de (Robertson 1967) », p.81.

vue de l'organisation, la réponse à la question « qu'est-ce qui fait qu'une organisation ait réellement mis en œuvre / réussi à mettre en œuvre une innovation ? » implique nécessairement l'intervention d'un changement qui est vécu plutôt externe à l'organisation (en particulier lorsqu'il n'a pas encore eu lieu). C'est donc probablement le fait que l'étude des facteurs d'adoption soit très peu positionnée à l'échelle de l'organisation (échelle micro) qui fait que ce quatrième domaine de facteur ne soit pas étudié à part.

Enfin, il faut noter que le domaine de facteurs « changement » n'est jamais exclu des études explicitement. Il ne s'agit donc pas d'un choix délibéré qui n'est donc pas appuyé par une série d'arguments. Il pourrait donc simplement s'agir d'une lacune ou d'un oubli.

Parmi ces quatre raisons évoquées pour lesquelles le domaine de facteurs « changement » n'est pas identifié comme un domaine de facteurs, il n'y en a aucune qui est une raison valable pour ne pas explorer cette piste. Il semble d'ailleurs que le classement des facteurs en trois domaines et non quatre soit plus issu des travaux séminaux (qui assimilent décision et adoption) ainsi que d'un positionnement externe à l'organisation que d'un réel positionnement étayé.

5.1.3.2 *En quoi l'absence de ce quatrième domaine de facteurs est-elle problématique ?*

Premièrement, l'exclusion de ce domaine de facteurs ne semble pas être un choix et est plutôt la résultante d'un positionnement ou d'une possible lacune.

Deuxièmement, le fait que le changement ne soit pas un domaine de facteurs étudié alors qu'il s'impose aux organisations comme leur étant externe semble problématique pour identifier les leviers qu'une organisation a à sa disposition pour maîtriser l'implémentation. L'intégration des facteurs liés au changement dans le domaine du contexte interne de l'organisation donne une vision très déterministe de l'organisation. Pourtant, à caractéristiques internes équivalentes, deux organisations qui mettent en œuvre un changement différemment peuvent obtenir des résultats différents dans la pérennité de l'utilisation de cette innovation.

Troisièmement, le fait que le changement ne soit pas un domaine de facteur en soi fait qu'il échappe à toute tentative de classification des facteurs qui lui sont associés. Cela augmente la possibilité d'oublier ou de ne pas traiter certains facteurs.

Quatrièmement, certains facteurs comme la durée de l'implémentation ou encore la proportion de l'organisation concernée par le changement sont des facteurs qui sont difficilement imputables uniquement au contexte interne de l'organisation. Ils peuvent tout à fait en dépendre, comme ils peuvent dépendre également du contexte externe de l'organisation ou des caractéristiques de l'innovation : c'est le propre des facteurs, ils sont interdépendants, et cette interdépendance ne signifie pas qu'ils ne sont pas distinguables.

Cinquièmement, la réflexion qui consiste à classer les caractéristiques du changement dans le contexte interne de l'organisation parce que le changement se manifeste à l'intérieur de l'organisation n'est pas cohérente. En effet, certaines caractéristiques des innovations comme la perception d'utilité d'une innovation, ou la perception de facilité d'utilisation sont des facteurs d'adoption qui se manifestent au sein des organisations (car ils sont dépendants des individus). Malgré leur manifestation interne à l'organisation, ils bénéficient d'un domaine de facteur à part et sont intégrés aux « caractéristiques de l'innovation ». Les caractéristiques du changement ne peuvent donc pas être incluses au contexte interne de l'organisation pour la raison que le changement se manifeste en interne de l'organisation.

Pour toutes ces raisons, et parce que nous positionnons notre étude à l'échelle micro (échelle de l'organisation), nous proposons de traiter le changement comme étant un domaine de facteur en soi. Il n'est ni l'innovation, ni l'organisation, ni son environnement externe même s'il dépend de ces trois domaines de facteurs.

Voici un exemple de cette distinction : la décision d'adopter une technologie dépend de la facilité d'utilisation de cette technologie⁷⁰ (qui est une caractéristique de la technologie). Mais on peut tout à fait (théoriquement au moins) trouver une technologie facile à utiliser, mais difficile à mettre en place : **ce n'est alors pas la technologie que l'on évalue (ou la perception que l'on a de la technologie), mais la perception que l'on a du changement organisationnel nécessaire à la mise en place de la technologie.** Sur les facteurs d'implémentation (qui sont généralement absents de la littérature sur l'adoption du BIM), le domaine de facteur « changement » devient encore plus évident : si l'on ne réalise pas de formation, pas de planning de transition, que le manager n'explique pas pourquoi la technologie est utile pour l'organisation et si le dirigeant ne communique aucune vision du changement, alors le changement aura beaucoup moins de chances de réussir, sans que cela soit dû à l'innovation, aux caractéristiques de l'organisation ou aux caractéristiques de son contexte externe.

5.1.4 La nature positive ou négative de l'influence des facteurs

Un « facteur d'influence » est un élément contextuel qui influence la survenance d'un événement. La dénomination « facteur » est neutre et ne précise pas si cette influence est positive ou négative sur l'événement étudié. Toutefois, les facteurs sont parfois nommés d'après la nature de leur impact, **positif** (« moteur », « force propulsive ») ou **négatif** (« inhibiteur », « obstacle », « forces restrictives »). On sait alors qu'un « inhibiteur » a un impact négatif sur l'événement étudié.

⁷⁰ D'après les modèles de l'acceptation des technologies (TAM3) (Venkatesh, Bala 2008).

Lewin (1947) considère par exemple que c'est le déséquilibre entre des **forces restrictives** (coût du changement, résistance au changement) et des **forces propulsives** (environnement extérieur et volonté de survie de l'organisation) qui déclenche la décision d'initier un changement.

Ne pas définir la nature de l'influence des facteurs *a priori* d'une enquête et les étudier dans leur forme neutre (ou dans les formes positives et négatives) **peut permettre d'éviter certaines erreurs ou certains biais**. Dans une enquête par questionnaire par exemple, poser la question « pensez-vous que les outils BIM sont **difficiles** à utiliser ? » ne va pas nécessairement donner des résultats symétriques à la question « pensez-vous que les outils BIM sont **faciles** à utiliser ? ». Dès les années 1940, des travaux en sociologie ont montré que les résultats des enquêtes étaient sensibles à la tonalité des mots utilisés et ils ont mis en évidence l'asymétrie des résultats à ce type d'étude (De Singly 2016; Rugg 1941).

L'analyse des **inhibiteurs** d'un événement (en formulant les questions connotées négativement) peut donc donner des résultats différents de l'analyse des **moteurs** d'un événement. Il est peut-être nécessaire d'étudier les facteurs dans leur formulation neutre (ou dans les formulations positive et négative⁷¹) pour être en mesure de tirer des conclusions. On statuera alors sur la nature inhibitrice ou motrice du facteur *a posteriori* de l'analyse des résultats de l'enquête réalisée. Ainsi, **d'après les résultats de l'analyse réalisée**, on nommera les facteurs qui ont un impact positif sur la survenance de l'événement des « moteurs » et on appellera ceux qui ont un impact négatif sur la survenance de l'événement des « inhibiteurs ».

Dans la partie suivante, nous référençons les facteurs qui influencent l'adoption d'une innovation. Nous les proposerons dans leur tonalité neutre dans la proposition de taxonomie de facteurs.

⁷¹ Note au lecteur : dans l'enquête par questionnaire que nous avons réalisée, nous avons testé les facteurs dans leur tonalité positive et négative. Les résultats montrent en effet une différence nette d'impact observé. Voir **Figure 77** et **Figure 79**, en partie 7.4.2, p.218

5.2 Les facteurs qui influencent le processus d'adoption d'une innovation dans une organisation

Dans cette section, nous proposons une synthèse des facteurs qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation (sans référence particulière au BIM). L'étude est ici centrée sur l'échelle micro, et intègre à la fois les facteurs de décision et d'implémentation.

5.2.1 Pourquoi une organisation décide d'utiliser une innovation : les facteurs de décision

Les facteurs de décision sont des éléments contextuels qui impactent la décision de mettre en œuvre une innovation dans une organisation. Les facteurs de décision concernent généralement l'unité décisionnelle de l'organisation, qui est seule à pouvoir engager par exemple des frais ou à prendre une décision sur l'orientation stratégique de l'organisation.

5.2.1.1 Les caractéristiques de l'innovation

Les caractéristiques d'une innovation qui peuvent intervenir dans la décision d'adoption peuvent lui être **intrinsèques** ou concerner la **perception** que les individus ont de cette innovation (voir Tableau 5). Ces dernières dépendent elles-mêmes de plusieurs éléments issus du contexte interne et externe à l'organisation comme l'appétence des membres de l'organisation pour les innovations ou encore les informations disponibles au sujet de l'innovation.

Tableau 5. Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs de **décision : caractéristiques de l'innovation**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Perception de l'innovation	Utilité perçue	Utilité de l'innovation perçue <i>a priori</i> (avant l'implémentation)	b, c, f
	Perception de facilité d'utilisation	Difficulté perçue par des individus à comprendre et utiliser une innovation.	a, b, c
	Avantage relatif	Avantage (subjectif) que l'adoption de l'innovation donne à un acteur par rapport aux autres.	a, b
	Compatibilité	Degré de compatibilité de l'innovation avec les valeurs existantes de l'adoptant et de ses expériences passées ainsi que la compatibilité aux normes du système social auquel appartient l'adoptant.	a, c, e
Propriétés intrinsèques de l'innovation	Observabilité	Degré de visibilité des résultats que produit une innovation au sein d'une population donnée.	a, b, d
	Disponibilité	Facilité d'accès à l'innovation, comme la possibilité de trouver des vendeurs, et la possibilité de tester l'innovation.	a
	Caractéristiques économiques	Coût de la mise en œuvre et du maintien de l'innovation	c
	Caractéristiques techniques	Caractéristiques techniques de l'innovation comme sa maturité, sa fiabilité et son ergonomie	a, b, c, f, g

a : Théorie de la diffusion des innovations (Rogers 2003), b : Théorie de l'acceptation des innovations et variantes, (Venkatesh, Thong, Xu 2012) et (Venkatesh, Bala 2008) c : Théorie de l'utilisateur fainéant (Collan, Tétard 2011), d : Écologie des populations d'organisations (Hannan, Freeman 1977; 1984), e : (Fishbein, Ajzen 2011), f : (Davis 1989), g : (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992)

Les caractéristiques d'une innovation qui jouent un rôle important dans la rapidité de sa diffusion ont été étudiées par Rogers dès 1962. Il a considéré plusieurs attributs des innovations, dont

certains se recoupent avec ceux étudiés par les modèles comportementalistes d'acceptation des innovations sous d'autres dénominations.

La **perception d'utilité**, la perception de complexité ou de **facilité d'utilisation**, l'**avantage relatif** (économique, prestige social) de l'innovation, et la **compatibilité** de l'innovation avec les pratiques établies sont les principales caractéristiques subjectives des innovations évoquées notamment dans les théories comportementalistes. Les adoptants évaluent l'effort à fournir pour utiliser et mettre en œuvre une innovation. La **compatibilité entre l'innovation et la structure de l'organisation** est donc un facteur important, qui impacte la perception du changement et donc la décision d'adopter, car les individus ont tendance à privilégier les solutions qui leur demandent le moindre effort (Tétard, Collan 2009).

Parmi les propriétés intrinsèques de l'innovation, certaines sont évaluées par l'unité décisionnelle de l'organisation, comme les **caractéristiques économiques** et **techniques**. D'autres propriétés en revanche impactent directement leur accès aux informations qui permettent de décider, comme l'**observabilité** et la **disponibilité** de l'innovation.

5.2.1.2 Le contexte interne

Chaque organisation intègre plusieurs composantes qui peuvent impacter la décision d'adopter une innovation. Du plus collectif au plus individuel, ces composantes correspondent à la **culture** au sein de l'organisation, aux **interactions** entre individus et entre organisations, aux **systèmes** mis en œuvre ainsi qu'aux **individus** qui la composent (Tableau 6).

Tableau 6. Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs de **décision : caractéristiques internes de l'organisation**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Culture	Stratégie, valeurs	Taille d'entreprise, stratégie économique, valeurs partagées	b, c, d, j
	Efficacité	Culture de l'efficacité et de l'amélioration des processus	a, d, j
	Innovation	Culture de l'innovation, stratégie, habitude d'intégration d'innovations.	a, d, j
Interactions	Projets	Type de production effectuée, types de clients	b, c, d, j
	Partenaires	Partenaires de travail, notamment extérieurs à l'organisation. Ces derniers dépendent du positionnement stratégique et de la culture, des valeurs de l'organisation	b, d, e, j.
	Distribution du pouvoir	Fonctionnement hiérarchique, relations hiérarchiques au sein de l'organisation, modes de décision	d, f, j
Systèmes	Collaboration	Répartition des tâches, collaboration (et modes de communication) interne et avec des partenaires externes	a, d, f, j
	Processus	Processus de travail mis en œuvre au sein de l'organisation et avec les partenaires	c, d, j
	Matériel	Matériel disponible et utilisé par l'organisation (serveurs informatiques, ordinateurs, autre)	c, d, j
Individus	Logiciels	Logiciels utilisés dans l'organisation	c, d, j
	Décideurs	Profil des dirigeants (expérience, attrait pour l'innovation, etc.)	a, g, i
	Employés	Profil des individus (expérience, position dans l'entreprise, attrait pour l'innovation, etc.)	g, h, i

a : Théorie de la diffusion des innovations (Rogers 2003), b : écologie des populations d'organisations (Hannan, Freeman 1984), c : Lock-in et dépendance au sentier (Liebowitz, Margolis 1995; Arthur 1989), d : (Lewin 1947; Greenwood, Hinings 1988), e : Théorie néo-institutionnelle (DiMaggio, Powell 2000), f : routines défensives (Argyris 1994), g : approche bottom-up (Lupton 1991; Smeds,

Haho, Alvesalo 2003), h : démarche inductive ou déductive (Mintzberg, Westley 1992), i : Théorie de l'acceptation des innovations et variantes (Venkatesh, Bala 2008; Fishbein 1979; Fishbein, Ajzen 2011; Ajzen 1991; Madden, Ellen, Ajzen 1992; Davis 1989), j : (Woodward 1980; Burns, Stalker 1981)

Toutes les organisations (et tous les adoptants) n'ont pas la même capacité d'innovation. Ces deux éléments font partie de la **culture** et des valeurs de l'entreprise qui influencent la décision d'adopter une innovation (Rogers 2003). L'histoire de l'organisation, ses stratégies, projets, investissements, systèmes, et politiques passés (Hannan, Freeman 1977; 1984) forment une trajectoire d'entreprise de laquelle il peut être difficile de s'éloigner. Donc la trajectoire passée de l'organisation peut être plus ou moins cohérente par rapport aux caractéristiques de l'innovation et peut peser dans la décision d'adopter l'innovation, en la favorisant ou en l'inhibant. Il s'agit des phénomènes de *lock-in* et dépendance au sentier (Liebowitz, Margolis 1995; Arthur 1989).

L'inadéquation entre la structure organisationnelle (fonctionnement hiérarchique, matériel, etc.) et les nouvelles valeurs associées au changement et à l'innovation rendent plus difficiles la décision d'adopter l'innovation (Lewin 1947; Greenwood, Hinings 1988). L'organisation des **interactions** internes peut également impacter la communication entre le niveau opérationnel et stratégique et impacter la décision d'adopter l'innovation. L'organisation est également influencée la nature et les caractéristiques de ses clients (DiMaggio, Powell 2000).

Les **individus** présents dans l'organisation, ainsi que leurs expériences, personnalités, croyances, et leur position dans l'entreprise peuvent jouer un rôle dans la décision d'adoption. Par exemple, des collaborateurs proactifs peuvent être moteurs en suggérant des évolutions à la direction (Lupton 1991; Smeds, Haho, Alvesalo 2003; Mintzberg, Westley 1992). Les théories et modèles d'acceptation des innovations ⁷² décrivent les caractéristiques personnelles des individus qui peuvent influencer leur acceptation des technologies et donc leur décision de les mettre en œuvre (Venkatesh, Bala 2008; Fishbein 1979; Fishbein, Ajzen 2011; Ajzen 1991; Madden, Ellen, Ajzen 1992; Davis 1989). D'après ces modèles comportementalistes, l'expérience, le poste, ou encore la personnalité des individus impactent leur perception d'utilité et difficulté de mise en œuvre d'une technologie. Cela impacte alors la décision d'adopter la technologie, qu'ils soient dans l'unité décisionnelle ou non.

5.2.1.3 Le contexte externe

L'impact du contexte externe d'une organisation dans sa décision d'adopter une innovation a été mis en évidence précédemment ⁷³. Celle-ci peut être influencée par les organisations ou institutions qui entourent de façon assez forte (**contexte directif**), mais son unité décisionnelle

⁷² Voir partie 3.2.2.3, « Vecteurs de changement et acceptation des technologies » p.87

⁷³ Voir parties 3.3.2.1 « Freins et échecs du changement » p.94 et 3.3.2.2 « Le processus de changement chez les individus » p.96

peut également spontanément décider de calquer son fonctionnement et l'adoption d'une innovation sur la simple observation d'autres organisations (**contexte analysé**) (voir Tableau 7).

Tableau 7. Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs de décision : contexte externe de l'organisation**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Contexte directif	Isomorphisme coercitif	Pressions formelles et informelles subies par une organisation de la part d'autres organisations.	a, b
	Pressions normatives	Vecteurs de normes qui uniformisent les pratiques au sein d'une profession donnée.	a, b
Contexte analysé	Processus mimétiques	Tendance qu'ont les organisations à se façonner sur ce qu'elles observent chez leurs semblables.	a, b

a : Théorie néo-institutionnelle (DiMaggio, Powell 1983; 2000), b : Écologie des populations d'organisations (Hannan, Freeman 1977)

Les **pressions coercitives** correspondent à une contrainte formelle (règlementation, fiscalité, exigences des clients) ou informelle (concurrence, exigences culturelles) sur l'organisation. Les **pressions normatives** correspondent aux normes véhiculées par des vecteurs de normes qui peuvent influencer les organisations. Celles-ci peuvent apporter aux organisations des guides qui facilitent l'adoption, tout autant qu'elles peuvent être source de blocages ou entretenir des dépendances au sentier. Enfin, par **mimétisme**, les organisations peuvent se façonner et adopter une innovation sur la base de leur observation des organisations qui lui sont semblables. Le mimétisme est observé dans des contextes économiques incertains.

5.2.1.4 Les caractéristiques du changement

Les caractéristiques du changement à effectuer pour implémenter une innovation, ainsi que la perception qu'un individu en a impacte sa volonté de le mettre en œuvre. Les travaux en gestion du changement ont d'ailleurs montré que des objectifs de changement trop élevés étaient liés à un découragement (Kotter 2015). La perception que l'unité décisionnelle a du changement est donc déterminante dans sa décision.

Mais la littérature scientifique n'évoque pas les facteurs d'adoption dans ces termes et ne traite pas la question du changement comme facteur de décision⁷⁴. Dans la partie 5.1.3, (« Quatre domaines de facteurs », p.135), nous démontrons en quoi cette lacune est problématique et en quoi malgré l'absence de cette thématique dans la littérature l'intégration du changement comme objet d'étude pour les facteurs de décision est pertinente.

Nous ne pouvons ici donc pas proposer de tableau de référence pour les facteurs liés au changement qui influencent la décision à adopter une innovation. Nous nous appuyons sur le

⁷⁴ Dans la partie 5.1.3, « Quatre domaines de facteurs », p.134, nous démontrons en quoi cette lacune est problématique et en quoi le modèle que nous proposons ici permet de remédier à certaines des lacunes que nous avons observées.

tableau des facteurs de changement qui influencent l'implémentation (voir Tableau 11, « Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs d'implémentation : caractéristiques du changement** », p.149).

5.2.1.5 Interaction entre les différents domaines de facteurs de décision (avant la DoA)

Nous avons donc extrait quatre domaines de facteurs qui peuvent influencer la décision d'adopter une innovation. Les facteurs intégrés dans ces différents domaines peuvent s'influencer entre eux avant d'influencer la décision (voir **Figure 33**). Leurs connexions et relations sont multiples, ce qui rend leur étude et l'identification des facteurs qui influencent la décision d'adopter l'innovation particulièrement difficile en pratique.

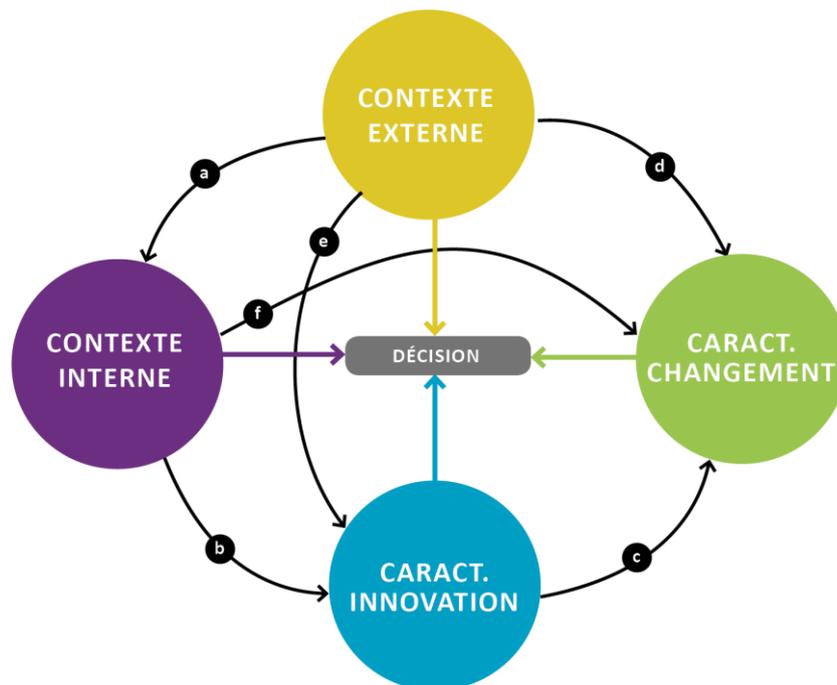


Figure 33. Représentation des multiples influences possibles entre les différentes catégories de facteurs d'adoption.
En couleur : les influences directes des facteurs sur la décision d'adopter. *En noir* : les influences indirectes.

Voici quelques exemples d'influences indirectes des facteurs identifiés sur la décision d'adopter d'une innovation (ils sont issus de l'étude de littérature des influences entre catégories de facteurs) :

- a. Des pressions concurrentielles ont par le passé influencé le contexte interne de l'entreprise, les projets sur lesquels elle travaille
- b. Le contexte interne de l'entreprise, les valeurs qui y sont partagées, ainsi que les expériences des individus qui la composent influencent la manière dont l'innovation est perçue
- c. Les caractéristiques de l'innovation influencent la manière dont on va l'implémenter ; l'appréciation que les membres de l'organisation ont de l'innovation influence également la manière dont le changement va être reçu et organisé
- d. Des associations d'industriels ou des institutions ont pu produire une documentation utile à la constitution d'une stratégie d'implémentation pour l'organisation.

- e. Le contexte externe, les besoins du marché ont influencé l'innovation que l'organisation va implémenter. Elle est censée répondre à un besoin partagé dans le secteur.
- f. Le fonctionnement interne de l'organisation, ainsi que les caractéristiques des membres qui la composent influencent les stratégies d'implémentation qui vont être mises en œuvre

5.2.2 Facteurs d'implémentation : ce qui influence le succès de l'implémentation

Les facteurs d'implémentation correspondent aux éléments qui peuvent impacter le succès ou l'échec de l'implémentation et l'ancrage des pratiques sur le long terme.

5.2.2.1 Les caractéristiques de l'innovation

Les caractéristiques de l'innovation ainsi que la perception que les adoptants en ont peuvent tout à fait influencer l'implémentation et l'utilisation de cette innovation sur le long terme (Tableau 8). Le tableau a la même structure que le tableau sur les facteurs de décision concernant les caractéristiques de l'innovation,⁷⁵ mais les éléments présentés dans la colonne « définition du type de facteur » ainsi que les références utilisées pour les décrire diffèrent.

Tableau 8. Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs d'implémentation : caractéristiques de l'innovation

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Perception de l'innovation	Utilité perçue	Perception d'utilité de l'innovation au cours de l'implémentation	a, b, g
	Perception de facilité d'utilisation	Perception de facilité d'utilisation au cours de l'implémentation.	a, b, e, g, h
	Avantage relatif	Perception de l'avantage que peut offrir l'innovation à l'organisation. Cette perception s'affine au cours de l'implémentation.	a, e
	Compatibilité	Compatibilité perçue de l'innovation par rapport aux pratiques et valeurs de l'organisation. Cette perception s'affine au cours de l'implémentation.	a, f
Propriétés intrinsèques de l'innovation	Observabilité	Capacité à percevoir les effets (positifs et négatifs) de l'innovation au cours de la mise en œuvre	c, e
	Disponibilité	Disponibilité de support et d'aide au sujet de l'innovation	c
	Aspects économiques	Impact économique de l'implémentation sur l'organisation	c
	Aspects techniques	Caractéristiques techniques de l'innovation	a, c, d, i

a : Théorie de l'essai (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992), b : (Kotter, Schlesinger 1989), c : (Klein, Sorra 1996), d : (Cerveny, Sanders 1986), e : Diffusion des Innovations : (Rogers 2003), f : (Fishbein, Ajzen 2011), g : (Davis 1989), (Venkatesh, Thong, Xu 2012), (Venkatesh, Bala 2008), h : (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992), i : (Venkatesh, Bala 2008)

La **perception que les individus ont de l'innovation** évolue au cours de l'implémentation et de l'ancrage (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992). Ainsi, ils découvrent de nouveaux usages utiles ou au contraire acquièrent la conviction que l'innovation ne sera finalement pas aussi **utile, facile à utiliser, avantageuse** et **compatible avec les pratiques** que prévu. Cette perception influence leur motivation à les mettre en œuvre, et, par conséquent, le succès de l'implémentation (Kotter, Schlesinger 1989).

⁷⁵ Voir Tableau 5, « Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs de **décision : caractéristiques de l'innovation** », p.141

Au cours de l'implémentation, les adoptants peuvent être confrontés à des **problèmes techniques**, à une complexité apparente due à une mauvaise ergonomie (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992), un manque d'assistance sur l'innovation (**disponibilité** et **observabilité**), ou à retour sur investissement trop faible (**aspects économiques**). L'ancrage de l'innovation dans les pratiques peut également être impacté par les caractéristiques économiques de l'innovation, comme le cas d'un logiciel vendu en abonnement mensuel qui augmenterait dans le temps.

5.2.2.2 Le contexte interne

Toutes les composantes de l'organisation (**culture, interactions, systèmes, individus**) peuvent avoir un impact sur le déroulement de l'implémentation d'une innovation (Tableau 9). Ce tableau est présenté de la même manière que le Tableau 6 (« Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs de **décision : caractéristiques internes de l'organisation** » p.142), mais son contenu diffère, car il concerne ici les facteurs d'implémentation. La définition du type de facteur ainsi que les références associées sont différentes.

Tableau 9. Synthèse de l'état de l'art sur les facteurs **d'implémentation : caractéristiques internes de l'organisation**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Culture	Stratégie, valeurs	Taille d'entreprise, stratégie économique, valeurs partagées	c, d, e, g, i
	Efficacité	Culture de l'efficacité et de l'amélioration des processus	c, d, e, g, h, i
	Innovation	Culture de l'innovation, stratégie, habitude d'intégration d'innovations.	c, d, e, g, i
Interactions	Projets	Type de production, types de clients	c, d, e, f, g, i
	Partenaires	Partenaires de travail, notamment extérieurs à l'organisation. Ces derniers dépendent du positionnement stratégique et de la culture, des valeurs de l'organisation	b, c, d, e, f, i
	Distribution du pouvoir	Fonctionnement hiérarchique, relations hiérarchiques au sein de l'organisation, modes de décision	b, c, d, e, i, j, k
Systèmes	Collaboration	Répartition des tâches, collaboration interne et avec des partenaires externes, relation des individus entre eux	b, d, e, f, i
	Processus	Processus de travail mis en œuvre au sein de l'organisation et avec les partenaires	b, d, e, f, i, k
	Matériel	Matériel disponible et utilisé par l'organisation (serveurs informatiques, ordinateurs, autre)	b, d, e, i, k
Individus	Logiciels	Logiciels utilisés dans l'organisation	b, d, e, i, k
	Décideurs	Profil des dirigeants (expérience, attrait pour l'innovation, etc.)	a, i, k
	Individus	Profil des individus (expérience, position dans l'entreprise, attrait pour l'innovation, etc.)	a, i, k

a : Théorie de l'essai (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992), b : (Greenwood, Hinings 1988), c : (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014; Greenwood, Hinings 1988), d : (Hannan, Freeman 1977), e : dépendance au sentier (Arthur 1989; Liebowitz, Margolis 1995; Burgelman 2002), f : (Pettigrew 2012), g : (Sainsaulieu, Segrestin, 1986), h : (Burgelman, Mittman, 1994), i : (Mintzberg, Westley, 1992), j : (Argyris 1994), k : (Cervený, Sanders 1986).

Un changement profond peut amener des incohérences avec le schéma interprétatif des individus et sera difficile à mettre en œuvre (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014; Greenwood, Hinings 1988). Il sera difficile pour eux de se détacher de leurs habitudes, des **systèmes** qu'ils utilisent depuis longtemps. Ces inerties organisationnelles (Hannan, Freeman 1977) ou dépendance au sentier (Arthur 1989; Liebowitz, Margolis 1995; Burgelman 2002) peuvent causer

de nombreuses résistances pendant l'implémentation et peuvent être source d'échec de l'implémentation.

La situation interne à l'organisation comme les relations humaines, les modes de communication ainsi que le management va impacter les réactions des individus pendant le changement. Si dans certains cas une bonne communication facilite l'implémentation, des difficultés sur ce point peuvent au contraire favoriser les routines défensives inhibitrices de changement (Argyris 1994).

Au cours de l'implémentation, la réaction que les **individus** ont face aux succès, échecs et aux changements impactera très fortement l'implémentation et son déroulement (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992; Ginzberg 1981). Les compétences des individus, leur plaisir à découvrir des innovations, impacteront leurs réactions face aux changements dans l'organisation (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992).

5.2.2.3 Le contexte externe

L'impact du contexte externe a plutôt été étudié dans la manière dont il intervient sur la décision d'adopter une innovation ⁷⁶. Cependant, ce contexte peut tout à fait continuer à impacter l'organisation au cours de l'implémentation (Tableau 10). Ce tableau est structuré de la même manière que le Tableau 7 (« Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs de décision : contexte externe de l'organisation** », p.144), mais son contenu notamment dans la colonne définition du type de facteur » et les références associées sont différentes. Le tableau concerne ici les éléments issus du contexte externe de l'organisation qui influencent l'implémentation.

Tableau 10. Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs d'implémentation : contexte externe de l'organisation**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Contexte directif	Isomorphisme coercitif	Pressions formelles et informelles subies par une organisation de la part d'autres organisations.	b, c, d, e
	Pressions normatives	Vecteurs de normes qui uniformisent les pratiques au sein d'une profession donnée.	a, d, e
Contexte analysé	Processus mimétiques	Tendance qu'ont les organisations à observer la manière dont leurs semblables mettent en œuvre le changement pour construire leur propre stratégie.	b, e

a : (Sainsaulieu, Segrestin 1986), b : (Hannan, Freeman 1984), c : (Argyris, Schön 1978), d : (Nonaka 1994), e : (Pettigrew 2012)

Les **pressions coercitives**, comme les demandes des clients ou l'évolution de la réglementation affectent les objectifs de l'implémentation, notamment dans ses délais. Les **pressions normatives** et vecteurs de normes apportent des documents supports qui sont susceptibles d'impacter la facilité ou difficulté de l'implémentation. Enfin, les **processus mimétiques** que les organisations mettent en œuvre leur permettent de se rassurer et en calquant leurs stratégies d'implémentation sur leurs voisines.

⁷⁶ Voir partie 3.2 « Pourquoi les organisations changent », p.84

5.2.2.4 Les caractéristiques du changement

Trois principales caractéristiques du changement interviennent dans le succès ou l'échec de sa mise en œuvre : les **dimensions du changement**, les **solutions déployées** pour le mettre en œuvre, et **l'intérêt et l'implication des individus** (Tableau 11).

Tableau 11. Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs d'implémentation : caractéristiques du changement**

<i>Catégorie</i>	<i>Type de facteur</i>	<i>Définition du type de facteur</i>	<i>Références</i>
Dimensions	Profondeur	Nombre de couches de l'organisation impactées par le changement.	a, d, g, j
	Étendue	Nombre d'individus ou de départements concernés par le changement au sein de l'organisation	a, g
	Rythme	Rapidité ou lenteur avec laquelle le changement doit être mis en œuvre	a, g, j
Solutions déployées	Agent de changement	Personne ou groupe en charge de la mise en œuvre du changement, sur le plan opérationnel et stratégique	b, c, j, k, l
	Management et stratégie	Stratégie mise en œuvre pour le changement (communication, formation, planification)	a, b, c, d, f, g, j, k, l, m
	Projet pilote	Caractéristiques du projet ou des conditions de première mise en œuvre de l'innovation. Capacité à avoir un retour sur un essai de mise en œuvre.	a, h
	Métriques et indicateurs de performances	Indicateurs mis en place pour vérifier la bonne mise en œuvre de l'innovation.	a, b, k
	Gestion des risques	Stratégie anticipée pour éviter les échecs de l'implémentation, et les difficultés internes liées à l'implémentation	a, b
Intérêt et implication	Attitude	Attitude des individus face au changement et aux échecs/succès observés pendant l'implémentation	a, b, d, h, i, l, m
	Motivation	Motifs de changement personnel, et motivation des individus face au changement	a, b, d, h, i, l, m
	Base	Couches de l'organisation impliquées dans l'organisation initiale du changement (opérationnel, stratégique)	d, e, h, i, l, m

a : Théorie de l'essai (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992), b : (Ginzberg 1981), c : (Tushman, Romanelli 1985), d : (Hargrave, Van de Ven 2006), e : (Lupton 1991; Smeds, Haho, Alvesalo 2003), f : (Mintzberg, Westley 1992), g : apprentissage organisationnel (Argyris, Schön 1978) (Nonaka 1994), h : (Bareil, Savoie 1999), i : (Bernoux 2015), j : (Poole, Gioia, Gray 1989), k : (Kanter, Stein, Jick 1992), l : (Kotter 1995), m : (Cervený, Sanders 1986).

Les dimensions du changement sont de plusieurs natures. La **profondeur** du changement correspond à la « quantité » d'effort qu'il sera nécessaire de fournir pour mettre en œuvre le changement. On retrouve cette notion de profondeur dans l'apprentissage organisationnel en simple boucle ou double boucle (Nonaka 1994). **L'étendue** du changement dans l'organisation, ainsi que la **vitesse** à laquelle il est implémenté impacte également le succès de l'implémentation.

Les **solutions déployées** pour mettre en œuvre le changement influencent son succès. Cela correspond au mode de communication et management du changement, le déroulement des éventuelles formations, la personne en charge ou encore les premiers essais réalisés avec l'innovation.

Enfin, **l'intérêt, l'implication et les réactions des individus** face au changement jouent un rôle central dans la réussite de l'implémentation.

5.2.2.5 Interrelations entre les différents domaines de facteurs d'implémentation (après la DoA)

Nous avons donc extrait quatre catégories de facteurs qui peuvent influencer l'implémentation d'une innovation et son ancrage dans les pratiques de l'organisation (facteurs d'implémentation). Il faut toutefois noter qu'ils n'influencent pas nécessairement directement l'implémentation. Leurs connexions et relations sont multiples (voir **Figure 34**).

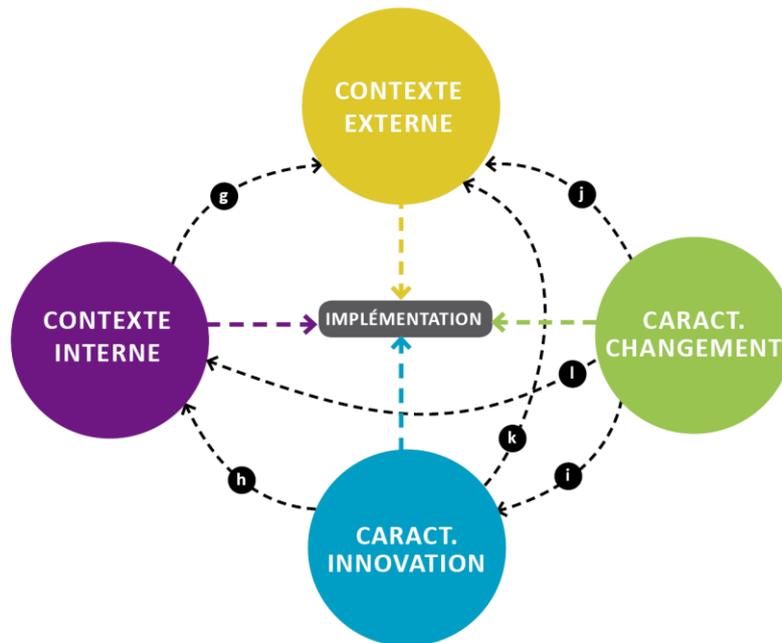


Figure 34. Représentation des multiples influences possibles entre les différentes catégories de facteurs d'adoption.
En couleur : les influences directes des facteurs sur la décision d'adopter. *En noir* : les influences indirectes.

Voici quelques exemples d'influences indirectes des facteurs identifiés sur le déroulement de l'implémentation et l'ancrage de l'innovation (issus de l'étude de littérature des influences entre catégories de facteurs) :

- g.** Le contexte interne de l'entreprise, la manière dont elle exploite l'innovation participe au contexte global du marché et peut influencer d'autres organisations
- h.** Les caractéristiques de l'innovation peuvent demander une adaptation du contexte interne de l'entreprise (processus de travail, organisation interne, réalignement des valeurs de l'entreprise)
- i.** D'éventuelles difficultés d'appropriation ou de mise en œuvre de l'innovation peuvent pousser les développeurs de l'innovation à la faire évoluer, avec le recueil d'études de cas
- j.** La manière dont une organisation a mis en œuvre le changement peut influencer des entreprises similaires et participer à la modification du contexte général du marché.
- k.** Lorsqu'elle est mise en œuvre de façon assez importante dans un secteur, une innovation peut faire évoluer les standards du marché
- l.** La manière dont le changement est positionné et mis en œuvre impacte durablement l'organisation.

5.2.3 Synthèse sur les facteurs qui influencent l'adoption d'une innovation à l'échelle micro

Dans cette partie, nous avons identifié les facteurs qui peuvent influencer l'adoption d'une innovation dans une organisation (échelle micro) (voir **Figure 35**). Nous avons donc extrait quatre domaines de facteurs qui peuvent influencer la décision d'adopter une innovation ou le déroulement de son implémentation. Chaque domaine a été détaillé en différentes catégories, elles-mêmes détaillées en types de facteurs (voir **Figure 35**).

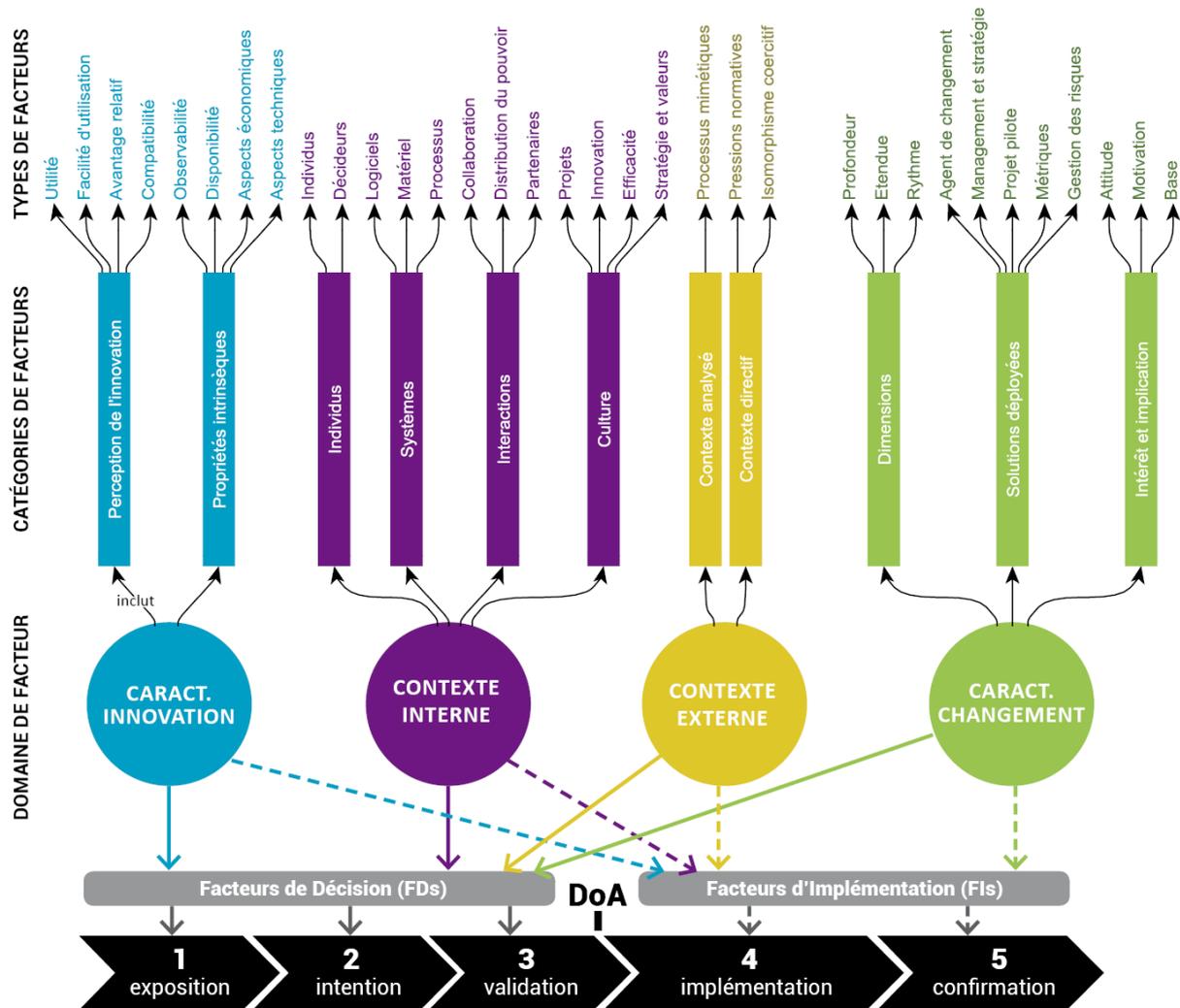


Figure 35. Synthèse des facteurs d'adoption d'une innovation identifiés positionnés sur le processus d'adoption.

Les facteurs n'influencent pas nécessairement directement la décision ou l'implémentation de l'innovation. Leurs relations sont multiples, et ils peuvent s'influencer les uns les autres avant d'influencer la décision d'adopter une innovation ou le succès de l'implémentation (voir **Figure 36** ci-dessous).

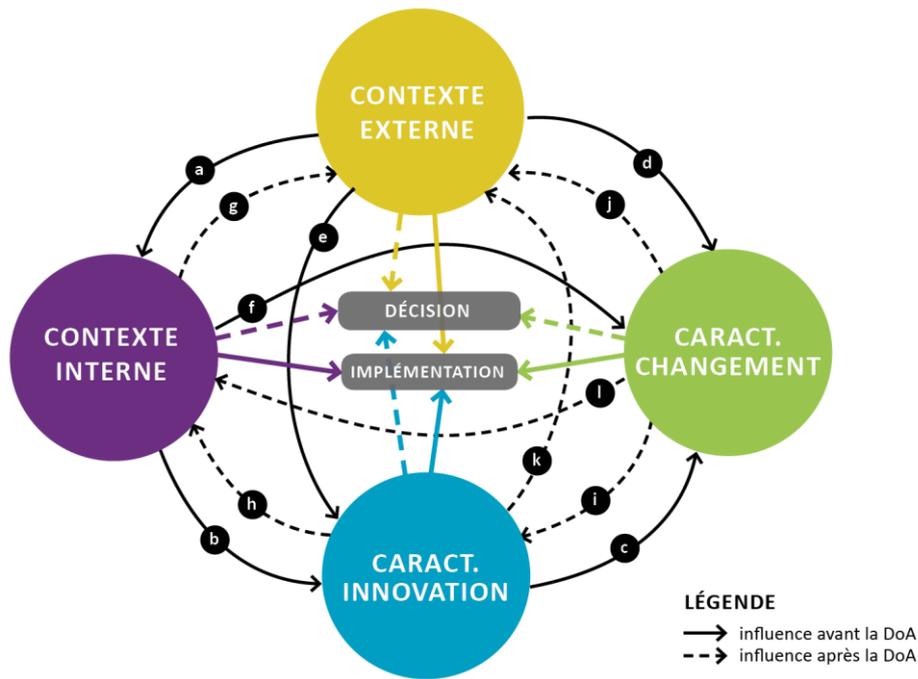


Figure 36. Représentation des multiples influences possibles entre les différentes catégories de facteurs d'adoption. **En couleur :** les influences directes des facteurs sur la décision / l'implémentation. **En noir :** les influences indirectes.⁷⁷

De manière générale, avant la DoA, le contexte externe (environnement) influence le contexte interne de l'organisation (a), qui influence à son tour les caractéristiques (notamment perçues) de l'innovation (b). Ce sont également les caractéristiques internes de l'organisation qui influencent la manière dont le changement est mis en œuvre (f). Après la DoA, la manière dont le changement est mis en œuvre influence à son tour le contexte interne de l'organisation (l) ; de cette manière, l'innovation influence également l'organisation (h). En adoptant l'innovation, l'organisation participe à diffuser l'organisation et influence donc l'environnement des autres organisations (g).

⁷⁷ Cette figure est la synthèse des figures **Figure 33** p.144 et **Figure 34** p.149. La signification des lettres y est présentée dans chacun de parties.

5.3 Étude des facteurs qui influencent le processus d'adoption du BIM à l'échelle micro

Cette partie constitue un état de l'art sur l'étude des facteurs d'adoption **spécifiques au BIM**. Elle poursuit trois objectifs, qui sont d'identifier :

- les **méthodes** employées pour étudier les facteurs d'adoption du BIM,
- **l'état actuel des connaissances** sur les facteurs d'adoption du BIM et
- les éventuelles **lacunes** de la littérature sur ces deux points.

Dans cette partie nous avons récupéré, analysé et comparé 33 études sur les facteurs d'adoption au cours de l'année 2019 (voir liste complète dans le Tableau 38 en Annexe, p.381). Elles sont issues principalement du moteur de recherche Google Scholar pour les mots clés anglais ici traduits : BIM, adoption, diffusion, implémentation, facteurs, moteurs, inhibiteurs. Enfin, elles ont pour point commun de traiter l'adoption du BIM à l'échelle micro.

L'analyse de ce corpus a été réalisée sur deux angles. Le **premier** consiste en une **analyse de la méthode et des résultats de ces études**. Le **second** angle concerne le **référencement des facteurs d'adoption** évoqués et leur positionnement sur les catégories de facteur précédemment identifiées.

5.3.1 Analyse des méthodes employées pour étudier les facteurs d'adoption du BIM

Les méthodes de recherche employées dans le corpus sélectionné (Tableau 38 en Annexe, p.381) ont été analysées et comparées. Nous avons pu en dégager des tendances générales et des lacunes.

5.3.1.1 Critères de comparaison des méthodes

Sur chacune des études du corpus, lorsque cela était pertinent, nous avons identifié :

- **L'objet de l'étude :**
 - Établissement d'une liste de facteurs et d'hypothèses et/ou
 - Qualification / quantification de l'effet de ces facteurs
- **La méthode** employée pour lister, qualifier et quantifier l'effet des facteurs :
 - Qualitative (entretiens, recherche-action) et/ou
 - Quantitative (enquête par questionnaire)
- **La formulation** positive ou négative des facteurs :
 - Facteurs (neutre) et/ou
 - Facilitateurs (formulation positive) et/ou
 - Inhibiteurs (formulation négative)
- **La portion du processus d'adoption** concernée par l'étude

- Facteurs de décision et/ou
- Facteurs d'implémentation
- **L'utilisation du vocabulaire** (implémentation, adoption)
- **La littérature exploitée** (théorie néo-institutionnelle, TAM3, etc.)

Les informations recueillies sur le corpus d'étude ont été consignées manuellement dans un tableau pour être interprétées (voir Tableau 38 en Annexe, p.381).

5.3.1.2 *Des études variées et souvent lacunaires*

De nombreuses études du corpus référencent les facteurs d'adoption. Les auteurs s'appuient généralement sur une **littérature spécialisée sur la thématique du BIM**. Ils prennent peu appui sur les **théories de diffusion, adoption ou appropriation des innovations**. Lorsque c'est le cas, ils le font généralement en adoptant un seul angle, par exemple celui des théories comportementalistes pour l'appropriation des innovations (ex : (Ramanayaka, Venkatachalam 2015) (Lee, Yu, Jeong 2015) (Abubakar et al. 2014)) ; ou encore de la théorie néo-institutionnelle pour les facteurs environnementaux qui influencent l'adoption (ex. : (Cao, Li, Wang 2014)). Les études **n'intègrent donc généralement pas les interactions entre les différentes échelles de contexte** (niveau du marché, de l'organisation ou de l'individu). Les études qui évoquent plusieurs échelles de travail et plusieurs domaines sont rares. Un exemple est cependant notable, il s'agit de l'étude de Ahuja et al. (2018).

Cette exploitation généralement parcellaire de la littérature explique en partie le très **faible nombre de tentatives de catégorisation « exhaustive » des facteurs**. Ces dernières convergent néanmoins vers trois familles : les facteurs externes, internes ou relatifs à la technologie BIM (ex. : Ahuja et al. (2018), Ahmed et al. (2017), Ngowtanasawan (2017) et Tsai et al. (2014)). Cela recoupe la catégorisation proposée en partie précédente⁷⁸. Mais les facteurs concernant le changement ne sont généralement pas explicités alors que plusieurs études les évoquent. Ahmed et al. (2017) positionnent par exemple la formation professionnelle réalisée pendant l'implémentation dans la catégorie de facteurs « contexte interne », alors que dans la catégorisation que nous avons proposée, elle concerne directement le déroulement de l'implémentation, et donc la mise en œuvre du changement⁷⁹.

La majorité des études utilisent le terme de « facteur », « facteur clé » ou « déterminant » pour faire référence aux facteurs d'adoption. Cette dénomination ne présage pas **la nature positive ou**

⁷⁸ Voir partie 5.2 « Les facteurs qui influencent le processus d'adoption d'une innovation dans une organisation », p.141.

⁷⁹ Voir Tableau 11, « Synthèse de l'état de l'art sur les **facteurs d'implémentation : caractéristiques du changement** », p.149.

négalive de l'impact du facteur et se présente généralement sous la forme de groupes nominaux non connotés ⁸⁰: « niveau de formation des employés », « demandes de clients pour des livrables BIM » (ex. : (Ahmed, John P. Kawalek, Kassem 2017)). Le terme « facteur » fait cependant parfois référence à des affirmations connotées positivement (Won, Lee 2019) et/ou négativement. Certaines études se sont focalisées sur des facteurs freinant l'adoption (Hosseini et al. (2018) ou ALHUMAYN et al. (2017)). Ces « verrous », « barrières » ou « inhibiteurs » se présentent sous la forme d'**affirmations négatives** : « le niveau de formation des employés est bas », « le BIM est trop coûteux ». Les répondants des enquêtes par questionnaires sont alors invités à indiquer leur degré d'accord avec ces affirmations. De la même manière, certaines études exploitent des **affirmations positives** : « les employés sont intéressés par le BIM ». Celles-ci sont alors intitulées « facteurs positifs », « facteurs de succès », « leviers », « motivations » ou « vecteur d'adoption (*drivers*) ». Certaines études ont intégré ces deux formes de facteurs en les distinguant dans le questionnaire et les analyses (ex. : (Abubakar et al. 2014) (Arunkumar, Suveetha, Ramesh 2018) (Chan 2014) (Ahuja et al. 2018)). Mais cette classification n'est pas systématique, et est généralement réalisée *ex ante*, ce qui peut constituer un biais dans ces études, comme nous l'avons précédemment montré⁸¹.

L'objet d'influence des facteurs étudiés (décision ou implémentation) **n'est que très rarement explicite** dans le corpus sélectionné et les facteurs ne sont pas positionnés sur le processus d'adoption. Quelques études font office d'exception comme celle de Tsai et al. (2014) ou Ahmed et Kassem (2018). La plupart des études ne précisent pas quel type de population est ciblée (une profession par exemple), ce qui peut rendre les résultats plus difficilement interprétables ou exploitables.

La plupart des études sur les facteurs d'adoption exploitent des méthodes d'analyse quantitatives en présentant les résultats d'une enquête par questionnaire. **Les études qualitatives sont très rares**⁸², et les méthodes mixtes, qui combinent des approches qualitatives et quantitatives (Pluye et al. 2018), le sont encore plus. Les panels des enquêtes par questionnaire comptent généralement entre 100 à 150 réponses valides. Ces études ont pour principal objet de classer les facteurs du moins impactant au plus impactant. Rares sont celles qui ont exploré les données de **façon multidimensionnelle** en étudiant par exemple les interrelations qui peuvent exister entre les facteurs.

⁸⁰ Voir Tableau 38 en Annexe, p.381.

⁸¹ Voir partie 139, « La nature positive ou négative de l'influence des facteurs », p.139

⁸² Voir Tableau 38 en Annexe, p.381.

Pour finir, les travaux sur l'adoption des innovations ont montré que **les motivations des premiers adoptants diffèrent des adoptants plus tardifs** (Waarts, van Everdingen, van Hillegersberg 2002). Pourtant, les études sur l'adoption du BIM qui intègrent cette donnée sont très rares. Quelques récentes exceptions sont cependant à noter, comme l'étude de Kassem et Ahmed (2019) qui positionne les adoptants et les facteurs qui les ont influencés sur une année d'adoption.

Étant donné les lacunes observées dans ce corpus, les résultats de ces études doivent être analysés avec précaution. Néanmoins, on observe une prédominance des facteurs liés à l'appréciation des innovations par les individus, à la compatibilité entre les pratiques BIM et les pratiques établies dans l'organisation ainsi qu'aux pressions normatives (Faisal Shehzad et al. 2020). Les études les plus récentes tendent à progressivement positionner les facteurs sur le processus d'adoption et à considérer de plus en plus l'interdépendance des échelles de contextes.

L'analyse des études existantes sur l'adoption du BIM nous permet de construire un cadre de recherche permettant de répondre aux lacunes identifiées.

5.3.2 Référencement des facteurs d'adoption du BIM

Nous avons référencé les **facteurs d'adoption** étudiés dans la littérature sur le BIM. En plus de les lister, nous avons également étudié leur fréquence d'apparition afin d'identifier et de situer les lacunes dans ce domaine.

5.3.2.1 Méthode

L'étude de notre corpus de références bibliographiques⁸³a permis d'identifier 207 facteurs qui ont été classés manuellement dans chacune des quatre catégories de facteurs précédemment définies⁸⁴. Ici, la différence entre facteurs de décision et facteurs d'implémentation n'est pas faite, car la plupart des études n'explicitent pas leur cadre de travail. Le tableau complet des résultats et des 207 **expressions de facteurs recensées** est disponible sur les annexes numériques⁸⁵.

Le recensement et la classification des facteurs dans les catégories précédemment présentées posent quelques défis sur le plan méthodologique. D'une part, le modèle de classification utilisée ici n'était pas connu des auteurs des articles du corpus. La classification est donc réalisée *a posteriori* d'après notre interprétation et compréhension des résultats des auteurs. D'autre part, les facteurs

⁸³ Voir Tableau 38 en Annexe, p.381

⁸⁴ Voir Figure 36, p.152

⁸⁵

https://github.com/Elodie3h/BIM_Adoption_Thesis/blob/main/CH5_Facteurs_Adoption/Analyse_facteurs_tableau_complet.pdf

évoqués dans la littérature sont traités à différents niveaux de granularité⁸⁶ : la formulation et l'interprétation laissent donc également place à notre compréhension du travail des auteurs du corpus.

Le tableau complet des résultats de notre référencement a été ensuite traité pour permettre la représentation graphique des résultats dans l'outil Gephi.

5.3.2.2 Résultats

Les résultats se présentent sous la forme d'une carte heuristique (**Figure 37**) dans laquelle la taille des bulles représente le nombre de fois qu'un facteur (ou un domaine / une catégorie de facteur) est évoqué dans le corpus d'étude ⁸⁷.

⁸⁶ Par exemple pour un article qui évoque comme facteur « la compatibilité du BIM avec l'entreprise », un autre article pourrait évoquer plus précisément « la compatibilité des logiciels BIM avec les autres logiciels utilisés dans l'entreprise » ou « la compatibilité des pratiques BIM avec la culture et les valeurs de l'entreprise ».

⁸⁷ Attention, la taille des bulles ne représente donc pas le niveau d'impact des facteurs sur l'adoption du BIM.

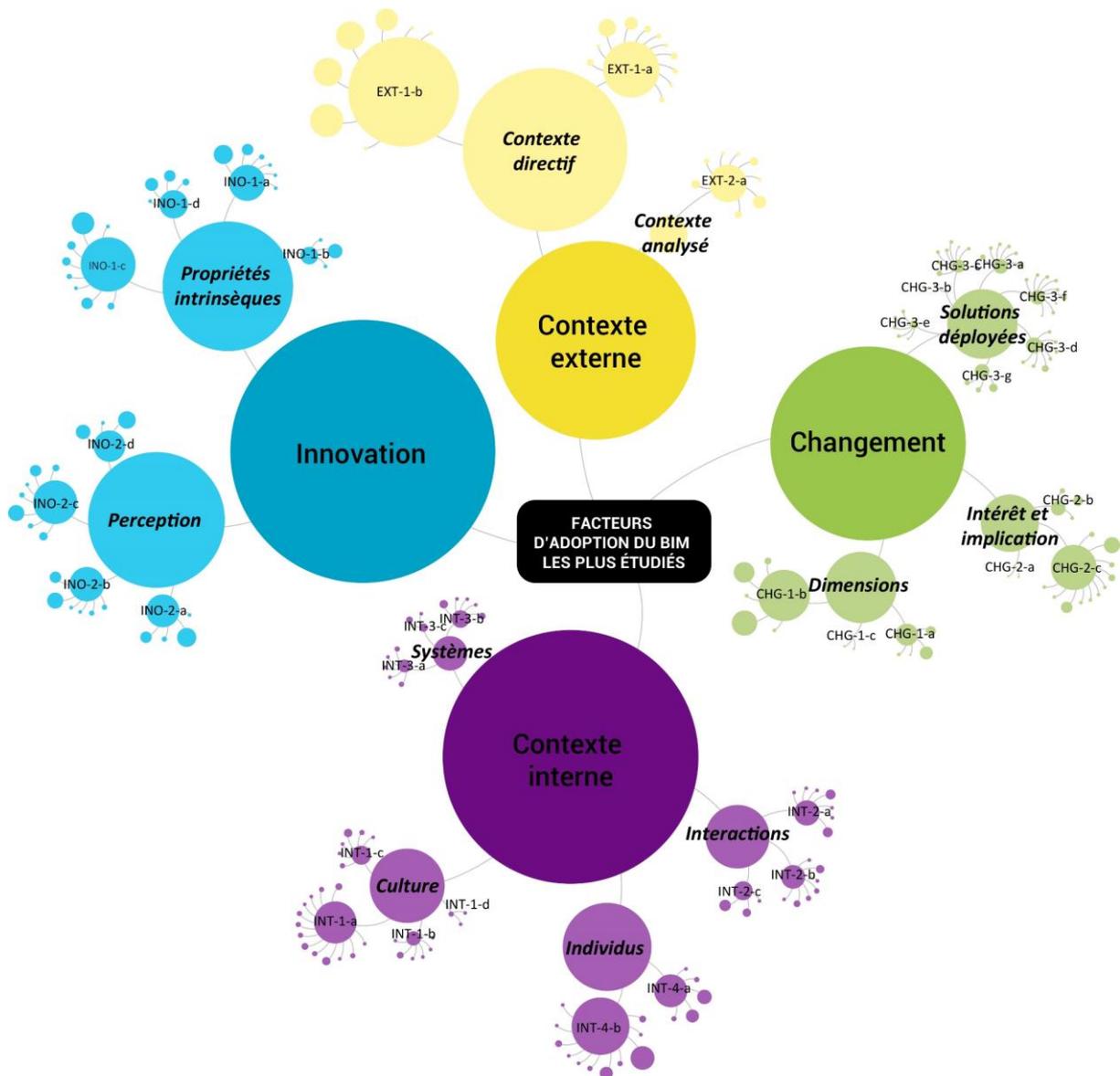


Figure 37. Carte heuristique représentant le nombre d'occurrences des facteurs d'adoption du BIM dans la littérature scientifique.

Note : les codes utilisés sont identifiables sur le Tableau 12, p.166.

Le **domaine de facteurs le plus souvent évoqué est celui des caractéristiques du BIM** (en bleu). En seconde position vient le contexte interne de l'entreprise, puis le contexte externe et enfin les caractéristiques du changement.

Parmi les caractéristiques du BIM pouvant influencer l'adoption, la perception que les individus ont du BIM (perception d'utilité, facilité d'utilisation) est évoquée aussi souvent que ses caractéristiques intrinsèques (performance, maturité de la technologie).

Le contexte interne de l'organisation est évoqué très souvent également, avec un focus généralement porté sur les individus (leurs compétences et expérience), et en particulier celles

des employés. **Les études qui ont évoqué les caractéristiques du top-management sont assez peu nombreuses par rapport à celles qui évoquent le profil des employés.**

De façon étonnante, **l'impact du contexte externe est moins souvent évoqué que celui des caractéristiques du BIM** et du contexte interne des organisations. Dans le contexte externe, ce sont les pressions normatives qui sont le plus souvent étudiées. Cela signifie que les pressions « fortes » et obligatoires sont plus souvent étudiées comme facteur d'adoption que les comportements spontanés liés à l'observation des concurrents ou à l'utilisation de normes courantes et non obligatoires.

Enfin, malgré le fait que les caractéristiques du changement ne soient généralement pas évoquées explicitement comme facteur d'adoption du BIM, des études y font malgré tout référence ; elles les classent généralement dans le contexte interne de l'organisation alors qu'ils ne concernent pas des caractéristiques intrinsèques à l'organisation. Les facteurs évoqués concernent la plupart du temps les types de solutions déployées pour l'implémentation (gestion du changement), et la dimension du changement (rythme, étendue, etc.). Elles évoquent un peu moins l'intérêt et l'implication des individus dans le changement, bien qu'elle semble avoir un impact important. **Mais les dimensions du changement et les stratégies déployées pour le mettre en œuvre font-elles réellement partie du contexte interne de l'organisation ?**

Les caractéristiques du changement ont bien lieu ou se manifestent bien dans l'organisation. C'est le cas également de certaines caractéristiques de l'innovation (perception d'utilité par exemple) qui sont quant à elles classées dans les caractéristiques de l'innovation et bénéficient donc d'un domaine de facteur dédié. Cette incohérence peut provenir de l'association historique adoption – décision. Puisque la décision d'adopter est fusionnée avec l'adoption effective dans cette perspective, alors les échecs de l'adoption ne sont pas envisagés au cours de l'implémentation. Toujours dans cette perspective, il n'y a pas lieu de considérer la manière de conduire changement comme pouvant avoir un quelconque impact sur l'adoption : le changement n'est donc pas traité comme un domaine de facteur. On retrouve pourtant des traces de caractéristiques liées au changement dans les travaux sur le BIM puisqu'on considère aujourd'hui que la stratégie d'implémentation peut avoir un impact sur le succès de l'adoption à court ou moyen terme.

5.3.2.1 Synthèse : la littérature scientifique sur les facteurs d'adoption du BIM

Les **théories** sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation des innovations sont généralement **peu exploitées** dans la littérature qui concerne l'étude des facteurs d'adoption. C'est souvent **une seule échelle contextuelle** qui **est étudiée** (ensemble d'organisations, organisation ou individus), alors que l'on sait que les interactions entre ces échelles sont multiples et importantes.

Les **tentatives de catégorisation de facteurs sont rares**, mais **convergent vers trois domaines : le contexte interne, externe, et les caractéristiques de l'innovation**. Le domaine « changement » n'est pas différencié du contexte interne des organisations. Pourtant, le changement associé à l'implémentation du BIM est généralement qualifié de « radical ». Il s'agit donc bien d'un moment particulier dans la vie de l'organisation qui nécessiterait une attention particulière.

Le **vocabulaire** utilisé pour évoquer et différencier l'expression des facteurs (barrières, facteurs, déterminants, leviers) est très **hétérogène**, tout comme les niveaux de granularité utilisés pour décrire les facteurs. Cela rend les résultats des études difficilement comparables les uns aux autres.

Les **méthodes d'analyse sont principalement quantitatives** et les études qualitatives ou mixtes sont très rares. Dans le cas des enquêtes par questionnaire, les panels sont souvent faibles et les analyses sont rarement multidimensionnelles. Enfin, l'évolution des facteurs d'adoption au cours du temps est absente de ces études alors qu'il pourrait s'agir d'un élément particulièrement déterminant.

➔ Il est donc nécessaire de **proposer un cadre d'étude** qui intègre plusieurs échelles de facteurs, qui clarifie leur objet d'influence (décision/implémentation), et qui s'appuie sur des champs d'étude variés pour intégrer la totalité du processus d'adoption (et non seulement la décision).

5.4 Proposition d'un cadre pour l'étude des facteurs d'adoption du BIM

Dans cette partie, nous proposons un cadre pour étudier les facteurs d'adoption du BIM qui tient compte des observations réalisées en partie précédente. Ce cadre comporte plusieurs volets. Le premier concerne le positionnement de la recherche et a vocation à clarifier les différentes dimensions sur lesquelles une étude de facteur d'adoption peut se positionner. Le second volet est une taxonomie des facteurs d'adoption du BIM, extraite d'une littérature diversifiée.

5.4.1 Positionnement de la recherche

D'après les lacunes précédemment identifiées, il est nécessaire de positionner une recherche sur les facteurs d'adoption du BIM sur deux dimensions principales :

- **L'objet d'influence des facteurs d'adoption (Figure 38)**
- **Les objectifs de l'étude (Figure 40)**

5.4.1.1 Expliciter l'objet d'influence des facteurs étudiés

L'objet d'influence des facteurs d'adoption correspond à ce sur quoi les facteurs sont censés avoir un effet (population étudiée, phénomène étudié, voir **Figure 38**).

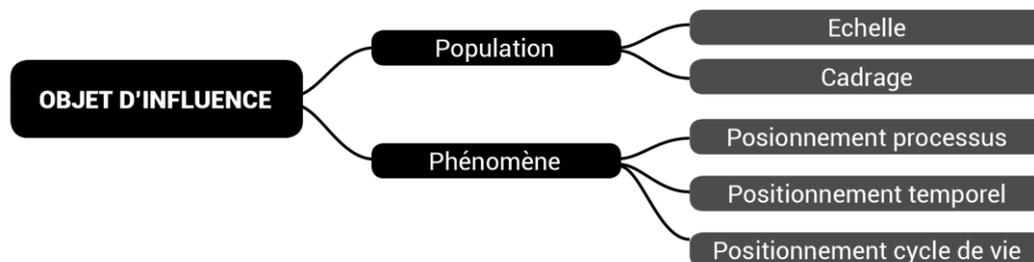


Figure 38. Cadre pour l'explicitation de l'objet d'influence étudié

La définition de la **population étudiée** (voir Figure 38) est relative à l'échelle de travail et au cadrage utilisé. **L'échelle de travail** peut être l'organisation (micro), l'équipe de projet (meso), ou le marché (macro). Il peut être nécessaire d'effectuer un **cadrage** de la population étudiée et d'en expliquer les caractéristiques (par exemple une profession donnée, ou un niveau d'expertise⁸⁸). Lorsque l'on réalise une enquête par exemple, on peut étudier le phénomène de décision d'adoption au niveau des organisations (micro), et préciser que le cadrage concerne uniquement les agences de petite et moyenne taille ; ou concerne uniquement par exemple BIM managers.

⁸⁸ C'est-à-dire qu'au sein d'une échelle donnée, il y a de multiples cadrages possibles.

Le **phénomène étudié** peut être positionné sur le **processus d'adoption** (étude des facteurs de décision, d'implémentation, etc.), de **façon temporelle** (décision d'adopter au cours de l'année 2020, sur la période 2015-2020, etc.) et sur **le cycle de vie de l'ouvrage** (pour la construction, la conception, etc.). Concernant la phase du cycle de vie de l'ouvrage concernée, on pourra détailler en exploitant les usages BIM associés.

Pour plus de clarté, ce positionnement d'objet d'influence de l'étude peut être explicité sur le disque présenté ci-dessous (**Figure 39**).

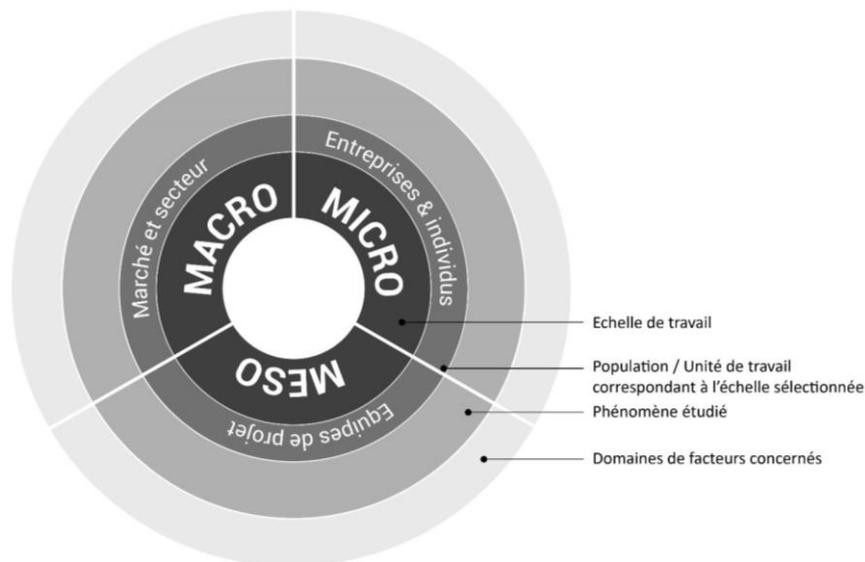


Figure 39. Disque de Positionnement des Études sur les Facteurs d'Adoption du BIM (intitulé Disque PEFA-BIM)

Le disque est composé de trois anneaux représentant **l'échelle de travail** (et l'unité de travail qui en dépend), le **phénomène étudié**, et les **domaines de facteurs concernés**. Ce dernier anneau peut être détaillé en fonction des résultats de l'étude en cours.

L'échelle de la macro adoption a fait l'objet de plusieurs études et de création de plusieurs modèles conceptuels (Succar, Kassem 2015). Ces derniers se focalisent plutôt sur le niveau de maturité et les stratégies gouvernementales mises en œuvre pour développer l'adoption du BIM que sur les facteurs d'adoption du BIM (les facteurs qui incitent les gouvernements à développer une politique BIM). L'échelle meso est rarement évoquée comme « échelle meso » dans la littérature scientifique, mais de nombreuses études ont exploré les facteurs de succès de mise en œuvre de pratiques BIM dans des « équipes de projet », pour des « projets BIM ». Ces études évaluent alors l'impact de certains facteurs (organisationnels, externes, etc.) sur des indicateurs de performance du projet (coût, respect des délais, etc.) (exemple : (Okakpu et al. 2018)).

5.4.1.2 Expliciter l'objectif de l'étude

Les objectifs d'une étude sur les facteurs d'adoption peuvent être multiples, tout comme les méthodes de recherche employées pour répondre à ces objectifs (Figure 40).

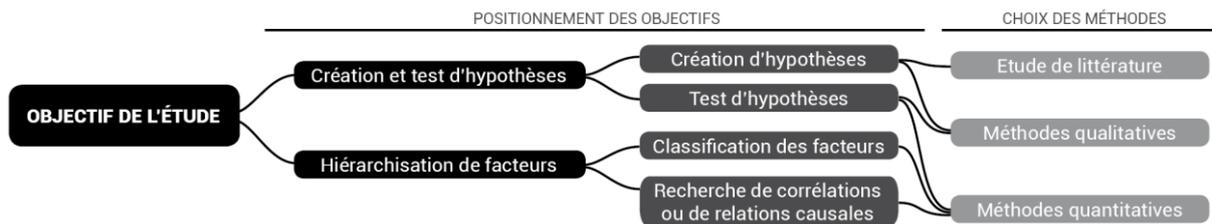


Figure 40. Possibilités de positionnement des objectifs d'une étude des facteurs d'adoption du BIM et méthodes associées

On distingue **deux types d'objectifs** à ces études : la formulation et/ou le test d'une hypothèse d'une part, et l'étude de l'impact de ces facteurs d'autre part. La **création d'hypothèses** est généralement initiée par une étude de littérature ou une étude qualitative (entretiens, étude de cas, observations), en particulier lorsqu'aucun modèle, classification ou référencement de facteurs suffisamment complet n'a été réalisé. Les hypothèses alors élaborées sont ensuite éventuellement testées. **L'étude de l'impact des facteurs (hiérarchisation)** peut se faire de deux manières principales. La classification « simple » consiste à organiser les facteurs par ordre d'influence sur le phénomène étudié. D'autres études vont plus loin en étudiant les corrélations et interrelations entre facteurs. Cela permet une compréhension plus fine du phénomène étudié, mais nécessite un plus grand volume de données à analyser pour obtenir des résultats fiables.

5.4.2 Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM au niveau Micro

Nous avons pour l'instant évoqué deux phénomènes pour l'étude de l'adoption du BIM : ce qui influence la **décision de commencer à mettre en œuvre** des pratiques BIM, et ce qui influence **l'implémentation** du BIM. Une technologie qui est sur le marché depuis quelques années pourrait faire l'objet de l'étude d'un troisième phénomène : son **usage à long terme**, qui ne concerne pas à proprement parler le processus d'adoption, mais se situe dans sa continuité. C'est ici hors de notre champ d'étude.

Ces trois phénomènes correspondent aux phénomènes qui peuvent concerner l'adoption du BIM à l'échelle micro. Ils peuvent donc être positionnés sur le Disque PEFA-BIM (Figure 41).



Figure 41. Positionnement de notre étude sur le Disque PEFA-BIM

Une étude de littérature étendue nous a permis d'identifier quatre **domaines de facteurs de décision**, et **quatre domaines de facteurs d'implémentation du BIM à l'échelle micro** : les **caractéristiques de l'innovation**, les **caractéristiques du changement**, le **contexte interne** de l'organisation ainsi que son **contexte externe**. Ces éléments peuvent être positionnés sur le Disque PEFA-BIM (**Figure 41**).

→ Ainsi, le disque présenté en **Figure 41** permet d'apprécier le positionnement de l'étude que nous proposons, et les pistes de recherche à venir (en gris).

5.4.2.1 Une taxonomie de facteurs d'adoption

Une étude de littérature étendue nous a permis de référencer et classer les facteurs d'adoption des innovations à **l'échelle micro**, pour les **phénomènes** de décision d'adoption et d'implémentation⁸⁹. Quatre **domaines de facteurs** ont été extraits : les caractéristiques de l'innovation, les caractéristiques du changement, le contexte interne de l'organisation ainsi que son contexte externe (voir **Figure 42** ci-dessous). Chaque domaine compte plusieurs **catégories de facteurs**, par exemple pour le contexte interne : la culture, les interactions, les systèmes et les individus de l'organisation. Chaque catégorie de facteurs compte plusieurs **facteurs**, génériques à l'adoption des innovations.

⁸⁹ Voir partie 5.3.2 « Référencement des facteurs d'adoption du BIM » p.156

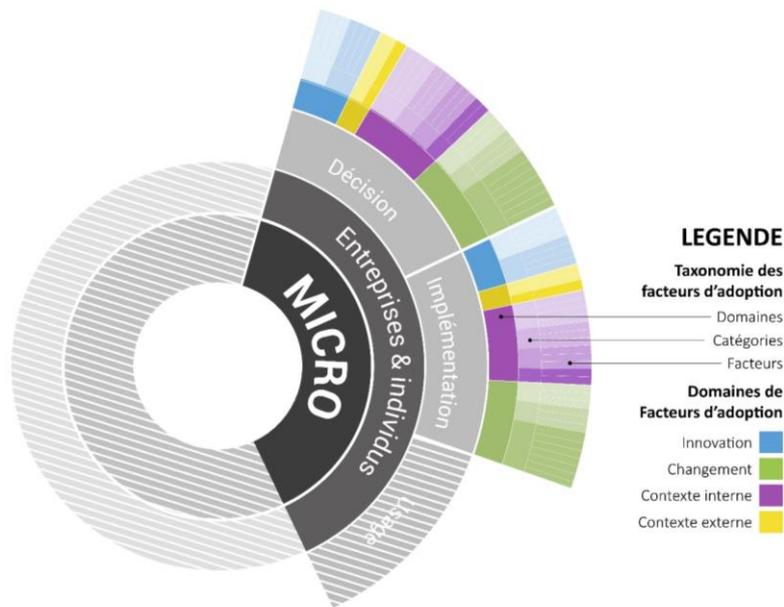


Figure 42. Positionnement des différents concepts permettant de décrire les facteurs d'adoption sur des anneaux du Disque PEFA-BIM (domaines, catégories, facteurs).

Les facteurs correspondent à des éléments contextuels qui peuvent avoir un impact sur le phénomène étudié. Ils peuvent se manifester différemment en fonction de l'innovation étudiée (**manifestation du facteur**). Par exemple, le facteur « aspects économiques » peut avoir différentes manifestations lorsqu'il s'agit du BIM : il peut concerner le coût de la technologie, le coût de la maintenance ou encore coût de la main-d'œuvre (BIM management ou mission BIM)⁹⁰. Enfin, chaque facteur peut être exprimé sous forme d'affirmation ou groupe nominal positif, neutre ou négatif (**expression du facteur**) afin d'être intégré dans une enquête par questionnaire par exemple.

Enfin, lorsqu'un facteur est étudié et que l'on connaît la **nature de l'influence** (négative/positive) qu'il exerce sur le phénomène étudié, on peut le nommer : **moteur** lorsqu'il a une influence positive sur le phénomène étudié, et **inhibiteur** lorsqu'il a une influence négative. Les facteurs qui ont une influence particulièrement forte sont parfois appelés **facteur clé**.

5.4.2.2 Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM à l'échelle MICRO

L'ensemble des tableaux de classification des facteurs présentés dans la partie 5.3.2 « Référencement des facteurs d'adoption du BIM » (p.156) ont été regroupés dans le tableau ci-dessous (Tableau 12). Les facteurs identifiés y sont positionnés par rapport à leur **catégorie** et leur **domaine**.

⁹⁰ Voir tableau complet du référencement des facteurs d'adoption du BIM : https://github.com/Elodie3h/BIM_Adoption_Thesis/blob/main/CH5_Facteurs_Adoption/Analyse_facteurs_tableau_complet.pdf

Tableau 12. Taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro pour les phénomènes de **décision** et **d'implémentation**⁹¹

Code domaine	Domaine de facteur	Code catégorie	Catégorie de facteur	Facteur	code facteur	
INO	CARACTERISTIQUES DE L'INNOVATION	1	Propriétés intrinsèques	a	Caractéristiques techniques	INO-1-a
				b	Caractéristiques économiques	INO-1-b
				c	Disponibilité	INO-1-c
				d	Observabilité	INO-1-d
		2	Perception de l'innovation	a	Compatibilité	INO-2-a
				b	Avantage relatif	INO-2-b
				c	Perception de facilité d'utilisation	INO-2-c
				d	Utilité perçue	INO-2-d
EXT	CONTEXTE EXTERNE	1	Contexte directif	a	Pressions normatives	EXT-1-a
				b	Isomorphisme coercitif	EXT-1-b
		2	Contexte analysé	c	Processus mimétiques	EXT-2-a
INT	CONTEXTE INTERNE	1	Culture	a	Stratégie, valeurs	INT-1-a
				b	Projets	INT-1-b
				c	Innovation	INT-1-c
				d	Efficacité	INT-1-d
		2	Interactions	a	Collaboration	INT-2-a
				b	Distribution du pouvoir	INT-2-b
				c	Partenaires	INT-2-c
		3	Systèmes	a	Processus	INT-3-a
				c	Logiciel	INT-3-b
				b	Matériel	INT-3-c
		4	Individus	a	Décideurs	INT-4-a
				b	Employés	INT-4-b
CHG	CARACTERISTIQUES DU CHANGEMENT	1	Dimension	a	Étendue	CHG-1-a
				b	Profondeur	CHG-1-b
				c	Rythme	CHG-1-c
		2	Intérêt et implication	a	Base	CHG-2-a
				b	Motivation	CHG-2-b
				c	Attitude envers le changement	CHG-2-c
		3	Solutions déployées	a	Gestion et agent(s) du changement	CHG-3-a
				b	Projet Pilote	CHG-3-b
				c	Formation	CHG-3-c
				d	Méthodes et stratégies	CHG-3-d
				e	Communication	CHG-3-e
	f	Mesures	CHG-3-f			
	g	Gestion du risque	CHG-3-g			

⁹¹ Pour la définition de chacun des facteurs, se référer aux tableaux présentés dans la partie 5.3.2 « Référencement des facteurs d'adoption du BIM » (p.155)

5.4.3 Conclusion

Dans cette partie, nous proposons un cadre pour l'étude des facteurs qui influencent le BIM. Celui-ci cadre est basé sur les observations réalisées à partir d'une vaste **étude de littérature sur l'adoption et l'implémentation des innovations**⁹², ainsi que sur **l'étude des méthodes employées pour étudier les facteurs d'adoption spécifiquement du BIM**.

Les observations alors réalisées ont permis de construire un cadre comptant deux volets : **des outils pour positionner une étude**⁹³ (par rapport à l'objet d'influence étudié et aux objectifs de l'étude); et **une taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro**⁹⁴ pour les phénomènes de décision et d'implémentation du BIM.

Nous nous sommes appuyés sur ce cadre dans notre enquête sur l'adoption et l'implémentation du BIM dans les agences d'architecture. Dans les parties suivantes, nous présentons cette enquête et des expérimentations menées au sein des agences d'architecture. Cette étude ne concerne pas uniquement l'étude des facteurs qui influencent l'adoption et l'implémentation du BIM dans les agences d'architecture, mais cet objectif en fait partie. Nous sommes donc appuyés sur les différents outils ici proposés (voir **Figure 43** et **Figure 44**).

Notre recherche concerne l'échelle organisationnelle (micro). Nous avons étudié les facteurs qui influencent la décision et l'implémentation de pratiques BIM pour la conception dans les agences d'architecture françaises (voir **Figure 43**).

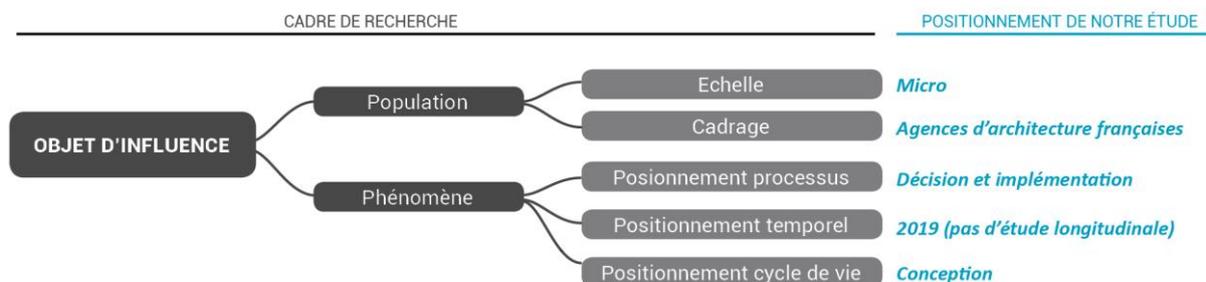


Figure 43. Positionnement de la population et du phénomène étudié

Nous avons exploité une littérature scientifique conséquente pour constituer des hypothèses de facteurs d'adoption et d'implémentation.

⁹² Voir partie 5.2, « Les facteurs qui influencent le processus d'adoption » p.141

⁹³ Voir partie 5.4.1, « Positionnement de la recherche », p.161

⁹⁴ Voir partie 5.4.2, « Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM au niveau Micro », p.163

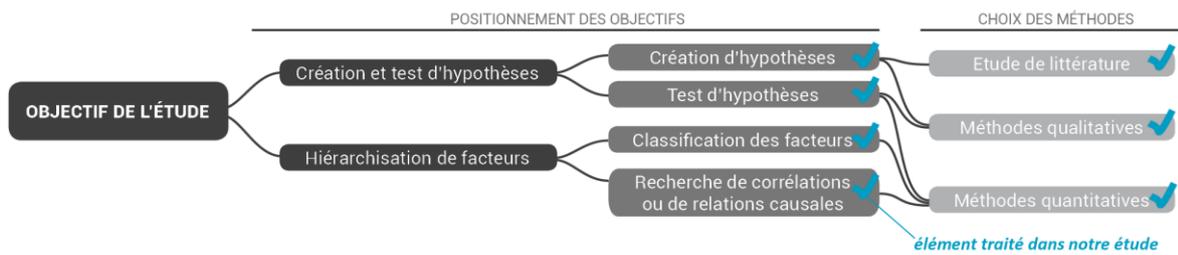


Figure 44. Positionnement des objectifs et méthodes employées

Nous exploitons des méthodes de recherche variées et complémentaires qui nous permettent d'acquérir une vision globale du sujet : une enquête par entretiens (Chapitre 6, p.170), une enquête par questionnaire (Chapitre 7, p.187) et un suivi d'agences au cours de la transition (Chapitre 8, p.255).

Partie 3

Enquêtes sur les pratiques dans les agences

Dans cette **troisième partie**, nous présentons les résultats de l'enquête que nous avons menée auprès des architectes. Celle-ci s'est déroulée en deux temps. Nous avons d'abord réalisé des **entretiens** (chapitre 6), qui ont permis de mettre en évidence un large éventail de situations des agences par rapport à la mise en place de pratiques BIM. Nous avons ensuite diffusé un **questionnaire** auprès des agences (chapitre 7). Il a permis de cartographier le secteur de l'architecture et la population d'agences afin d'étudier la répartition de certaines pratiques au sein de cette population. Nous avons également pu dresser un état des lieux des pratiques BIM dans les agences et identifier les principales stratégies qu'elles mettent en œuvre pour les implémenter. La combinaison des méthodes qualitative et quantitative (méthode mixtes) a permis à la fois d'étudier les mécanismes à l'œuvre dans la diffusion du BIM au sein des agences et de les quantifier.

Une enquête par entretiens

Nous avons mené une série d'entretiens aux débuts de notre recherche. L'objectif principal des entretiens était de mieux appréhender la diversité des pratiques dans les agences d'architecture et la manière dont les dirigeants et dirigeantes d'agence envisagent ou non de les faire évoluer.

Cet objectif se décline en trois sous-objectifs :

- **Produire des connaissances** sur la décision de mettre en œuvre le BIM et la manière dont il est déployé dans le contexte spécifique des agences d'architecture
- **Identifier des situations et réactions** par rapport au BIM qui sont spécifiques aux agences d'architecture et aux architectes.
- **Identifier des pistes de travail** pour la suite de la recherche, notamment en formulant des hypothèses à tester dans une enquête qualitative.

La méthode adoptée pour la réalisation de ces entretiens ainsi que les résultats obtenus au regard des objectifs définis sont décrits dans cette partie.

6.1 Préparation et conduite des entretiens

Nous présentons ici la manière dont nous avons préparé les entretiens semi-directifs réalisés avec des architectes.

6.1.1 Positionnement de l'enquête

Les méthodes de conduite d'entretiens sont nombreuses et parfois critiquées. Nous présentons ici la manière dont nous avons construit notre méthode pour les entretiens.

6.1.1.1 Positionnement épistémologique

L'enquête est ici exploratoire et les entretiens menés sont semi-directifs⁹⁵. L'organisation, la conduite et l'analyse d'entretiens sont particulièrement fastidieuses, mais permettent de recueillir un matériau très riche qui rend compte dans le détail des problématiques rencontrées par les acteurs sur le terrain. Contrairement à des entretiens directifs ou à un questionnaire, l'entretien semi-directif permet au chercheur d'identifier et d'approfondir les points particulièrement importants pour les enquêtés au sujet de l'objet d'étude. Cela permet également de préparer un questionnaire adapté en analysant le vocabulaire et les thématiques exploités par les enquêtés lorsqu'ils parlent de l'objet d'étude.

L'angle exploité pour la préparation et la conduite de ces entretiens est une approche compréhensive, telle que décrite par le sociologue Jean-Claude Kaufmann (2011). Elle implique la nécessité pour le chercheur d'aborder le système de valeurs de l'individu pour contextualiser son propos.

Cette méthode de recherche permet également de prendre de la distance avec un « formalisme impersonnel » de recueil et d'analyse de données (Kaufmann 2016) assez présent dans la littérature sur l'adoption du BIM. Le recours à des méthodes mixtes⁹⁶ permet de recueillir des informations riches et complémentaires sur l'objet d'étude (Aldebert, Rouzies 2011). Nous avons vu également en première partie que le système de valeurs des individus et la culture professionnelle des architectes pouvaient avoir un impact important sur la manière dont ils appréhendent le BIM.

⁹⁵ On considère généralement trois types d'entretiens : directifs (questions pré-écrites, avec un questionnaire rigide), semi-directifs (avec une trame générale) ; et des entretiens exploratoires (le chercheur laisse la possibilité à l'enquêté d'aborder librement des thématiques liées à l'objet d'étude qu'il construit *via* son enquête par entretiens. (Blanchet, Gotman 2017)

⁹⁶ combinaison de plusieurs méthodes de recherche (qualitatif, quantitatif)

6.1.1.2 Constitution de l'échantillon

Au regard des objectifs relatifs à notre enquête par entretiens, l'échantillon est ici constitué principalement de dirigeants d'agences. Ce sont eux qui ont la maîtrise des orientations stratégiques de l'agence, car ils en constituent le niveau décisionnel, même s'ils sont souvent plus éloignés des problématiques opérationnelles du déploiement du BIM dans leurs agences que leurs employés.

Ce public d'enquêtés facilite la préparation des entretiens : l'accord des dirigeants aurait été nécessaire pour interroger un employé au sujet de son entreprise. De plus, ces entretiens auraient mis l'employé dans une position délicate par rapport à sa direction, en particulier lorsque des points sensibles auraient été abordés (utilisation de versions non légales des logiciels, dysfonctionnements, etc.).

L'échantillon compte 13 enquêtés qui représentent 13 agences d'architecture différentes.

Celui-ci n'est pas représentatif de la population d'agences en France, mais il comporte une grande diversité de pratiques (notamment numériques), de réactions des dirigeants par rapport au BIM. Les agences concernées sont situées dans le Grand Est, dans la région parisienne, ou au Luxembourg pour les plus grandes d'entre elles. L'ensemble des résultats présentés sont anonymisés.

6.1.2 Trame et déroulement

Les entretiens semi-directifs ont été préparés en élaborant une trame d'entretiens et de retranscription. Ces deux éléments sont présentés ici.

6.1.2.1 Trame d'entretiens

La trame d'entretiens est un outil qui guide le chercheur de façon très souple. Il est parfois nécessaire de s'en éloigner lorsque l'enquêté aborde un sujet inattendu que le chercheur juge intéressant pour l'objet d'étude (Blanchet, Gotman 2017). La trame ici élaborée comporte quatre principales thématiques (voir **Figure 45**) :

- Le profil de l'interlocuteur (1)
- La culture de l'agence (2)
- Les interactions internes (3)
- Les systèmes de l'agence (4)
- La manière dont l'agence appréhende les changements (5)

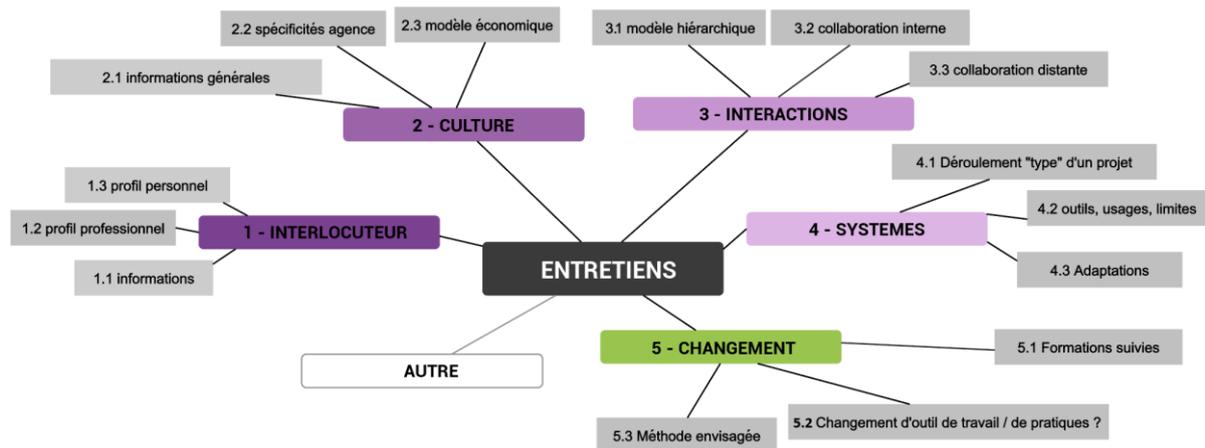


Figure 45. Trame d'entretiens

La trame ci-dessus est basée sur l'état de l'art concernant **les composantes de l'organisation qui peuvent être impactées par l'implémentation** de pratiques BIM (stratégie, vision, rôles, modes de collaboration, etc.)⁹⁷ et par les composantes qui peuvent jouer un rôle **dans la décision d'adopter** ou dans **le succès de l'implémentation**.

6.1.2.1 Déroulement et retranscription

Les thématiques de la trame d'entretiens n'ont pas nécessairement été abordées dans l'ordre « prévu » par la trame et dépendait principalement de l'enquêté. Les problématiques sur lesquelles les enquêtés ont généralement été plus loquaces concernent les systèmes de l'agence (processus, pratiques, outils).

La plupart des entretiens se sont déroulés à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, dans une pièce à l'écart, avec le chercheur et l'enquêté. Quatre d'entre eux sont déroulés dans les agences concernées. Tous les entretiens ont eu lieu entre octobre 2017 et janvier 2018 et ont duré entre 1 h 20 et 2 h 30. Ils ont tous été enregistrés en format audio et un **document** a été signé par l'enquêteur et l'enquêté pour expliciter les droits et devoirs de chacun vis-à-vis des informations collectées (voir **Annexe 3**, Charte d'entretien p. 383). Ce document est conforme à la loi dite « informatique et libertés » (Legifrance 1978), en vigueur au moment des entretiens⁹⁸.

Les entretiens ont été retranscrits dans une grille en deux colonnes telle que décrite par (Kaufmann 2016) avec une colonne de gauche qui correspond au discours de l'enquêté et à droite aux réflexions du chercheur (voir court extrait de retranscription, **0**, p.384)

⁹⁷ Voir partie 5.2.3, « Synthèse sur les facteurs qui influencent l'adoption d'une innovation à l'échelle micro », p. 151

⁹⁸ Cette dernière a été remplacée depuis par le RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données). Le document en question a également fait l'objet d'une vérification auprès d'une juriste du CNRS.

6.2 Des situations et réactions variées face au BIM

Parmi nos objectifs initiaux figurent ceux d'étudier et de comprendre le processus d'adoption du BIM et les facteurs qui peuvent l'influencer. Nous avons pu, au regard de ces objectifs, identifier plusieurs situations dans lesquelles sont actuellement les agences.

6.2.1 Différentes situations face à l'implémentation du BIM

La transition vers des pratiques BIM comporte trois volets : un volet technique (logiciels par exemple), un volet réglementaire (conventions, réglementation, etc.) et un volet humain (pratiques de travail, processus, etc.). Ce sont les outils de modélisation BIM, leurs fonctionnalités et leur prise en main qui ont été principalement discutées au cours des entretiens, bien que la trame prévoyait d'aborder plus largement les autres points. **Le changement d'outil principal de production graphique est donc une des principales préoccupations des architectes par rapport à l'implémentation du BIM.**

Parmi les 13 agences de l'échantillon, nous avons pu identifier quatre situations différentes concernant la CAO et le BIM dans les agences :

- **Situation 1** (3 agences) :
 - les agences travaillent principalement en 2D et ont un usage occasionnel de la 3D. La mise en place de pratiques BIM n'est pas souhaitée.
- **Situation 2** (2 agences) :
 - les agences travaillent en 2D et 3D simple, et souhaiteraient déployer des outils et pratiques BIM en leur sein
- **Situation 3** (8 agences) :
 - plusieurs processus de travail coexistent de façon plus ou moins pérenne (2D et 3D simple sur certains projets, et BIM sur d'autres).

Notons que la situation 3 n'a pas été identifiée dans l'état de l'art et semble être absente de la littérature scientifique sur l'adoption du BIM. Elle semble pourtant très répandue dans l'échantillon sélectionné pour les entretiens, car elle concerne près de la moitié des enquêtés⁹⁹.

Chacune des situations est ici détaillée et illustrée par des propos tenus par nos interlocuteurs au cours des entretiens.

6.2.1.1 Situation 1 : la mise en place du BIM n'est pas souhaitée

La situation 1 concerne des agences très variées. Les dirigeants ne sont pas nécessairement opposés au fait de travailler en BIM un jour, mais ils sont très critiques vis-à-vis du coût de sa mise

⁹⁹ L'échantillon étant faible et non représentatif de la population des agences d'architecture en France, ce résultat ne permet pas de conclure sur la récurrence de cette situation au sein des agences. Une vérification quantitative de ce point est présentée dans l'enquête par questionnaire.

en œuvre : *« je n'ai pas eu de formation sur AutoCAD et je l'ai utilisé pendant toute ma carrière. Aujourd'hui pour mettre en place ArchiCAD sérieusement, il faut vraiment bien se former, s'équiper et engager des moyens en temps et en argent qui paraissent démesurés par rapport aux moyens des agences que je connais. »* Ils sont parfois critiques également par rapport au discours des éditeurs de logiciels, qui communiquent sur la fluidité des nouveaux processus : *« nos interlocuteurs, les fabricants et même certains architectes nous disent : vous pourrez anticiper plein de problèmes, vous gagnerez du temps, vous gagnerez de la précision. Je trouve que ce discours est un leurre. »*. Les arguments commerciaux des éditeurs de logiciels attisent plus la méfiance des architectes qu'ils n'attisent leur curiosité. On note également que ces arguments sont souvent très éloignés des problématiques concrètes des architectes et des avantages qu'ils pourraient eux-mêmes tirer de l'utilisation de ces outils.

Dans notre faible échantillon, les agences concernées par la situation n°1 sont très petites (une à deux personnes). Leurs dirigeants ont commencé à exercer il y a 20 à 25 ans, mais ils n'étaient pas nécessairement réticents à la première vague d'informatisation : *« j'ai connu les débuts de l'informatique. Jeune diplômé, j'ai initié l'utilisation d'AutoCAD dans les agences dans lesquelles j'ai été embauché. Maintenant, quand je vois les architectes utiliser AutoCAD, ça me donne des boutons : ils ne savent pas organiser leurs fichiers »*.

Ils attachent souvent une importance particulière à la maquette « physique ». Celle-ci est pour eux un support de discussion avec leurs clients. Ils ont, pour plusieurs d'entre eux, évoqué des anecdotes de rendez-vous client au cours desquels ils ont présenté des visuels 3D qui ont été mal interprétés par les maîtres d'ouvrage, ce qui a été par la suite source de déception. Enfin, même s'ils ne sont pas nécessairement opposés au principe de fonctionnement du BIM, ils ne souhaitent pas le mettre en œuvre et envisagent des moyens de contourner une éventuelle obligation légale.

6.2.1.2 Situation 2 : Le dirigeant souhaiterait implémenter des pratiques BIM

Les agences concernées par cette situation travaillent avec des modèles 2D pour réaliser leurs plans et coupes (AutoCAD, Vectorworks), et 3D (SketchUp la plupart du temps). Il existe en leur sein très peu d'outils communs (charte graphique, uniformisation des fichiers-type de travail, etc.). Contrairement aux dirigeants d'agence qui ne souhaitent pas travailler en BIM, ceux qui sont dans cette situation évoquent peu le coût des outils. Leur réflexion est centrée sur la difficulté de questionner les processus de travail et le temps à y consacrer : *« il est vrai que nous sommes assez mal organisés. Nous devrions avoir des modèles standards, et le fait de ne pas en avoir commence à nous handicaper dans le travail. Mais c'est difficile de prendre le temps et le recul nécessaire pour réfléchir à la manière dont on travaille »*. L'appréhension de l'implémentation et de son déroulement sont aussi évoqués : *« aujourd'hui, utiliser ces outils et construire ses processus de travail est important, mais je ne vois pas comment je peux faire sauter le pas à mon agence »*.

6.2.1.3 Situation 3 : Plusieurs processus et outils de travail coexistent

La **situation 3** concerne les agences qui ont en partie implémenté des outils BIM et au sein desquelles plusieurs méthodes/outils de travail cohabitent. Parmi l'échantillon interrogé, nous avons identifié **trois circonstances** qui sont à l'origine de cette situation :

- L'implémentation de pratiques BIM est en cours et l'agence est en transition (situation transitoire)
- Les projets sont très variés au sein de l'agence et nécessitent la mise en place de processus et d'outils de travail spécifiques (moyen-terme)
- Les compétences sont variées au sein de l'agence, son fonctionnement est très horizontal, ce qui rend possible le choix individuel des outils utilisés par préférence personnelle (long terme)

La première circonstance correspond à une mise en place partielle d'outils et de pratiques BIM dans une agence. Elle se décline de différentes manières, mais concerne généralement des périodes transitoires.

Elle peut être due à l'arrivée d'un nouvel employé ou d'un nouveau projet : *« Il a quelques mois, nous avons embauché un collaborateur très performant sur ArchiCAD alors que nous travaillons tous sur Vectorworks. Nous l'avons laissé travailler sur ArchiCAD, car nous savions qu'il ne resterait pas longtemps et il n'avait ni le temps ni l'envie de se mettre à Vectorworks qui était rétrograde par rapport aux capacités qu'il avait sur ArchiCAD. Nous avons l'intention de passer toute l'agence sur ArchiCAD bientôt »*. Dans ce cas, c'est une version non officielle du logiciel ArchiCAD qui a été utilisée depuis l'ordinateur personnel de l'employé. Cette situation illustre également bien une situation de renouvellement des pratiques par une approche « bottom-up » spontanée (Burgelman 2002). Cette situation concerne des agences dans lesquelles de jeunes architectes, formés à des pratiques BIM, ont été embauchés. Dans ces entreprises, la maîtrise d'un outil de modélisation BIM est un critère d'embauche et les dirigeants ont développé une vision stratégique de leur fonctionnement vis-à-vis de l'évolution du marché et le développement des exigences BIM des maîtres d'ouvrage. Ces agences ont également mis en place des processus d'échange de fichiers en interne, et parfois en externe avec leurs partenaires de travail. Ils ont parfois déjà été confrontés à des chartes ou conventions BIM. Mais cette situation semble peu courante, car : ces pratiques sont encore peu développées. Pour les maîtres d'ouvrage, il s'agit la plupart du temps de mettre en route un processus de travail BIM sans avoir pour l'instant la capacité d'exploiter les livrables BIM demandés.

La situation de cohabitation peut aussi être liée à une implémentation qui s'est mal passée avec un retour sur les outils utilisés auparavant dans l'agence : *« la formation Revit a été un échec, car elle était trop courte (5 jours). (...) Ça a été une perte d'exploitation totale et cela a fait un trou dans notre productivité. Je pense que la transition doit se faire avec un accompagnement sérieux. Dans*

notre cas, les gabarits n'ont pas du tout été mis en place et ça a rendu l'utilisation de l'outil impossible au quotidien. En ce moment, on reprend un petit projet on le refait sur Revit pour refaire les gabarits. ».

La seconde circonstance correspond aux agences dans lesquelles plusieurs méthodes de travail coexistent pour permettre une flexibilité en fonction des projets. Dans une agence de plus de 50 personnes qui travaille entre trois pays, nous avons observé des pratiques qui varient d'un pôle à l'autre : *« dans une partie, tous les architectes sont formés à travailler en Revit et cela ne pose aucun problème. On a livré des projets dans lesquels tous les réseaux sont modélisés et les échanges avec les bureaux d'études sont basés sur des maquettes numériques. Dans la partie française de l'agence, les architectes ont eu accès aux mêmes formations que les autres, mais on finit toujours par retravailler sur AutoCAD, et les demandes des maîtres d'ouvrages ne suivent pas non plus. Il y a un écart énorme entre ces deux pôles de l'agence ».*

La troisième circonstance correspond aux agences dans lesquelles n'y a pas de mise en commun des ressources et du cadre de travail. Elles fonctionnent sur un modèle très peu hiérarchisé qui donne à chacun une grande liberté : *« Moi et ma collaboratrice travaillons avec des outils différents, car aucun de nous deux ne souhaite en changer, et cela nous convient comme cela ».* Ce modèle peut correspondre également aux nouvelles formes d'organisation des agences, comme les collectifs : *« Dans notre collectif, chacun a ses propres marchés et est libre de travailler comme il le souhaite. Certaines choses seraient bien à mettre en commun, comme une charte graphique, mais on n'a jamais réussi à se mettre autour de la table pour prendre ce genre de décisions ».* Ces entreprises concentrent une grande diversité de pratiques mais cela amène également des problèmes d'interopérabilité internes (Laforet 2013).

6.2.2 Des stratégies pour éviter ou minimiser l'utilisation du BIM

Au cours des entretiens, beaucoup d'architectes ont évoqué leur crainte de l'arrivée d'une réglementation plus stricte concernant le BIM. Cela se manifeste également chez des architectes qui ont commencé à migrer leur agence sur des outils BIM pour l'architecture. Ils ont alors plus ou moins explicitement évoqué des stratégies qu'ils mettent déjà en œuvre ou qu'ils comptent mettre en œuvre pour éviter de gérer des projets BIM dans leur pratique. Le Tableau 13 présente une classification de ces différentes catégories.

Tableau 13. Stratégies d'évitement du BIM constatées au cours des entretiens

<i>Nom de la stratégie</i>	<i>Description de la stratégie</i>
Reporter	Reporter la mise en place de pratiques BIM à plus tard
Abdiquer	Reconsidérer le type de marchés auxquels l'agence peut répondre ; se résigner à arrêter/réduire son activité (fermeture de l'entreprise, retraite anticipée, etc.)
Déléguer	Désigner un collaborateur (interne ou externe) pour réaliser les tâches spécifiquement BIM afin qu'elles n'impactent pas la production « classique » de l'agence.
Minimiser	Consentir à produire des livrables BIM par obligation, sans envisager un quelconque effet bénéfique du processus BIM en interne de l'agence ou pour améliorer la qualité architecturale et technique du projet.
Renoncer	Essayer de mettre en œuvre des pratiques BIM et finalement renoncer
Bloquer	Faire obstruction aux initiatives internes à l'entreprise

Ces stratégies recoupent par ailleurs en partie celles qui ont pu être observées chez des maîtres d'ouvrage (Lines et al. 2015) dans d'autres situations.

6.2.2.1 Reporter

Certains architectes évoquent l'intérêt qu'ils pourraient avoir à travailler sur ArchiCAD ou à mieux gérer leurs échanges avec les bureaux d'étude. Mais ils envisagent le BIM souvent uniquement par le biais des outils et sa mise en œuvre n'est pas leur priorité *« Je me poserai un jour la question réelle des outils. Le BIM n'est qu'un outil ; ce qui m'intéresse c'est les processus de conception et construction »*.

6.2.2.2 Abdiquer

L'abdication face aux nouvelles contraintes normatives peut se manifester de différentes manières. Elle peut consister, pour un architecte expérimenté, à réorienter son activité. Un architecte de l'échantillon nous confie : *« on [nous] demande toujours plus : plus de contraintes normatives, plus d'intervenants. Et il n'y a pas de contrepartie et de moins en moins d'honoraires. C'est en partie pour cela que j'ai arrêté mon agence. Tout cela demande une organisation professionnelle très différente de celle de l'agence que je me sentais capable d'avoir »*. Dans de nombreuses professions, la transition vers le numérique accélère un passage de génération. Cela a été observé par exemple chez les photographes : les plus âgés ont des difficultés à s'y adapter et décident de se retirer du métier (Maresca, Sagot-Duvaurox 2011). Chez les architectes, ce passage est d'autant plus intense que les nouvelles compétences des jeunes architectes sont très valorisées sur le marché du travail.

6.2.2.3 Déléguer

La sous-traitance ou l'externalisation du travail en BIM est une des stratégies observées à plusieurs reprises au cours des entretiens. Elle prend des formes assez variées.

Dans certaines situations, les dirigeants savent que le passage de l'agence sur d'autres outils va les éloigner de la production de l'agence. *« On a laissé une personne dans l'agence travailler sur ArchiCAD. Pour nous c'était un peu difficile à prendre comme décision, car on ne pouvait plus ouvrir*

le fichier un week-end et on n'y avait pas accès, car on n'était pas du tout formé. ». Souvent, ils utilisent les outils de l'agence depuis des années et savent qu'ils n'investiront pas les nouveaux outils. Le déploiement d'outils BIM dans une agence peut alors marquer l'éloignement des dirigeants avec la production, et retarder, voire empêcher leur décision.

D'autres situations consistent à circonscrire le déploiement d'outils BIM à une partie de l'agence seulement *« on travaille à deux. Moi je ne touche pas à ArchiCAD, c'est ma collègue qui le fait. »*. Dans les situations dans lesquelles les dirigeants ne souhaitent pas du tout mettre en place ces pratiques dans leur agence mais souhaitent continuer à travailler avec des maîtres d'ouvrage qui demandent des livrables BIM, alors c'est l'externalisation qui est envisagée : *« Le BIM a son intérêt. Je prendrai peut-être un jour un BIM manager, mais ce sera un extérieur. »*.

6.2.2.4 Minimiser

Cette stratégie peut se rapprocher sur plusieurs aspects de l'externalisation. Elle consiste à répondre aux exigences des maîtres d'ouvrages en termes de livrables, quitte à remplir manuellement un tableau censé être extrait de la maquette numérique.

6.2.2.5 Renoncer

Cette stratégie n'a pas à proprement parler été rencontrée au cours des entretiens. Cependant, nous avons rencontré une agence pour laquelle le déploiement de Revit l'a mise en péril économiquement. Son dirigeant n'a pas renoncé à mettre en place l'outil, mais il le fera de façon très progressive : *« on en est revenu pour deux raisons : on n'avait pas en face les bureaux d'étude qui maîtrisaient ; et en interne on a eu énormément de problèmes techniques liés à l'appropriation de l'outil »* ; *« la formation n'était pas préparée. On a dû tout reprendre pour créer notre espace de travail avec par exemple des gabarits. (...) Non seulement la formation et les outils nous ont coûté une fortune, mais en plus la mise en place de Revit a fait un trou dans notre productivité. J'aurais préféré payer le double et avoir quelque chose de plus adapté, on aurait évité des pertes colossales sur l'intégration du logiciel. »*.

6.2.2.6 Bloquer

Aucun des dirigeants interrogés n'a évoqué avoir empêché des employés de proposer la mise en place de pratiques BIM. Il reste cependant possible que des employés aient souhaité mettre en place des pratiques sans oser pour autant le leur proposer. Le type de relation hiérarchique, les positions du dirigeant et le mode de fonctionnement de l'agence peuvent contribuer à cela. On peut envisager qu'il existe des agences dans lesquelles des employés ont demandé à ce que des pratiques BIM soient implémentées et que cette demande a été rejetée. Cette donnée serait par ailleurs difficile à collecter, car nous avons accès principalement aux dirigeants d'agence dans le cadre de notre étude.

- ➔ Nous avons donc identifié **trois principales situations d'agences** par rapport à l'adoption de pratiques BIM : des agences qui sont au niveau de maturité 0 et dans lesquelles l'implémentation n'est pas envisagée, celles qui sont au niveau de maturité 0 et qui souhaitent déployer des pratiques BIM, et celles dans lesquelles plusieurs pratiques cohabitent.
- ➔ Nous avons également identifié plusieurs **stratégies d'évitement** que les agences mettent en œuvre pour éviter d'avoir à recourir à des pratiques BIM : Reporter, Abdiquer, Déléguer, Minimiser, Renoncer et Bloquer.

6.3 Les préoccupations des architectes

Nous présentons ici les principales préoccupations des architectes concernant le passage en BIM : les outils BIM, et les difficultés liées à l'implémentation.

6.3.1 Les outils de dessin : la principale préoccupation des architectes au sujet du BIM.

Les architectes sont donc moins préoccupés par les échanges avec des partenaires (niveau de maturité 2) que par le changement du principal outil de production de plans.

6.3.1.1 La nostalgie des « outils simples »

Plusieurs architectes expérimentés ont comparé la transition actuelle des agences vers le BIM avec leur informatisation dans les années 1990. Ils mettent en avant la **facilité d'utilisation des outils 2D** qui proposent des méthodes de dessin plus proches du dessin à la main : « la table à dessin numérique ». Parfois même, des outils prévus pour une 3D sémantisée sont utilisés en dessin bidimensionnel : *« en expérience professionnelle, j'ai commencé à travailler sur Vectorworks en 2D. C'était très proche de la main, cela simplifiait la réalisation de beaux plans et correspondait parfaitement au degré d'autonomie que je recherchais à la fois dans le dessin et ma démarche de projet ».*

Certains architectes nous ont confié apprécier travailler sur des outils de dessin numériques, mais ne pas être à l'aise avec les nouveaux outils : *« je ne suis pas un anti-informatique. J'ai vraiment apprécié commencer à travailler sur AutoCAD. Quand je me suis senti submergé par la nouvelle révolution informatique, j'ai trouvé ça très paradoxal ».* Une des hypothèses avancées dans la littérature scientifique sur ce phénomène concerne l'avancement dans la carrière. Ainsi, les jeunes diplômés seraient plus enclins à exploiter de nouveaux outils et à s'autoformer, car leur statut et leur carrière ne sont pas encore construits. Les plus expérimentés ont quant à eux connu plusieurs évolutions et souhaitent jouir de la stabilité acquise au fil des années. Ils seraient donc moins enclins à utiliser les nouveaux outils (Bagozzi, Davis, Warshaw 1992).

6.3.1.2 Une prise en main difficile et le manque de flexibilité des outils BIM

AutoCAD est très diffusé au sein des agences d'architecture. Il est souvent utilisé de façon complémentaire à SketchUp, notamment pour les phases de recherche ou pour la création de documents de rendu. Le manque de flexibilité et de liberté de dessin avec ces outils et la non-possibilité de contourner leurs fonctionnalités premières est souvent ce qui leur fait défaut pour les architectes *« je ne fais absolument pas de Revit dans les phases concours. Je trouve que les outils sont lourds, lents ; je préfère travailler avec des outils comme SketchUp ou Rhinoceros. »*

La problématique de flexibilité des outils s'étend bien au-delà du dessin et concerne également la formation et l'achat des licences de logiciels : *« la plupart du temps il n'y avait pas de formateur, on apprenait sur le tas. (...) Aujourd'hui pour faire ça sérieusement, il faut vraiment bien se former », « je suis aussi de la génération de ce type d'agence un peu bidouille où l'on ne payait pas beaucoup de licences. Mais sur les logiciels pointus d'aujourd'hui, ce n'est plus possible de faire cela ».*

Lorsqu'elle concerne le dessin, la question de la flexibilité concerne souvent les librairies et bibliothèques d'objets : *« j'avais essayé ArchiCAD quand j'étais en étude, je commençais à faire n'importe quoi en projet à cause du catalogue cela m'avait affolée. (...) ».* Cette même architecte nous a confié avoir récemment changé sa vision de l'outil lorsqu'elle a embauché un nouveau collaborateur formé et très opérationnel sur ArchiCAD : *« En fait, sur le plan, on peut garder des niveaux de flou, des représentations très schématiques même si c'est complètement dessiné sur la maquette 3D. On peut garder le niveau de marge de manœuvre nécessaire avant que le projet ne se cristallise. (...) Je ne pensais pas que c'était possible. Cela vient de ce que je vois chez les étudiants. J'enseigne le projet et toutes les semaines je vois des plans mal réalisés alors je m'étais dit que ce n'était pas possible ».*

Dans certains cas (comme dans la citation ci-dessus), les critiques des outils émanent d'une tentative d'appropriation qui a laissé un souvenir désagréable, ou d'un canal de communication ou de découverte peu adapté. Dans d'autres cas, la principale difficulté concerne des habitudes acquises sur les précédents outils qui ne trouvent pas tout à fait leur équivalent dans leurs nouveaux outils. Les nouvelles fonctionnalités ou les fonctionnalités éteintes semblent moins problématiques que celles qui existent toujours mais sous une autre forme. Du point de vue de l'appropriation et de la sélection des outils, ce phénomène s'apparente à une « dépendance au sentier » (Liebowitz, Margolis 1995; Garud, Kumaraswamy, Karnøe 2010).

6.3.2 Le déroulement de l'adoption

6.3.2.1 Le déclenchement de la transition

Plusieurs dirigeants reçus en entretien ont évoqué des éléments qui auraient déclenché leur souhait de mettre en place des pratiques BIM au sein de leur agence. Il s'agit généralement de **l'évolution progressive de la production de l'agence** associée à un **événement déclencheur plus ponctuel**.

Plusieurs dirigeants ont indiqué que leur réflexion sur la nécessité de réviser des pratiques au sein de l'agence (et peut-être de mettre en œuvre des pratiques BIM) est née d'une évolution progressive de sa production (type ou nombre de projets) : *« nos projets sont de plus en plus grands, et on a de moins en moins de temps. Il y a aussi de plus en plus de modifications demandées*

par les maîtres d'ouvrage (...). Tout cela fait que l'on n'est plus très sereins sur la correspondance entre les différents documents : on fait des bêtises et ce n'est plus possible.» nous indique une dirigeante. Dans une autre agence, c'est l'évolution rapide du nombre d'employés qui a nécessité une réorganisation des pratiques de travail *« on était moins de 10 il y a quelques années, maintenant on s'approche de 20 employés : il n'est plus possible de savoir toujours qui fait quoi alors il nous faut des outils qui centralisent les informations pour mieux collaborer au sein de l'agence ».*

Parallèlement à ce changement de contexte, c'est souvent un événement assez ponctuel qui fait basculer la situation et déclenche la décision de déployer des pratiques BIM au sein des agences : *« nous avons embauché un collaborateur pour renforcer ponctuellement notre équipe. On l'a laissé travailler sur ArchiCAD alors que nous travaillons tous sur Vectorworks ; j'ai alors découvert les possibilités du logiciel. Nous avons ensuite embauché un jeune diplômé qui est excellent sur ArchiCAD et on ne s'est pas retrouvé dans la panade. On va bientôt acheter des licences et tous faire une formation. ».*

Enfin, nous avons été surpris au cours des entretiens par la place que peut tenir la formation continue chez les architectes. Depuis 2016, le ministère de la Culture a mis en place un arrêté qui précise l'obligation déontologique des architectes de se former. Mais la formation continue est souvent vécue comme une réelle contrainte au sein des agences : *« aller en formation c'est bien, mais c'est aussi un peu déprimant parce qu'on mesure l'étendue de tout ce qu'on ne fait pas, ou qu'on fait de manière un peu olé olé ».* Lorsqu'elle touche des habitudes de longue date, la formation est difficile à accepter *« quand on travaille entre 30 et 45 ans, on est assez vif, et il y a une sorte d'autoformation qui est réelle. Vers 50 ans, c'est plus difficile de se recycler et de se remettre en cause. ».* Ces derniers témoignages sont particulièrement intéressants, car ils concernent les dirigeants expérimentés. Ces derniers utilisent les outils de production graphique de l'agence : ils savent que le passage de l'agence à des outils BIM les éloignera de la pratique. Ce phénomène est apparu courant au cours des entretiens, et **pourrait être un facteur important de la non-utilisation d'outils BIM dans les agences d'architecture.**

6.3.2.2 Le choix de l'outil

Plusieurs témoignages ont mis en évidence de façon implicite que le choix de l'outil de modélisation BIM n'était pas nécessairement issu d'une comparaison approfondie entre plusieurs solutions : il s'agit souvent d'une opportunité.

Le logiciel le plus plébiscité dans l'école d'architecture la plus proche semble influencer les pratiques des agences aux alentours. On suppose ici que c'est l'enseignement qui a précédé la pratique dans les agences et non l'inverse, car l'influence des compétences des jeunes diplômés a été observée sur le choix des outils.

L'écosystème logiciel utilisé auparavant dans l'agence peut influencer également le choix des nouveaux outils. Parfois, les architectes choisissent par exemple Revit pour rester sur une interface proche de leur précédent outil de dessin : AutoCAD. Cependant, certains architectes nous ont indiqué avoir choisi volontairement un outil complètement différent de celui utilisé précédemment (passer d'AutoCAD à ArchiCAD par exemple, ou de Vectorworks à ArchiCAD) pour faciliter la transition et repartir sur une nouvelle base d'apprentissage.

Un dirigeant nous confie : *« on a choisi Revit parce qu'on a toujours travaillé avec la suite Autodesk. Je suis d'ailleurs un vieil utilisateur de 3ds max et on travaille actuellement sur AutoCAD. Mais ce n'est pas uniquement une question d'interface : ce qui m'intéresse, c'est d'être capable de travailler avec des objets paramétriques ».*

6.3.2.3 Sur le déroulement de l'implémentation du BIM

L'implémentation (ou déploiement) du BIM est un moment difficile pour l'agence et inconfortable pour les personnes qui y travaillent. Alors que l'investissement en temps et en argent est considérable, la productivité baisse après l'implémentation, car l'appropriation des outils nécessite du temps. Cela augmente également le stress des individus au travail. Les agences adoptent des stratégies différentes face à ces difficultés : certaines envisagent une transition douce et étalée dans le temps, d'autres planifient les formations à des moments creux pour limiter l'effet de la perte de productivité. D'autres agences enfin sont surprises par les effets négatifs de l'implémentation lorsqu'elles ne les ont pas anticipés. Un dirigeant nous confie sa stratégie : *« souvent ceux qui ont fait la transition nous disent qu'il faut arrêter AutoCAD et passer sur Revit, je pense que c'est faux parce qu'on perd trop notre outil de production. Il faut le faire petit à petit : on est en train de reprendre d'anciens projets à nous sur Revit pour constituer progressivement nos gabarits ».* Une dirigeante d'une autre agence précise : *« on ne se voit pas prendre un projet qui a été commencé sur Vectorworks pour le migrer sur ArchiCAD. Il faut finir les projets en cours et commencer à utiliser ArchiCAD sur les nouveaux projets entant. On a justement planifié la formation sur une période un peu creuse avant de nouveaux projets. ».* Plusieurs dirigeants nous ont par ailleurs indiqué craindre le départ de certains collaborateurs après la formation et la nécessité pour eux de réinvestir dans une formation.

- ➔ Les entretiens ont montré que la principale préoccupation des architectes concernant l'implémentation de pratiques BIM concernait les outils de conception : ils soulignent le manque de liberté dans la conception avec les outils BIM de conception.
- ➔ La transition est généralement **déclenchée** à la fois par **l'évolution progressive de la production de l'agence associée à un événement déclencheur ponctuel** (souvent un jeune diplômé embauché). Les architectes soulignent également la **difficulté de l'implémentation**.

6.4 Synthèse et conclusion sur les entretiens

La manière dont les dirigeants d'agence se positionnent par rapport au BIM varie très fortement d'une agence à l'autre. Certains y sont très favorables et ont même commencé à le mettre en œuvre, d'autres sont plus réservées et envisagent les possibilités d'y échapper pour encore quelques années. Dans tous les cas, **la question du déploiement de pratiques BIM passe, pour eux, principalement par la révision des outils de dessin qu'ils utilisent, car la plupart d'entre eux travaillent avec AutoCAD.**

Lorsqu'ils sont interrogés sur le BIM, les architectes n'évoquent généralement pas spontanément les **processus de travail** ou d'échange : ils sont assez focalisés sur les outils de dessin et de conception. Lorsqu'ils évoquent leurs échanges et collaborations avec les bureaux d'étude ou les maîtres d'ouvrage, ils indiquent souvent que ces derniers sont assez peu opérationnels sur des pratiques et outils BIM. Les architectes qui ont mis en place des pratiques BIM déplorent le manque de rigueur et de précision de la part des maîtres d'ouvrages dans les livrables BIM.

Le logiciel utilisé pour concevoir et produire des plans occupe une place particulière chez les architectes. Il n'est pas seulement un outil de dessin : il participe de la conception. Le lien entre la qualité de la production architecturale, la démarche de conception et l'outil de production est quasiment systématique par les architectes que nous avons interrogés. Ainsi, le déploiement d'un nouvel outil questionne souvent leur identité d'agence en tant que groupe social, mais aussi leur production qu'ils craignent voir dénaturée par le changement d'outil. Pour le dirigeant d'agence qui exerce depuis de nombreuses années, l'outil de production de l'agence est aussi ce qui le lie à la production : il sait qu'une transition peut l'en éloigner et repousse donc l'implémentation.

Plusieurs architectes ont pointé le **manque de flexibilité des outils BIM**, auxquels ils préfèrent les outils de dessin 2D et 3D plus intuitifs et plus proches des automatismes du dessin à la main. Nous avons observé également une forme de désinformation auprès des architectes sur les possibilités des outils comme ArchiCAD et Revit. Ils ont souvent évoqué certaines fonctionnalités qui d'après eux n'existaient pas, qui étaient en réalité intégrées aux outils depuis de nombreuses années (si ce n'est depuis leur création). Il est possible que la communication des éditeurs de logiciels ne soit pas très adaptée aux besoins des architectes : sur le BIM, ils semblent mettre de plus en plus l'accent sur l'interopérabilité alors que beaucoup d'architectes doutent de leurs fonctionnalités de leur utilité pour leur pratique.

L'utilisation de **versions non officielles des logiciels** semble assez répandue. Cette utilisation peut concerner une période longue lorsque l'agence est assez petite et que la multiplication et non mise en commun des outils de production correspond au fonctionnement normal de l'agence. Mais

cette utilisation des versions non officielles semble également bénéficier aux éditeurs, puisqu'elle est parfois un tremplin vers la transition de l'agence, et donc de l'achat de plusieurs licences.

Les **jeunes architectes** formés sur les outils BIM jouent un rôle important dans la transition des agences. Ceux qui mettent en avant leurs compétences BIM trouvent un emploi très rapidement et sont parfois chargés de mettre en place le cadre de travail permettant à l'agence de travailler avec ces outils. Les outils qu'ils maîtrisent trouvent plus facilement la faveur du dirigeant de leur agence lorsqu'il décide de mettre en place des pratiques BIM et de confier au jeune diplômé la mise en place de gabarits de travail.

Une partie des architectes redoutent une obligation de mettre en œuvre des pratiques BIM. Ils mettent en œuvre, consciemment ou inconsciemment, des **stratégies qui leur permettent de repousser, limiter ou éviter le recours à ces pratiques**. Certaines de ces stratégies ont pour conséquence de détourner les agences des types de projets qu'elles réalisaient auparavant. D'autres accélèrent le passage de génération dans la profession. Les entretiens ne permettent pas d'envisager l'ampleur de ces phénomènes.

La **décision de déployer le BIM** dans une agence semble souvent due à la combinaison de l'évolution progressive des pratiques de l'agence et d'un événement déclencheur plus ponctuel. Le fonctionnement peu structuré des agences semble également particulièrement incompatible avec la mise en place de telles pratiques et entre en conflit avec les valeurs sur lesquelles elles se sont construites (liberté d'action de chacun au sein de l'agence, organisation interne de la collaboration à géométrie variable, flexibilité sur la charte graphique).

Les entretiens ont montré que **l'étape d'implémentation** était difficile pour l'agence qui la réalise et pour ses membres. Dans certains cas, le déploiement peut la mettre en péril et éventuellement échouer, malgré l'investissement réalisé. Les entretiens ont également mis en évidence le fait que plusieurs dirigeants qui souhaitent déployer des pratiques BIM dans leur agence se sentent démunis face à l'investissement nécessaire et aux risques encourus par leur agence dans ce déploiement. Ils mettent également en évidence un manque d'accès à des formations, guides et accompagnement adaptés.

Enfin, alors que la communication et l'engouement pour les pratiques BIM dans la communauté scientifique et le secteur de la construction se cristallisent sur l'échange d'information, les architectes évoquent principalement le changement d'outil de travail et la rationalisation de leur pratique en interne. Plusieurs agences qui ont déjà mis en place des échanges ponctuels avec des bureaux d'étude n'ont pas vécu cette transition comme radicale. D'un point de vue organisationnel (micro), c'est le passage du niveau 0 au niveau 1 qui est particulièrement restructurant pour les agences.

Une enquête par questionnaire auprès des agences

Dans cette partie, nous présentons l'enquête par questionnaire que nous avons réalisée auprès d'agences d'architecture françaises. Celle-ci a été diffusée à grande échelle grâce à la collaboration du Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA), ce qui nous a permis de recueillir près de 900 réponses complètes. Nous présentons ici la méthode et les résultats obtenus grâce à cette enquête. En cohérence avec la perspective pragmatique de cet ouvrage, nous avons étendu la logique d'investigation « empirique » du terrain à l'analyse de données statistiques en mettant en œuvre plusieurs méthodes d'analyse statistique différentes sur des mêmes données. Cela a permis d'affiner progressivement et de façon relativement avancée notre compréhension des données recueillies. Les résultats de l'enquête par entretiens ont été intégrés à l'analyse de l'enquête par questionnaire de façon à restituer le caractère incrémental du processus de compréhension du phénomène étudié (par opposition à une logique de constitution puis test d'hypothèse).

7.1 Préparation et diffusion de l'enquête

Dans cette partie, nous présentons les objectifs de notre enquête ainsi que sa préparation et sa diffusion.

7.1.1 Les enquêtes sur l'adoption du BIM

Les enquêtes sur l'adoption du BIM sont très nombreuses au niveau international. Néanmoins, toutes les enquêtes ne font pas preuve de la même rigueur. On pourrait les classer en trois catégories :

- les **enquêtes marketing**, souvent financées par des éditeurs de logiciel, elles sont généralement réalisées sur des panels de répondants assez faibles et ont vocation à aider les éditeurs à développer leur stratégie commerciale (ex. : (McGraw Hill Construction 2014; McGraw Hill Construction et al. 2010)).
- les **enquêtes scientifiques** sont réalisées par des chercheurs et financées avec de l'argent public. Plus rigoureuses que les enquêtes marketing, elles peinent généralement à toucher un public large (ex. : (Kassem, Succar 2017))
- les **enquêtes « média »** sont réalisées par des médias spécialisés sur la construction ou des réseaux sociaux spécialisés sur le BIM. Généralement peu rigoureuses, elles touchent des panels généralement plus importants que les enquêtes scientifiques (ex. : (Groupe BATIACTU 2018)).

Les enquêtes marketing, bien que très populaires, sont généralement peu rigoureuses (Kassem, Succar 2017). Les enquêtes scientifiques sont plus rigoureuses mais les chercheurs rencontrent souvent des difficultés pour la diffusion de leurs enquêtes qui présentent donc des panels assez faibles. Lorsque des enquêtes sont réalisées à l'échelle internationale, il est rare que la France soit étudiée.

En France, un premier baromètre a permis de sonder l'état de la diffusion du BIM en France en 2017, avec une enquête reconduite chaque année pour suivre l'évolution du secteur (Batiactu, PTNB 2017 ; Groupe BATIACTU 2018). Dans l'ensemble de ces enquêtes, les architectes sont généralement assez peu représentés ou sont confondus dans les chiffres de la maîtrise d'œuvre.

Autodesk a réalisé une étude sur le secteur français qui implique une forte proportion d'architectes (Autodesk 2019) : d'après cette enquête, 66 % des architectes pratiquent le BIM, mais ce résultat semble peu fiable. Les enquêtes concernant la profession d'architecte (notamment les Archigraphie, portées par le CNOA) n'étudient que très peu les pratiques BIM.

D'un côté, les **enquêtes sur l'adoption du BIM étudient peu les agences d'architecture et sont généralement peu rigoureuses**, et de l'autre, **les enquêtes sur la profession d'architecte en France se focalisent très peu sur les pratiques BIM**. Notre connaissance des pratiques numériques et collaboratives des agences d'architecture en France est donc très lacunaire. Cette enquête a vocation à combler une partie de ces lacunes.

7.1.2 Élaboration, mode de passation et administration du questionnaire

Nous présentons ici les objectifs de l'étude ainsi que la structure du questionnaire et la manière dont il a été diffusé.

7.1.2.1 Cadre et objectifs de l'étude

La présente enquête porte sur la manière dont les agences d'architecture appréhendent, utilisent et mettent en œuvre des pratiques BIM. Les objectifs de l'étude sont multiples :

- **Objectif 1 :**
 - Déterminer la **structure du secteur de l'architecture** et cartographier les pratiques de travail des agences.
- **Objectif 2 :**
 - Connaître **l'état des pratiques numériques et BIM** dans les agences d'architecture.
- **Objectif 3 :**
 - Sonder **l'appréciation du BIM** par les architectes.
- **Objectif 4 :**
 - Identifier **les facteurs qui influencent la décision** d'adopter des pratiques BIM.
- **Objectif 5 :**
 - Identifier **la manière dont les agences implémentent** des pratiques BIM.
- **Objectif 6 :**
 - Identifier **les facteurs qui influencent le succès de l'implémentation** des pratiques BIM.

La phase de rédaction d'un questionnaire est généralement précédée (1) d'un état de l'art sur les méthodes déjà employées par les chercheurs pour étudier le sujet ainsi que leurs résultats, (2) d'une pré-enquête par entretiens pour se familiariser avec la manière dont les acteurs perçoivent le sujet, (3) d'un questionnement théorique qui alimente le travail de rédaction du questionnaire (De Singly 2016).

Pour étudier la démographie des agences d'architecture (objectif 1), les questions ont été construites sur les composantes des entreprises déterminées précédemment¹⁰⁰. Les questions sur les pratiques numériques, notamment BIM (objectifs 2 et 3), ont été construites sur la notion de niveau de maturité des pratiques CAO et sur le processus d'adoption. Pour étudier la décision de l'adoption du BIM (objectif 4), nous avons utilisé le modèle de facteurs d'adoption proposé précédemment¹⁰¹, ainsi que le processus d'adoption du BIM¹⁰². Pour étudier l'implémentation du

¹⁰⁰ Il s'agit des catégories et types de facteurs du domaine « contexte interne ». Voir partie 5.4.2, « Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM au niveau Micro », p.163

¹⁰¹ *Ibid.*

¹⁰² Voir partie 4.3, « Processus d'adoption du BIM : proposition d'un modèle unificateur. », p.121

BIM (objectifs 5 et 6), nous avons utilisé les mêmes littératures, mais également notre état de l'art sur la gestion et conduite du changement.

Tableau 14. Relations entre les objectifs de l'étude et les socles théoriques utilisés

<i>Objectif</i>	<i>Aspect étudié dans le questionnaire</i>	<i>Socle théorique utilisé</i>
1	Structure des agences et modes de travail	Structure des entreprises
2,3	Pratiques numériques	Niveaux de maturité des pratiques CAO
4	Décision d'adoption	Processus d'adoption Facteurs d'adoption Diffusion des innovations
5,6	Implémentation	Processus d'adoption Facteurs d'implémentation Gestion du changement

Les aspects dégagés dans les différentes études de littérature que nous avons réalisées sont très nombreux : il a été nécessaire d'en faire le tri. Les entretiens et cas d'étude ont permis d'identifier les aspects les plus saillants qui devaient faire l'objet d'un approfondissement par étude quantitative.

7.1.2.2 Un questionnaire en plusieurs parties

Un questionnaire sur un ensemble de pratiques compte souvent deux parties : une sur l'objet d'étude, et une sur les déterminants sociaux (De Singly, 2016). Les déterminants sociaux sont des caractéristiques ou pratiques des individus qui peuvent être liées à l'expression de la pratique qui est l'objet d'étude (les pratiques BIM dans notre cas). Les déterminants sociaux, généralement appliqués à des **individus** sont ici appliqués à l'étude des **organisations**. Dans notre cas, ils correspondent aux facteurs qui ont été identifiés et référencés précédemment.

Le questionnaire est organisé en **dix sous-parties** (SP) regroupées **trois grandes parties**. Cette division a vocation à rendre le questionnaire lisible et progressif pour le répondant.

La **première partie** concerne les caractéristiques des individus qui répondent au questionnaire, ainsi qu'aux agences dans lesquelles ils travaillent. La **seconde partie** correspond aux pratiques numériques de l'agence. La **troisième et dernière partie** correspond à l'étude des pratiques d'implémentation dans l'agence, et est réservée aux agences dont on a identifié qu'elles pourraient avoir implémenté des pratiques BIM de niveau 1 ou 2. Le questionnaire se conclut sur une sous-partie qui laisse la possibilité aux répondants de laisser un commentaire et de laisser son adresse mail pour que les résultats lui soient communiqués ¹⁰³.

¹⁰³ Le questionnaire complet est disponible en Annexe 5 p. 385. Il est également disponible sous plusieurs formes sur le lien suivant : https://github.com/Elodie3h/BIM_Adoption_Thesis/tree/main/CH7_Questionnaire

- **1. CARACTÉRISTIQUES DES RÉPONDANTS ET AGENCES - total 21 questions**
 - SP1 : Profil professionnel du répondant (5)
 - SP2 : Informations générales sur l'entreprise (6)
 - SP3 : Le travail au sein de l'entreprise (10)
- **2. PRATIQUES NUMÉRIQUES AU SEIN DE L'AGENCE - total 13 questions**
 - SP4 : L'agence et sa relation aux outils numériques (4)
 - SP5 : Les outils de travail de l'agence (6)
 - SP6 : Les éléments déterminants dans la décision d'intégrer ou non des pratiques BIM (3)
- **3. PRATIQUES D'IMPLÉMENTATION - total 23 questions**
 - SP7 : Intégration du BIM à l'agence : déroulement et mise en œuvre (5)
 - SP8 : Intégration du BIM à l'agence : mise en œuvre détaillée (11)
 - SP9 : Bilan sur l'intégration du BIM à l'agence (7)
- **FIN DU QUESTIONNAIRE**
 - SP10 : Merci d'avoir répondu ! (2)

Un protocole de test a été mis en place pour vérifier l'intelligibilité des questions avant la diffusion. Une première version de celui-ci a été administrée à un panel de 6 personnes¹⁰⁴.

Le questionnaire a été testé par des personnes aux profils variés dans le but de relever d'éventuelles incohérences sur le parcours personnalisé du questionnaire, car l'affichage de certaines conditions était conditionné à certaines combinaisons de réponses. Les différentes évaluations réalisées ont permis de corriger quelques points de syntaxe, vocabulaire, et la mise en forme de quelques questions.

7.1.2.3 Mode de passation et d'administration du questionnaire

Le questionnaire a été entré sur *LimeSurvey*, un outil professionnel de questionnaire en ligne. Un lien¹⁰⁵ a été créé et diffusé dès le début du mois de mars 2019 sur les réseaux sociaux et sites internet du laboratoire MAP et de l'ENSA Nancy (twitter, Facebook, LinkedIn). Le Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) l'a diffusé *via une newsletter à ses 30 000 inscrits*¹⁰⁶ le 2 avril 2019 et sur son site internet¹⁰⁷ le 8 avril 2019. Un second envoi mail a eu lieu une semaine après le premier. La thématique « BIM » du questionnaire a été annoncée dès la diffusion. Notons que cela a pu avoir un impact sur le nombre et la qualité des réponses obtenues avec éventuellement des réponses plus polarisées et moins de répondants indifférents à la thématique

¹⁰⁴ Chaque répondant-testeur s'est présenté au laboratoire et a pu répondre au questionnaire sur un ordinateur dans les mêmes conditions que celles envisagées pour la diffusion à grande échelle (sur un navigateur internet). Pendant la phase de réponse, les testeurs avaient à leur disposition une fiche comprenant le code des questions pour inscrire leurs éventuelles remarques. Un échange avait ensuite eu lieu entre le chercheur et le testeur au sujet du questionnaire.

¹⁰⁵ <https://architecture.limequery.net/994452?lang=fr>

¹⁰⁶ La liste du CNOA comprend principalement des architectes inscrits au tableau de l'ordre.

¹⁰⁷ <https://www.architectes.org/actualites/questionnaire-le-bim-dans-les-agences-d-architecture>

du BIM. **L'analyse des résultats** a été réalisée avec R et Rstudio, un environnement dédié à l'analyse statistique et au traitement de grands volumes de données.

7.1.3 Profil des répondants et des agences représentées

Nous présentons ici des données générales sur la population d'agences enquêtée.

7.1.3.1 Diffusion du questionnaire et représentativité du panel

2025 personnes ont ouvert le questionnaire et rempli quelques réponses. 894 d'entre elles sont allées au bout du questionnaire et ont envoyé une réponse complète. Seules ces dernières ont été analysées pour faciliter l'interprétation des résultats et limiter les biais d'analyse en particulier pour les corrélations. La plupart des réponses ont été collectées suite aux diffusions du CNOA (554 réponses lors de la première diffusion par mail du CNOA, voir **Figure 46**).

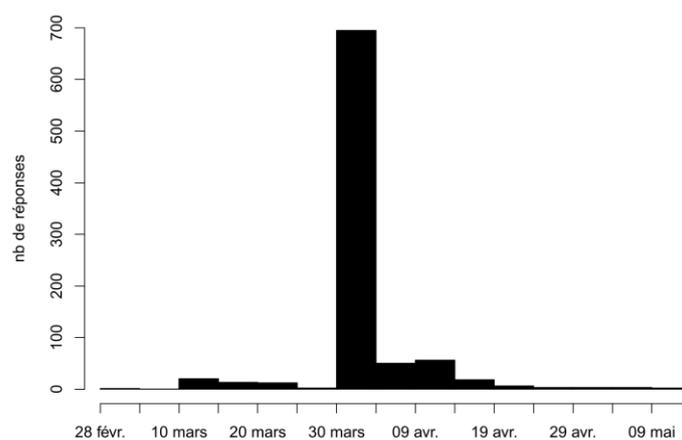


Figure 46. Histogramme du nombre de réponses par date (année 2019).

Les personnes ayant répondu au questionnaire sont principalement des dirigeants d'agence, ou des associés (voir **Figure 47**). Cela correspond aux profils inscrits à la newsletter du CNOA.

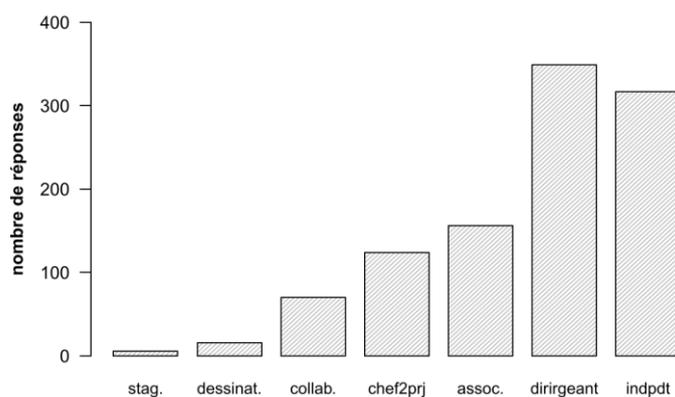


Figure 47. Poste du répondant au sein de l'entreprise pour laquelle il répond.

Note de lecture : 151 répondants (soit 17 % du total) ont indiqué avoir le statut d'associé dans leur agence. Notez qu'ils ont pu répondre à plusieurs options et ont pu cocher également la case « chef de projet ». Voir Tableaux de valeurs, Annexe 11, Tableau 41 p.405.

22.7 % des agences du panel sont situées en île de France, c'est la région la plus représentée (voir **Figure 48**). Moins de 5 % des agences ayant répondu sont en régions Normandie, Centre-Val de Loire et Bourgogne-Franche-Comté. Ces résultats sont très proches des chiffres officiels publiés par le CNOA (2018) pour la répartition des agences en France. La région Grand Est est légèrement surreprésentée dans notre cas, ce qui est probablement dû à la diffusion plus importante du questionnaire au niveau local. **La représentativité du panel sur le plan de la répartition géographique est solide.**

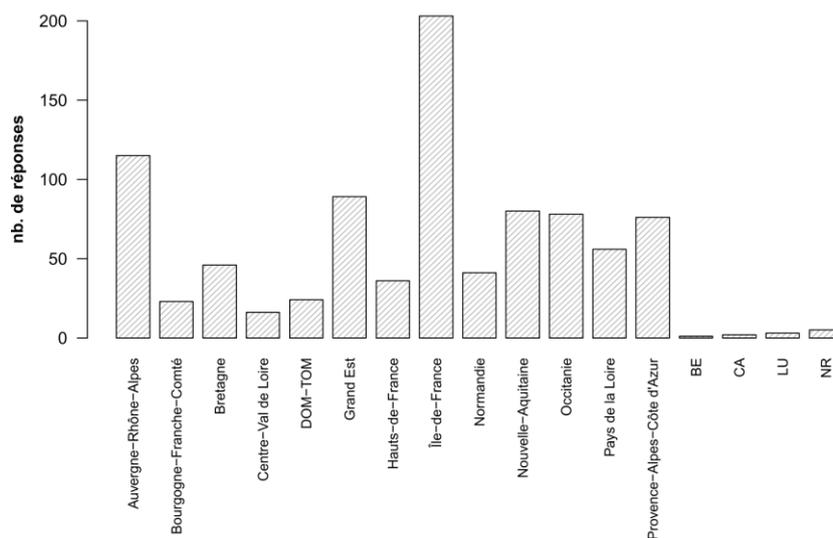


Figure 48. Localisation des agences représentées dans l'enquête

Note : BE, CA et LU représentent la Belgique, le Canada et le Luxembourg. NR signifie « Non-Réponse ». Ces données n'ont pas été exclues du panel. (Voir Tableaux de valeurs, Annexe 11, p. 405, Tableau 42)

Dans le panel de répondants, plus de 70 % des entreprises d'architecture compte très peu d'employés : 40.7 % des agences de 1 à 5 personnes et 29.4 % en indépendant (voir **Figure 49**). Le panel compte légèrement moins de très petites entreprises que les chiffres de la population des agences présentés par le CNOA (2018) (10 % de moins d'agences de 1 à 5 personnes), mais cela pourrait s'expliquer par la légère différence de méthode de calcul utilisée¹⁰⁸. Ces éléments permettent d'indiquer que la représentativité du panel est solide sur le plan de la taille des agences.

¹⁰⁸ Les chiffres de notre étude ne sont pas tout à fait comparables à ceux du CNOA qui ont été calculés par nombre d'employés et non par nombre de personnes. Cette différence a été découverte au cours de l'analyse des résultats de l'enquête. Pour déterminer la taille des agences, la question a été posée dans ces termes : « Combien de personnes travaillent dans l'entreprise ? » (Q08). Il ne s'agit pas du nombre d'employés ou du nombre d'équivalent temps plein, mais bien du nombre de personnes. Les testeurs du questionnaire avaient bien compris la question dans ce sens.

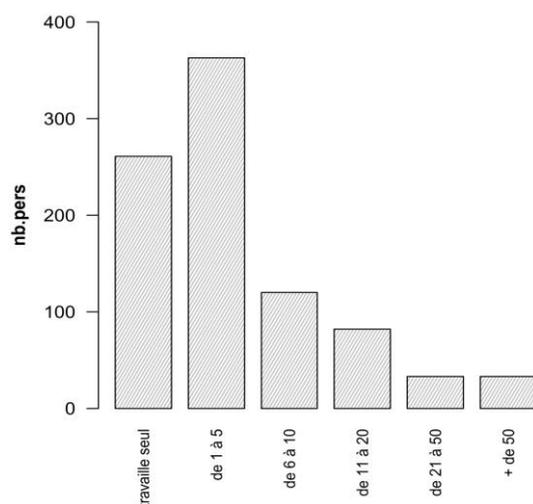


Figure 49. Nombre de personnes travaillant dans l'entreprise (dirigeant inclus)
(voir Tableaux de valeurs, Annexe 11, p. 405, Tableau 43)

Le statut juridique des entreprises (sociétés et assimilées/entreprises individuelles/groupements et assimilés) n'a dans notre cas pas été enquêté¹⁰⁹.

Dans l'ensemble la représentativité du panel a été vérifiée par rapport aux chiffres publiés par le CNOA sur la localisation et la taille des agences d'architecture. **La représentativité du panel de répondants de l'étude par rapport à ces données officielles est solide.**

7.1.3.2 Les agences d'architecture

Les agences d'architecture sont en grande majorité de très petites structures. La plupart d'entre elles sont également assez jeunes (**Figure 50**).

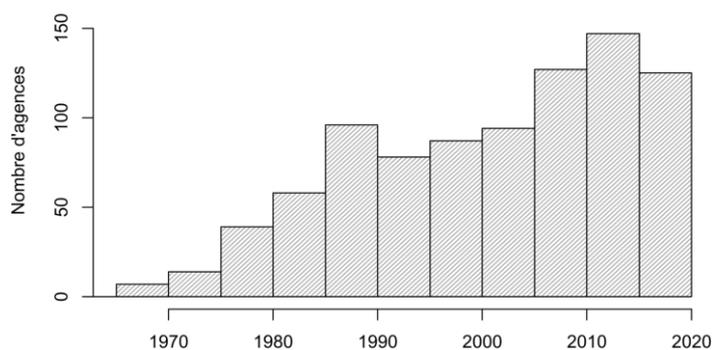


Figure 50. Histogramme représentant la répartition du nombre d'agences par rapport à leur année de création

90 % des agences ont indiqué travailler régulièrement avec des BET¹¹⁰ extérieurs. Dans ce cas, elles travaillent généralement avec les mêmes mais seuls 40 % d'entre elles ont mis au point des

¹⁰⁹ Lors de l'analyse, nous avons regretté le fait que cette information ait été manquante : elle aurait permis d'affiner l'analyse et de croiser certaines pratiques internes avec le statut des entreprises.

¹¹⁰ Bureaux d'Études Techniques

processus de travail et protocoles d'échanges de fichiers avec ces BET ¹¹¹. Des données complémentaires sur la taille et le type des projets que les agences réalisent, le type de hiérarchie, l'expérience moyenne du dirigeant, des employés ainsi que le renouvellement des équipes sont disponibles en Annexe 11, p.405 ¹¹².

→ Le caractère temporaire des équipes de projets dans le secteur de la construction ralentit la diffusion des innovations en son sein (Turk 2000). Il existe pourtant une régularité dans les partenaires des agences, en particulier pour les marchés privés. Cela constitue un terrain favorable à la mise en place de pratiques BIM.

¹¹¹ Voir Annexe 11, Tableau 52 et Tableau 52, p.406.

¹¹² Nous ne les avons pas détaillées et décrites ici en tri à plat, car il s'agit de variables que nous avons corrélées à d'autres variables.

7.2 Organisation et cartographie du secteur de l'architecture

Les entretiens et notre état de l'art ont montré que les pratiques au sein des agences étaient très variées mais aussi que **certaines agences partageaient de nombreuses caractéristiques** (taille, types de projets, fonctionnement interne, etc.). Plusieurs études suggèrent qu'il existe un **lien entre certaines caractéristiques** des agences et **leur propension à mettre en œuvre des pratiques BIM**. Par exemple, les petites agences auraient des difficultés à mettre en œuvre des outils et pratiques BIM, car elles n'ont généralement pas le budget suffisant et ont des pratiques très artisanales.

Partant de ces différentes hypothèses, nous avons tenté (1) d'identifier d'éventuelles typologies d'agences sur la base de leurs pratiques de travail et données démographiques afin de pouvoir par la suite les croiser avec les pratiques BIM des agences. L'objet de **cette partie** est de **croiser les différentes données démographiques des agences** afin de dégager **une cartographie du secteur de l'architecture et d'identifier ces éventuelles typologies d'agences**. Nous avons pour cela eu recours à une **Analyse des Correspondances Multiples (ACM)**. Ce type d'analyse multivariée est utilisée en sociologie pour dresser une typologie des individus, c'est-à-dire des « groupes d'individus homogènes du point de vue de leurs ressemblances » (Husson et al. 2016). Des détails sur l'intérêt, et l'interprétation des ACM sont présentés en Annexe¹¹³.

7.2.1 Espace socio-économique des agences d'architecture (ESÉAA)

Une ACM a été réalisée avec les caractéristiques internes des agences détaillées (voir Tableau 15). Il s'agit des caractéristiques qui ont été identifiées, lors des entretiens ou de l'état de l'art, comme étant représentatives des pratiques d'une agence. Ce sont également celles qu'on lie parfois à leur niveau de maturité BIM (ex. : « les petites agences ne travaillent pas en BIM »). Par cette ACM, nous avons souhaité différencier des « populations » ou « groupes » d'agences sur la base de leurs pratiques internes.

Tableau 15. Variables actives utilisées pour réaliser l'ACM

<i>Nom de variable</i>	<i>Description de la variable</i>
<i>anc.ag</i>	Ancienneté de l'agence
<i>BET.mm.svt</i>	L'agence travaille régulièrement avec les mêmes BET
<i>proj.mou</i>	Type de maîtrise d'ouvrage avec laquelle l'agence travaille le plus souvent
<i>Psiz</i>	Taille moyenne des projets réalisés par l'agence
<i>trav.div</i>	Mode de division du travail
<i>XP.dir.unique</i>	Nombre d'années d'expérience du dirigeant
<i>typ.hier</i>	Type de hiérarchie au sein de l'agence
<i>turnover</i>	Renouvellement de personnel
<i>dir.ut.outils</i>	Niveau de participation du dirigeant à la production graphique à l'agence
<i>nb.pers</i>	Nombre de personnes travaillant à l'agence

¹¹³ Voir Annexe 8, « Aide à la lecture : l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) », p.400

7.2.1.1 Nuage des individus : trois groupes d'agences

Sur le nuage de points obtenu via l'ACM (**Figure 51**), chaque point représente une agence. Les regroupements de points correspondent aux agences qui partagent plusieurs caractéristiques¹¹⁴ (elles sont de même taille, réalisent des projets de taille similaire, etc.). Les points très foncés correspondent à une superposition de plusieurs agences, et donc à des agences qui ont coché des réponses identiques à toutes les questions du questionnaire ici exploitées pour l'ACM. Plus un point représentant une agence est éloigné du centre de la figure, plus cette agence a des caractéristiques rares dans la population étudiée.

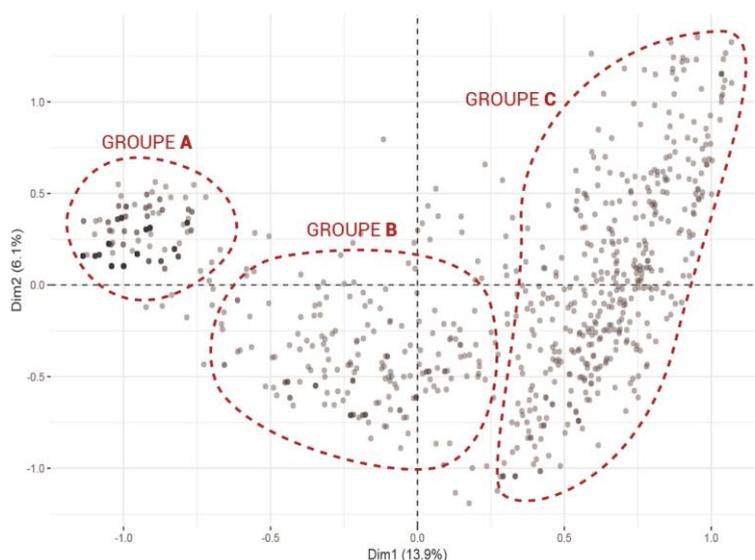


Figure 51. Résultat de l'ACM : nuage des individus.
Note : les annotations en rouge ont été ajoutées pour faciliter la lecture

Le **nuage des individus (Figure 51)** prend une forme de parabole, il s'agit d'une configuration très classique appelée effet Guttman qui indique que les liens entre les réponses des individus sont multiples (Cibois, Mercklé 2015). On observe **trois zones de densité de points** : sur la gauche (GROUPE A), au centre (avec un nuage plus diffus mais quelques points superposés) (GROUPE B), et sur la droite, avec un groupe en longueur (GROUPE C). Il y a donc trois groupes d'agences aux caractéristiques différentes qui se sont dégagés.

Explorons les rapports de corrélation (**Figure 52**) pour identifier ce qui différencie ces trois groupes sur les dimensions 1 et 2.

¹¹⁴ Voir Annexe 8, « Aide à la lecture : l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) », p.400

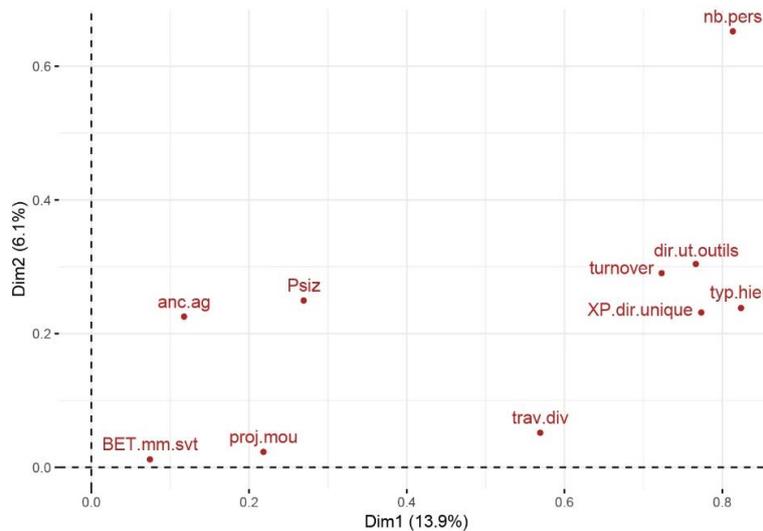


Figure 52. Rapports de corrélation pour chacune des variables de l'ACM

La **Figure 52** représente les rapports de corrélation des différentes variables testées sur les deux dimensions étudiées de l'ACM. Les variables qui présentent un fort rapport de corrélation sur une dimension sont celles qui différencient le mieux les individus les uns des autres sur cette dimension.

La **première dimension** (Dim1) résume bien le **nombre de personnes** dans l'agence ainsi que le **type de hiérarchie**, les **années d'expérience du dirigeant** et son **utilisation des outils numériques**. La **seconde dimension** (Dim2) représente bien le **nombre de personnes dans l'agence**.

Pour chaque variable, le nuage de points peut être **colorisé par modalité**. Cela permet d'observer la répartition des modalités sur le nuage des individus. Nous explorons d'abord les variables qui différencient le plus les individus qui ont été identifiés précédemment.

La taille des agences (Figure 53) différencie fortement les agences et les groupes les uns des autres : le groupe A correspond aux indépendants qui exercent seuls, le groupe B est composé de petites agences (de moins de cinq personnes) et le groupe C est composé d'agences plus variées qui vont des petites agences aux plus grandes.

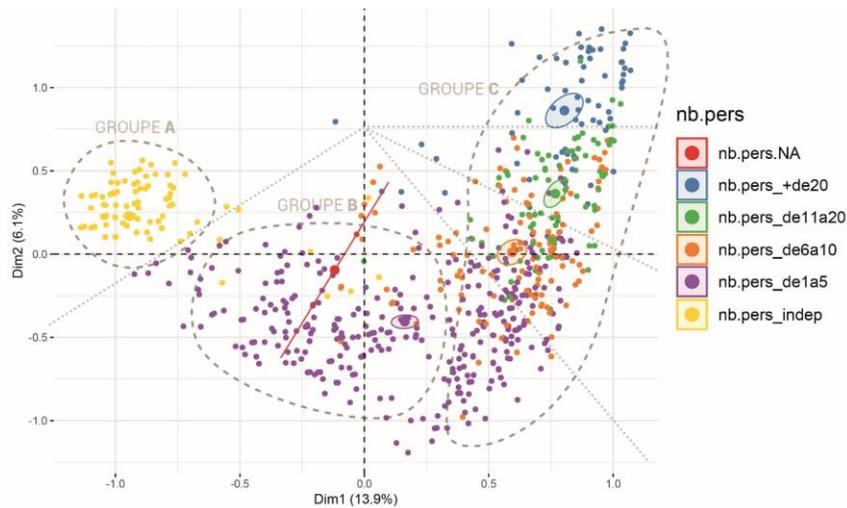


Figure 53. Nuage des individus coloriés par modalités pour la variable « nb.pers » (nombre de personnes à l'agence)¹¹⁵
 Note : les traits en points représentent des séparations entre modalités positionnées manuellement

Le **nombre d'années d'expérience du dirigeant (Figure 54)** est une variable qui différencie les agences les unes des autres. Le groupe A n'a pas eu accès à la question. Une grande partie du groupe B n'a pas répondu non plus, tandis que les autres présentent des dirigeants plutôt jeunes (avec une expérience professionnelle de moins de dix ans, ou moins de vingt ans). Le groupe C (agences un peu plus grandes) concerne des agences qui sont des dirigeants en moyenne plus expérimentés, ou plusieurs dirigeants aux profils variés. Dans ce groupe, les agences les plus petites sont aussi celles qui ont les dirigeants les plus jeunes.

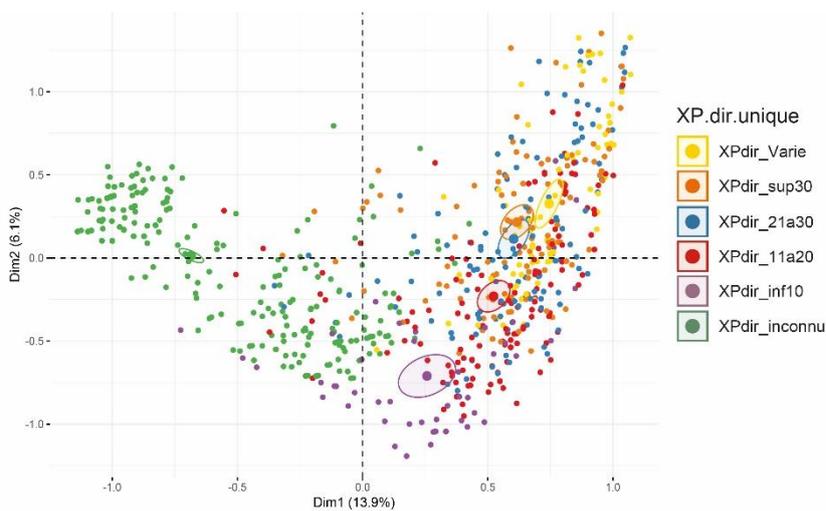


Figure 54. Nuage des individus coloriés par modalités pour la variable « XP.dir.unique » (années d'expérience du dirigeant)

¹¹⁵ Note pour la lecture des nuages de points colorés : les barycentres des modalités sont représentés par un point plus grand que les autres, qui est entouré d'une ellipse de confiance. Lorsque les ellipses de confiance sont distinctes et ne se superposent pas, alors on peut considérer qu'une modalité est significativement différente des autres.

Le **degré d'utilisation des outils numériques de l'agence par le dirigeant** (Figure 55) différencie également bien les groupes d'agences¹¹⁶. Dans le groupe B, la plupart des individus n'ont pas répondu ou ont indiqué que le dirigeant participe à la production. Quelques-uns (très rares), ont indiqué sur le dirigeant ne réalisait que des modifications légères avec les outils numériques de l'agence. Dans le groupe C, on retrouve différents niveaux d'utilisation des outils numériques par les dirigeants. On note que les agences du groupe C qui sont dans le quart inférieur droit du graphique (les petites agences) ont des dirigeants qui manipulent beaucoup plus les outils de l'agence que ceux qui sont dans le cadran en haut à droite (les agences plus grandes).

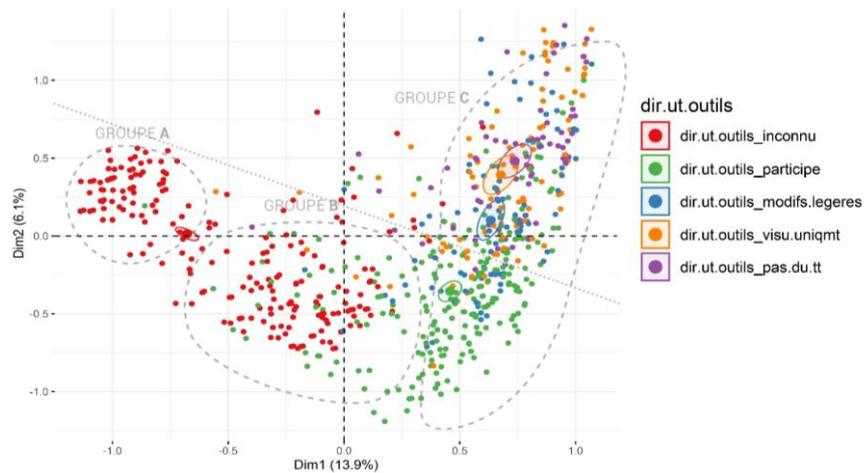


Figure 55. Nuage des individus coloriés par modalités pour la variable « dir.ut.outils » (niveau d'utilisation des outils numériques de l'agence par le dirigeant)

Note : La ligne en points japonais marque une séparation arbitrairement positionnée entre les agences dans lesquelles le dirigeant utilise pleinement les outils de dessin et modélisation de l'agence (en bas), et les agences dans lesquelles le ou les dirigeant(s) les utilisent moins.

Trois groupes d'agences aux pratiques différentes ont émergé lors de l'étude du nuage des individus dans l'ACM. Le premier groupe (A) est un groupe d'indépendants qui exercent en libéral. **Le second groupe (B) correspond à des agences de petite taille** (entre 1 et 5 personnes) qui ont un dirigeant souvent assez jeune qui manipule les outils numériques de l'agence. **Le troisième groupe (C) correspond à des agences aux tailles variées** qui ont un système hiérarchique en moyenne plus fort que les deux autres groupes. Leurs dirigeants sont assez expérimentés. Dans les agences les plus petites de ce groupe, ils manipulent généralement moins les outils numériques de l'agence.

¹¹⁶ Le groupe A n'a pas eu accès à la question concernant cette variable.

7.2.1.2 Nuage des modalités

Nous avons étudié le nuage des individus. Il est possible également d'étudier le **nuage des modalités**¹¹⁷ de l'ACM (Figure 56) pour comparer différentes modalités.

Il s'agit d'une représentation graphique en deux dimensions qui fait apparaître sur une même représentation le barycentre¹¹⁸ de toutes les modalités des variables testées dans l'ACM. Ici, chaque point représente donc le positionnement moyen d'une modalité de variable. Plus deux points sont proches, plus les modalités qu'ils représentent sont adoptées souvent ensemble (ex. : les points nb.per_de1a5 et hier_horiz sont proches : les agences qui comptent de 1 à 5 personnes ont souvent une hiérarchie horizontale.)

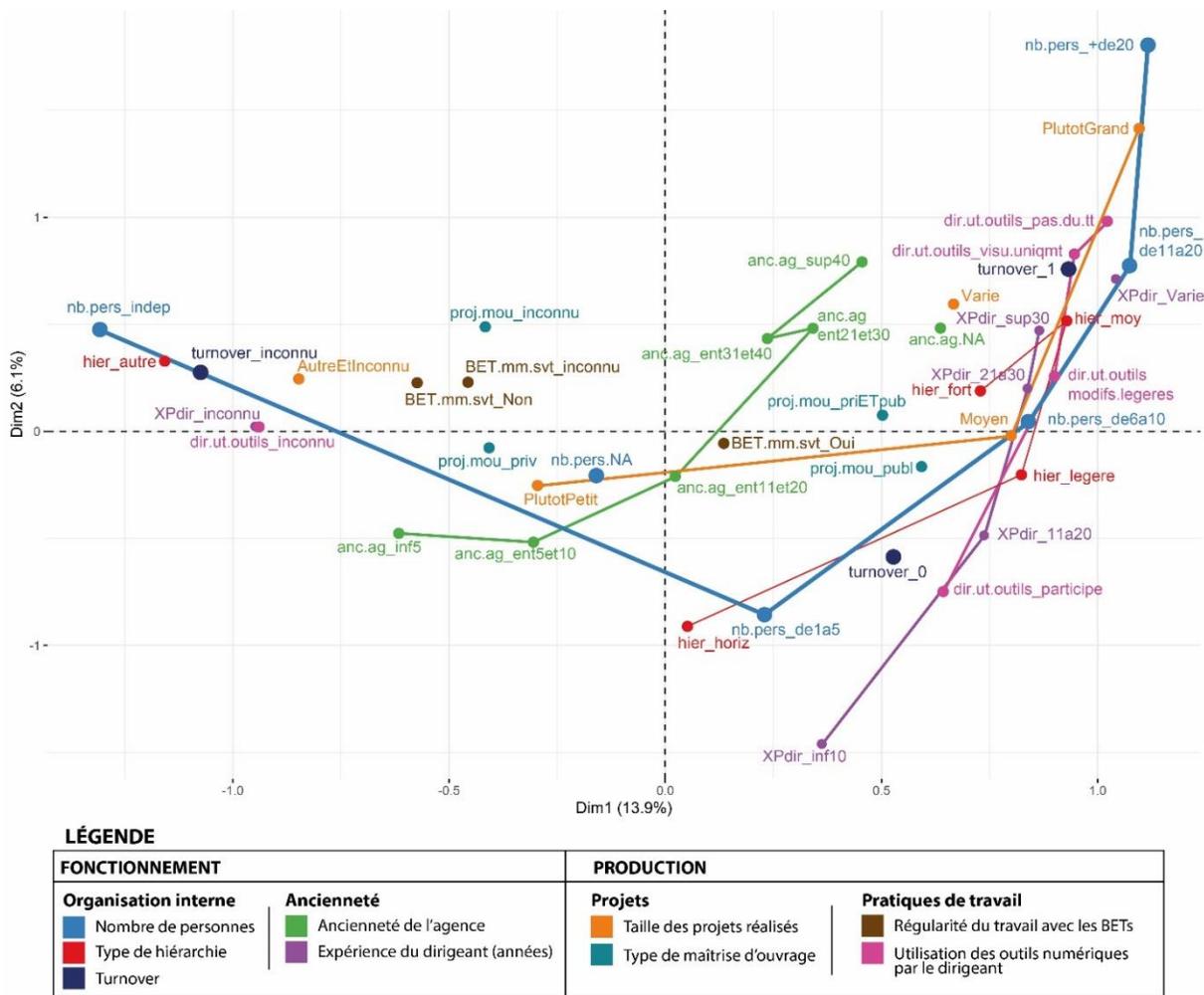


Figure 56. Nuage des modalités de l'ACM

La plupart des modalités des variables ordonnées évoluent dans la même direction : elles suivent

¹¹⁷ Voir Annexe 8, « Aide à la lecture : l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) », p.400

¹¹⁸ Le barycentre d'une modalité correspond au barycentre du de groupes de points (groupe d'individus) qui ont adopté cette modalité (voir Annexe 1 page 83 pour des indications sur le fonctionnement de l'ACM).

un axe qui va de bas à gauche vers en haut à droite. Toutes les variables qui répondent à ce motif sont donc liées et ont une évolution de modalité commune.

Le nuage des modalités (Figure 56) fait ainsi apparaître des corrélations assez attendues, et d'autres, plus étonnantes.

Plus le nombre de personnes dans l'agence est élevé, plus l'agence aura tendance à être ancienne, aura un dirigeant qui a beaucoup d'expérience et aura un système hiérarchique fort¹¹⁹. On note également que la modalité représentant une fréquence élevée de renouvellement du personnel (*turnover_1*) est située dans la zone dans laquelle est agences sont plutôt grandes. Donc **plus une agence est grande, plus elle aura un renouvellement de personnel fréquent**. Cette donnée est également tout à fait attendue et s'explique bien : les plus grandes entreprises ont plus de flexibilité possible sur le renouvellement de personnel, car chaque départ ou arrivée correspond à une faible proportion du total du personnel.

Le nuage des modalités indique que la taille des projets évolue de la même manière que les tailles d'agences. Cela signifie que **plus une agence est grande, plus elle aura tendance à réaliser des projets de grande taille**. L'observation du nuage de modalités pour la taille des projets (Figure 57) illustre cette observation.

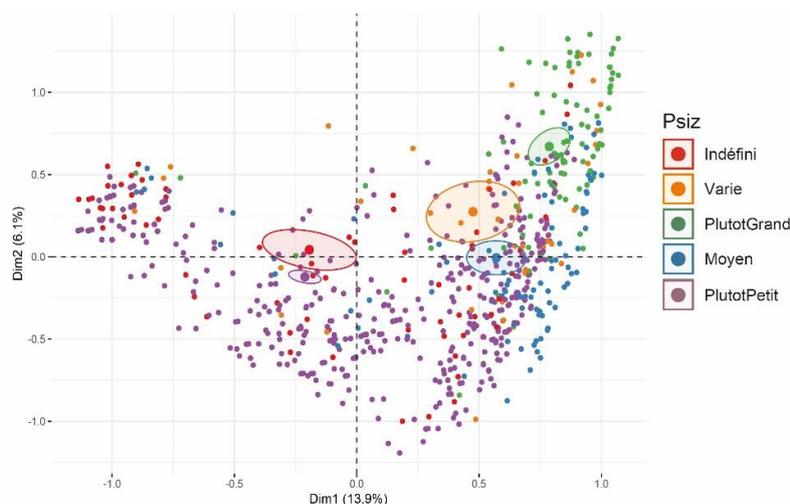


Figure 57. Nuage des individus coloriés par modalités pour la variable « Psiz » (taille des projets)¹²⁰

Les différentes analyses ont permis de déterminer la structure générale de l'espace social étudié.

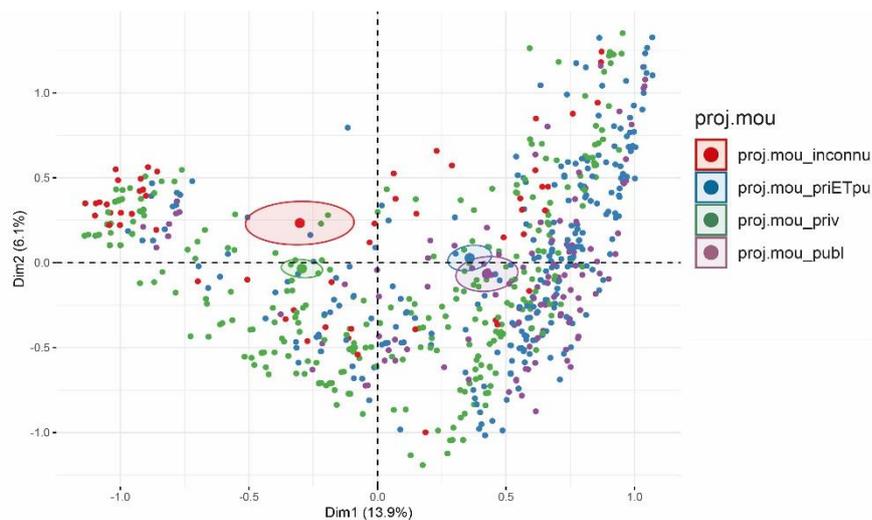
La dimension 2 (Dim2) de l'espace social correspond au type de pratique : plutôt artisanale

¹¹⁹ On observe cela sur le nuage des modalités, car les modalités de ces variables ordonnées sont réparties de la même manière.

¹²⁰ La variable « taille des projets » a été recodée par rapport aux réponses des répondants dans le questionnaire. Les projets « plutôt petits » sont à moins de 1000 m², les projets « moyens » entre 1001 et 5000 m², et les projets « plutôt grands » correspondent aux projets de plus de 5000 m².

et indépendante vers la gauche, et plutôt structurée en entreprise vers la droite. La moitié inférieure de l'espace regroupe des agences plus petites, qui sont souvent plus jeunes, avec un dirigeant moins expérimenté. Au contraire, la moitié supérieure accueille des agences de plus grande taille et plus anciennes, qui réalisent des projets de plus grande taille. **La dimension 1 correspond donc au niveau d'expérience des entreprises et de leur dirigeant, lié à leur ancienneté.**

Certaines modalités ne sont pas positionnées là où l'on aurait pu s'attendre à les voir. Par exemple le type de maîtrise d'ouvrage (en bleu vert Figure 56) varie très peu sur la dimension 2 : elle ne dépend donc pas de la taille de l'agence. En revanche, les projets en marchés privés sont sur la gauche de l'espace alors que les marchés publics sont sur la droite. Cela signifie que **ce sont les entreprises plus structurées qui réalisent le plus souvent des marchés publics.** L'observation du nuage des individus correspondant à cette variable (**Figure 58**) permet d'affiner l'analyse : on y voit que **les petites agences et indépendants réalisent également des marchés publics, même si cette pratique reste principalement concentrée sur la moitié droite de l'espace** (et donc sur les agences les plus structurées).



*Figure 58. Nuage des individus coloriés par modalités pour la variable « proj.mou »
(type de maîtrise d'ouvrage : privée/publique)*

De la même manière que pour le type de marché, on observe sur le nuage des modalités (Figure 56) que **la régularité de travail avec les mêmes BETs dépend moins de la taille de l'agence que de son niveau de structure : les indépendants et agences qui fonctionnent de manière horizontale travaillent moins souvent avec les mêmes BETs.**

7.2.2 L'espace socio-économique des agences d'architecture et ses implications

L'analyse des différents nuages de points permet d'observer des groupes de population mais leur

analyse individuelle est fastidieuse, car ils ne permettent pas de superposer et comparer plusieurs variables à la fois. Le nuage des modalités permet quant à lui d'étudier de manière conjointe l'évolution des variables mais ne rend pas compte des groupes de population.

Dans cette partie, nous proposons une synthèse graphique de ces deux types de représentations. Celle-ci permet de résumer l'organisation socio-économique générale du secteur de l'architecture : l'« *espace socio-économique des agences d'architecture* »¹²¹ (Figure 59).

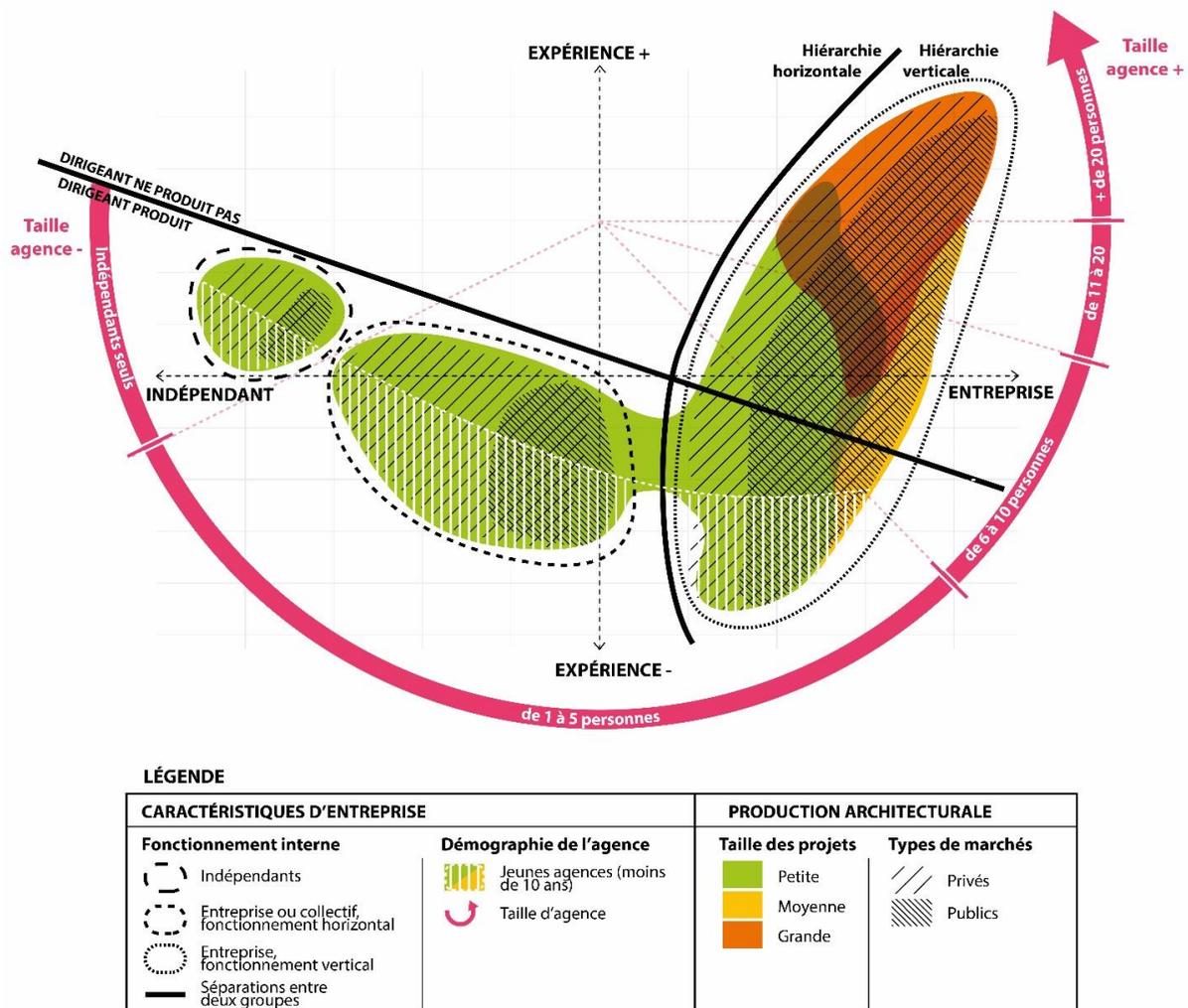


Figure 59. Espace socio-économique des agences d'architecture (ESÉAA)

Le secteur de l'architecture est composé de **trois types d'agences qui ont un mode de fonctionnement différent**. Il y a tout d'abord (A) des **indépendants**, puis (B) des **petites**

¹²¹ Lorsqu'ils ont recours à une ACM, les sociologues réalisent généralement une synthèse du nuage des modalités et des individus. Ils appellent cette représentation 2D « espace social » lorsqu'il représente et résume bien l'organisation d'un groupe social donné et qu'il est accompagné d'un solide travail sociologique (Lebaron, Le Roux 2015). Dans notre cas, les individus sont des agences d'architecture. Ce travail de recherche, qui croise des méthodes des sociologues et des théories issues des domaines de l'économie peut être apparenté à une étude de **sociologie économique**. Cette discipline consiste à analyser l'influence et la formation des groupes, réseaux et institutions et les crises des identités professionnelles (Bourgeois 2009).

entreprises qui ont un fonctionnement en collectif ou une hiérarchie relativement horizontale et (C) un troisième groupe qui correspond aux **agences qui ont un fonctionnement hiérarchique plus vertical** et qui sont généralement plus structurées. Si les deux premiers groupes réalisent plutôt des projets de petite taille, le troisième groupe est plus diversifié, tant du point de vue de la taille des entreprises qui le constituent que de la taille des projets qu'elles réalisent. Ces trois groupes d'agences réalisent tous des **marchés privés et des marchés publics**, mais la proportion de marchés publics augmente avec le niveau de structuration des entreprises (le groupe A fait moins de marchés publics que le groupe B et le groupe B en fait moins que le groupe C). On note également que **la proportion d'agences qui ne réalisent que des marchés publics est faible** : les agences qui se positionnent sur ce type de marchés réalisent aussi généralement des marchés privés. Enfin, on retrouve des jeunes agences (créées il y a moins de 10 ans) dans les trois groupes, mais elles réalisent généralement des projets de petite taille, et sont elles-mêmes plutôt petites avec à leur tête des dirigeants assez jeunes.

La représentation synthétique de l'espace social proposée en Figure 59 permet de dresser un panorama général de la structure du secteur de l'architecture et de l'évolution possible d'une agence au cours de sa vie.

L'ESÉAA, en faisant apparaître les caractéristiques des agences avec leur taille et l'ancienneté de leur dirigeant, dévoile en fait l'évolution « naturelle » d'une agence. On peut donc dire qu'une agence passe du groupe B au groupe C au cours de sa vie, si elle « survit » suffisamment longtemps¹²². En effet, avec le temps, une agence va progressivement se structurer davantage et aura un fonctionnement hiérarchique plus établi. En acquérant de l'ancienneté et après s'être mieux structurée, elle fera partie du groupe d'agences qui réalise statistiquement plus souvent des projets en marché public (même si les agences du groupe B y ont largement accès également). Toujours en acquérant de l'ancienneté, cette agence va probablement employer et donc s'agrandir. Avec cette évolution, elle aura un renouvellement de personnel plus important et le dirigeant, qui aura acquis de l'expérience, va progressivement diminuer son niveau d'interaction avec les outils numériques de l'agence et, avec lui, son niveau de participation active à la production. Si l'agence perdure sur plusieurs dizaines d'années, il est probable qu'elle réalise des projets de plus en plus grands. Ses chances d'arriver jusque là semblent cependant faibles.

¹²² Nous avons montré que la plupart des agences sont relativement « jeunes » : voir **Figure 50**, « Histogramme représentant la répartition du nombre d'agences par rapport à leur année de création », p.194. Il est possible que plupart d'entre elles meurent avant d'avoir atteint une taille moyenne.

7.3 Diffusion du BIM dans les agences françaises

Dans cette partie, nous présentons l'état général de la diffusion du BIM au sein des agences : leur perception des pratiques BIM ainsi que leur niveau de maturité moyen.

7.3.1 Perception et diffusion du BIM au sein des agences

Nous présentons ici un état général des pratiques numériques des agences ainsi que leur perception du BIM.

7.3.1.1 Perception du BIM

Le **BIM bénéficie d'une image assez positive auprès des architectes**, qui considèrent majoritairement que les pratiques BIM peuvent leur permettre de travailler plus efficacement, et qu'elles sont plutôt compatibles avec leur vision du métier d'architecte (**Figure 60**). Cependant, **un quart à un tiers des architectes ont une vision très négative du BIM** : pour eux, les pratiques BIM ne permettent pas du tout de travailler plus efficacement, et ils considèrent que le BIM les limite pendant la conception. **Enfin, la plupart des architectes ont indiqué que les outils et la formation nécessaires pour travailler en BIM sont trop coûteux.**

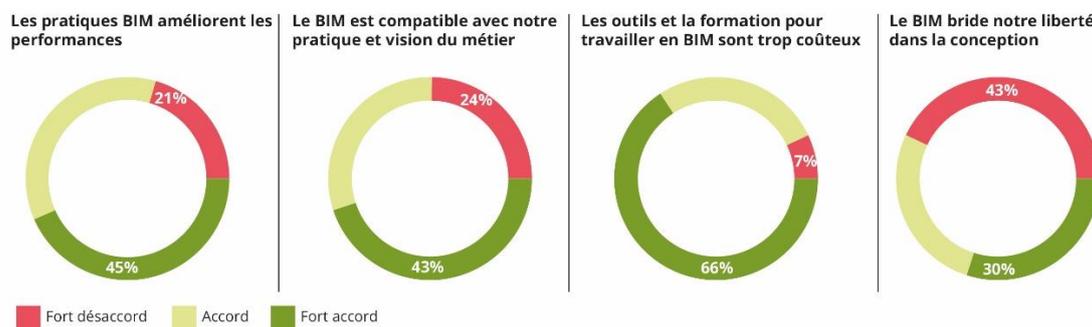


Figure 60. Quatre points clés sur la manière dont les architectes perçoivent le BIM¹²³

La majorité des **dirigeants** (90 %) se disent **favorables** ou **très favorables** à l'intégration de nouvelles technologies dans leur agence (**Figure 61**). Ce résultat est à mettre en relation avec les chiffres précédemment présentés sur la perception du BIM : une partie de ces architectes ont une vision très négative du BIM ¹²⁴. Ce résultat indique que les dirigeants hostiles à la mise en œuvre de pratiques BIM ne se considèrent pas nécessairement défavorables aux nouvelles technologies.

¹²³ La présentation du résultat ici n'est pas tout à fait fidèle à la manière dont la question a été posée. Dans le questionnaire, le répondant pouvait indiquer son degré d'accord avec chaque affirmation : pas du tout (0), un peu (1), beaucoup (3).

¹²⁴ La plupart des répondants sont des dirigeants d'agences et ont donc commenté leur propre perception des nouvelles technologies.

Le BIM cristallise peut-être des réactions hostiles, car, contrairement à d'autres technologies, il touche directement à l'outil de conception et à la démarche de projet.

La plupart des collaborateurs sont perçus comme intéressés par les nouvelles technologies (**Figure 62**). Un tiers environ est considéré comme proactif. Cela fait écho aux observations faites pendant les entretiens et cas d'étude, car dans plusieurs situations les employés ont spontanément commencé à mettre en place des pratiques BIM dans leur agence.

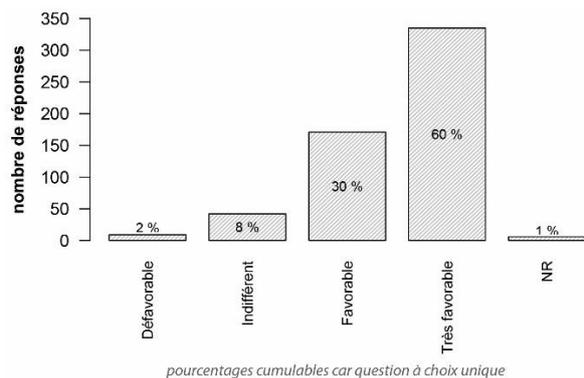


Figure 61. Position du dirigeant par rapport à l'intégration de nouvelles technologies à l'agence

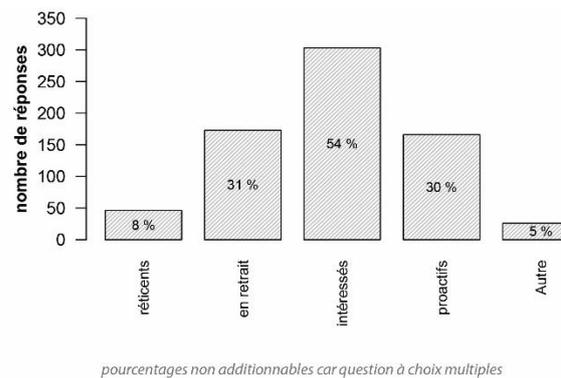


Figure 62. Attitude des collaborateurs par rapport aux nouvelles technologies, en particulier le BIM

➔ **Le BIM bénéficie donc dans l'ensemble une image plutôt positive auprès des architectes, même si un quart à un tiers d'entre eux en a une vision très négative.**

7.3.1.2 Comment les agences évitent le BIM

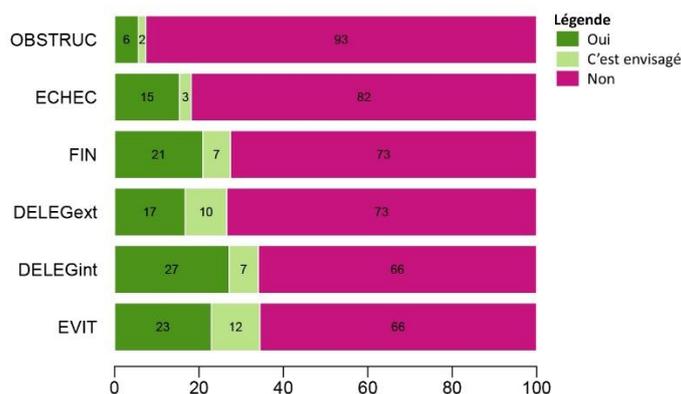
Au cours des entretiens, nous avons identifié **différentes stratégies** (Tableau 16) que les dirigeants d'agence mettent en œuvre pour ne pas recourir à des pratiques BIM malgré des pressions du marché¹²⁵. Celles-ci ont été présentées dans le questionnaire afin d'identifier leur fréquence d'apparition dans la population d'agences.

Tableau 16. Stratégies d'évitement du BIM testées dans le questionnaire.

Nom de variable	Description de la stratégie d'évitement testée
EVIT	Éviter les marchés qui nécessitent des compétences BIM
DELEGint	Déléguer les tâches BIM à une personne/un groupe dédié en interne
DELEGext	Déléguer les tâches BIM à une personne/un groupe dédié en externe (sous-traitance)
FIN	Réalisé une maquette numérique uniquement à la fin du projet si c'est demandé (sans exploitation pour la conception)
ECHEC	Retourner aux pratiques précédentes après avoir réalisé un essai non concluant avec le BIM
OBSTRUC	Faire obstruction aux initiatives/demandes BIM des employés

¹²⁵ Voir partie 6.2.2, « Des stratégies pour éviter ou minimiser l'utilisation du BIM », p.177

La proportion de dirigeants qui indiquent avoir recours à ce type de stratégies n'est pas négligeable (**Figure 63**). Il faut noter également qu'au cours des entretiens, les dirigeants ont rarement évoqué explicitement avoir recours à des stratégies pour éviter d'avoir à mettre en œuvre des pratiques BIM : cela a pu influencer les réponses dans le questionnaire et minimiser les résultats positifs ici.



*Figure 63. Stratégies d'évitement mises en œuvre par les agences
(les non-réponses ont été exclues et ne sont pas comptabilisées dans modalité « Non »)*

Près d'un quart des agences ont déjà évité certains marchés parce qu'ils nécessitent des compétences BIM, et il est envisagé de le faire dans 12 % des agences. On assiste donc à une (auto) exclusion des agences sur certains marchés qui peut avoir des conséquences sur la structure du secteur à moyen terme.

Un peu plus d'un quart des agences ont défini des spécialistes BIM en interne qui se chargent des projets qui le nécessitent. Elles sont moins nombreuses à sous-traiter les missions BIM : 17 % des agences indiquent avoir déjà externalisé la mission BIM. Ces agences sont pénalisées par cette pratique, car elles n'en tirent aucun bénéfice si ce n'est d'avoir accédé au marché spécifique. Un peu moins d'un quart des agences ont déjà réalisé des modèles BIM uniquement pour satisfaire des exigences sans les exploiter réellement : dans ces cas, la maquette numérique a donc un effet plus négatif que positif sur le projet et le temps de travail des architectes.

On note également qu'il existe quelques agences (6 % des répondants) qui ont connu une situation dans laquelle les dirigeants bloquent les initiatives BIM des collaborateurs. Si cette situation reste marginale, elle nous indique à quel point le sujet est délicat dans certaines agences, malgré la proactivité des collaborateurs. La non-mise en œuvre du BIM est alors plus une question de principe que de moyens comme c'est souvent évoqué.

→ L'accès à la commande est donc affecté par la généralisation des exigences BIM. À moyen terme, cela peut provoquer une redistribution des missions et réorganisation du secteur¹²⁶. D'autres stratégies d'évitement qui ont des conséquences négatives pour les agences sont assez répandues.

7.3.1.3 Logiciels de travail

Nous avons demandé aux agences d'indiquer les logiciels qu'elles utilisent pour produire des documents graphiques pendant les phases de conception (**Figure 64**). La phase d'entretiens préliminaires a montré que les agences utilisent parfois plusieurs outils permettant d'effectuer des tâches très similaires (ArchiCAD et Vectorworks par exemple). Les répondants ont donc pu cocher plusieurs logiciels, ce qui a permis de quantifier ce phénomène de doublons de logiciels et d'en explorer les raisons.

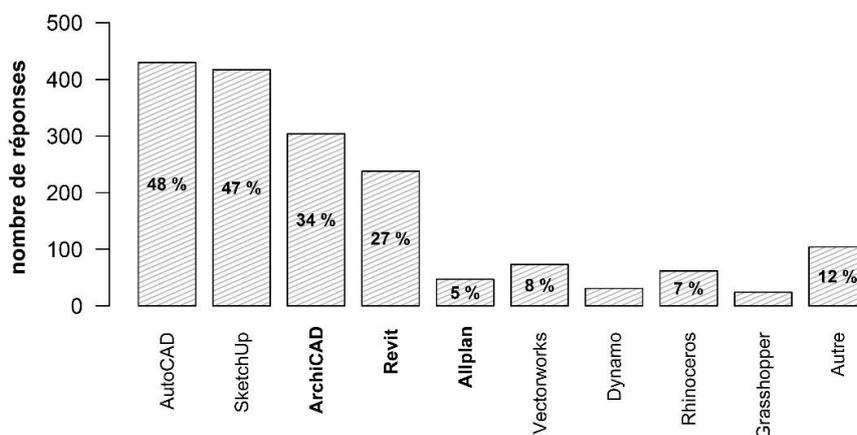


Figure 64. Logiciels de CAO utilisés dans les agences¹²⁷

Sur le panel de répondants, 48 % des architectes indiquent utiliser AutoCAD et 46 % SketchUp ; les deux logiciels étant souvent utilisés de manière combinée. 34 % des répondants utilisent ArchiCAD, 27 % utilisent Revit et seulement 5.3 % utilisent Allplan. Les répondants qui ont coché « Autre » ont indiqué utiliser des outils de DAO/CAO peu répandus et des outils de synthèse/retouche d'image (notamment de la suite Adobe)¹²⁸.

¹²⁶ Ce phénomène s'est produit sur les agences de photographie avec l'arrivée du numérique. La réaction des agences de photo au développement du numérique a impacté fortement leur survie et évolution par la suite (Maresca, Sagot-Duvaurox 2011).

¹²⁷ Le tableau de valeurs associé se trouve en Annexe 11, Tableau 57, « Logiciels utilisés dans les agences », p.405

¹²⁸ Une vingtaine de répondants ont indiqué utiliser Arc+ (un logiciel de modélisation orientée objet spécialisée pour l'architecture), trois personnes ont indiqué utiliser BricsCAD et libreCAD, une dizaine ont indiqué utiliser Draftsight (équivalent AutoCAD chez Dassault Systèmes), une dizaine également ont noté PowerCADD, et une agence a mentionné Digital Project (le plug-in de CATIA développé par l'agence de Franck Gehry). Quelques répondants ont indiqué travailler à la main.

On note qu'une majorité d'agences travaille avec AutoCAD mais les agences utilisant un outil « BIM de conception » sont relativement nombreuses. L'écart entre Revit et ArchiCAD est assez faible : ArchiCAD, logiciel du fournisseur européen Nemetchek, est historiquement plus présent en France que Revit. Les agences qui ont récemment implémenté un « outil BIM » ont pu se tourner plus facilement vers Revit pour deux raisons : (1) rester dans l'environnement Autodesk en conservant une interface utilisateur similaire à ce qui était probablement leur précédent outil principal (AutoCAD); (2) exploiter un outil qui semble susciter la confiance des maîtres d'ouvrages et dont la bonne interopérabilité *closed* BIM est appréciée. En outre, pendant sa transition BIM, la France est également largement influencée par les standards internationaux qui ont généralisé les solutions logicielles de la suite Autodesk, et en particulier Revit.

Un tiers des agences du panel (293 répondants) utilisent plusieurs logiciels permettant d'effectuer des tâches identiques ou très similaires. Nous avons souhaité connaître les raisons de cette diversité d'outils et avons testé plusieurs possibilités (**Figure 65**).

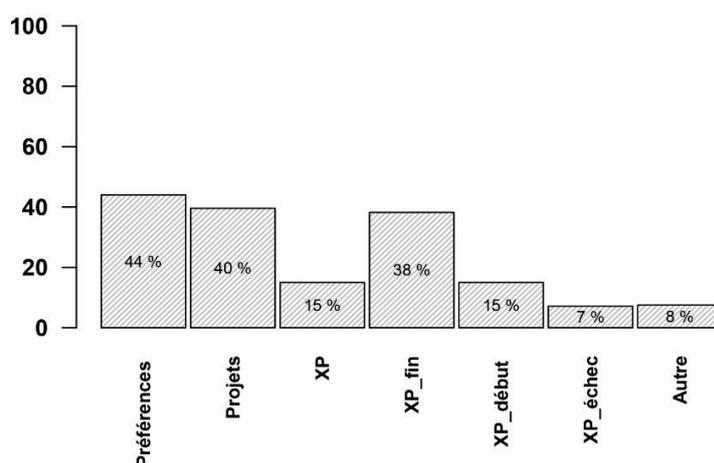


Figure 65. Raison de la multiplication des outils à l'agence (plusieurs réponses possibles : le total ne fait pas 100 %)¹²⁹

La raison principale de ce phénomène est la **prise en compte des préférences et compétences de chacun pour sélectionner des outils** individuellement (« Préférences », Figure 65). Il n'y a alors pas de mise en commun des pratiques numériques au sein de l'agence. Ce phénomène est également régulièrement dû à l'adaptation de l'agence en fonction des besoins des projets qui

¹²⁹ Tableau de valeurs et plus de précisions disponibles en Annexe 11, Tableau 58, « Raison de la multiplication des outils », p.405.

Préférences : Les outils numériques utilisés sont sélectionnés en fonction des préférences et compétences de chacun ; **Projets** : Les projets sont très différents et nécessitent l'utilisation d'outils numériques différents ; **XP** : Nous expérimentons différents outils numériques en phase conceptions ; **XP_fin** : Nous sommes en période de transition et travaillons pour l'instant sur plusieurs outils mais souhaitons généraliser l'utilisation de l'un de ces outils ; **XP_début** : Nous réalisons actuellement une expérimentation et l'utilisation d'un outil BIM est pour l'instant très minoritaire ; **XP_échec** : Nous avons essayé d'intégrer un "outil BIM", mais sommes revenus à nos précédentes pratiques ; **Autre** : Autre

nécessitent des outils spécifiques (« Projets »). 38 % des répondants ont indiqué que la présence de plusieurs outils était due à la transition BIM en cours (« XP », « XP_début », « XP_fin », « XP_échec »). Enfin, et cela est peut-être préoccupant, **7 % d'entre eux ont indiqué avoir tenté de mettre en place un outil BIM dans l'agence sans que cela n'ait pu persister dans le temps.**

7.3.2 Niveau d'adoption BIM des agences

Dans cette partie, nous proposons et exploitons une méthode de calcul du niveau de maturité des agences d'architecture.

7.3.2.1 Méthode

Plusieurs types d'études ont vocation à mettre en évidence le niveau d'adoption du BIM dans le secteur de la construction. À l'échelle macro, les baromètres permettent de dresser un panorama général de l'adoption du BIM, mais ils manquent souvent de cadre théorique. À l'échelle micro, les matrices de maturité permettent de qualifier la capacité d'une entreprise ou d'un individu à mettre en œuvre des pratiques BIM (Succar 2010; Absil et al. 2015). Mais elles intègrent souvent un degré de granularité très élevé, difficile à mettre en œuvre dans une enquête par questionnaire de grande échelle. De plus, les matrices de maturité ne permettent ni d'évaluer l'appréhension du BIM d'un acteur, ni son intention ou sa difficulté à le mettre en œuvre alors que ces concepts sont centraux dans le cadre de l'étude de l'adoption d'une innovation.

Les niveaux de maturité sont ici étudiés avec un faible niveau de granularité : cela est suffisant pour identifier le niveau de maturité moyen dans un secteur et permet de limiter le nombre de questions (et donc le nombre d'abandons) du questionnaire. Nous prenons comme base théorique ici les niveaux de maturité BIM tels que décrits par (Boton, Kubicki 2014; Succar 2010). Ils constituent trois paliers qui permettent de qualifier les pratiques des acteurs.

Sonder le niveau maturité BIM des acteurs est loin d'être aisé. Poser la question « mettez-vous en œuvre des pratiques BIM ? » ou « travaillez-vous en BIM niveau 1 ? » produit des réponses difficilement exploitables, car la compréhension de la question varie d'un répondant à l'autre. Il faut donc trouver des indicateurs permettant d'évaluer de déduire l'information qui nous intéresse.

Nous avons demandé aux répondants d'indiquer si leur agence intègre certaines pratiques qui sont par ailleurs caractéristiques des niveaux de maturité 1 et 2 (Boton, Kubicki 2014). Les

pratiques testées sont au nombre de huit ; quatre pratiques sont caractéristiques du niveau de maturité 1, et les quatre autres du niveau 2 (voir Tableau 17) ¹³⁰.

Tableau 17. Les huit pratiques caractéristiques des niveaux de maturité 1 et 2 testées dans l'étude

<i>Pratique</i>	<i>Description</i>	<i>Niveau</i>
P1	Produire les plans et coupes depuis la 3D d'un logiciel BIM	1
P2	Réaliser des métrés (semi-)automatisés depuis la 3D	1
P3	Utiliser un serveur de travail collaboratif BIM interne à l'agence	1
P4	Renseigner des informations non géométriques dans le modèle 3D	1
P5	Transmettre des maquettes numériques aux BETs (en IFC)	2
P6	Importer/exploiter une maquette numérique reçue des BETs	2
P7	Formaliser les échanges de fichiers avec des partenaires	2
P8	Utiliser une plateforme collaborative BIM avec des partenaires	2

Pour chacune des pratiques, les répondants ont pu se positionner sur les différentes étapes du processus d'adoption, et ils ont pu indiquer : qu'**ils ne savent pas de quoi il s'agit** (étape 0), qu'**ils savent de quoi il s'agit sans plus** (1), qu'**ils pensent mettre en place un jour cette pratique à l'agence** (2), qu'**ils souhaitent la mettre en place très bientôt** (3), qu'**il est exclu pour eux de la mettre en place** (3 : gel), qu'**ils sont en train de la mettre en place** (4), qu'**ils ont essayé de la mettre en place mais que cela n'a pas fonctionné** (4 : gel), ou qu'**ils ont tous cette pratique à l'agence** (5).

7.3.2.2 *Avancement de la diffusion du BIM au sein des agences d'architecture françaises*

Nous avons additionné le nombre réponses obtenues par niveau de maturité pour chaque étape du processus d'adoption afin d'avoir une vision globale sur l'état de la diffusion du BIM au sein des agences. Nous avons déterminé la répartition des agences sur le processus d'adoption du BIM pour les niveaux 1 (pratiques P1 à P4) et 2 (P5 à P8) (Figure 66). Le détail du nombre de réponses pour chaque pratique est en annexe¹³¹.

Les niveaux de maturité 1 et 2 suivent une diffusion similaire dans la population d'agences (Figure 66). Le **niveau 1 est plus couramment mis en œuvre** (phase 5) que le niveau 2. Paradoxalement, **il y a plus d'agences qui ont indiqué « ne pas savoir de quoi il s'agit » (phase 0) au sujet des pratiques de niveau 1** qu'au sujet du niveau 2. Ce résultat à première vue étonnant peut s'expliquer par le fait que le niveau 1 est mis en place depuis longtemps alors que le niveau 2, dont la mise en œuvre est plus récente, a fait l'objet de nombreux débats et d'une importante communication au cours de ces dernières années. Ces derniers ont ainsi laissé peu de place à la communication sur l'intérêt du niveau 1 que l'on considère souvent acquis (alors que peu

¹³⁰ Les pratiques de niveau 3 n'ont pas été testées car elles ont été jugées trop minoritaires et peu intéressantes dans le cas de notre étude ; le niveau 0 a été déduit de l'absence des niveaux 1 et 2 dans une agence.

¹³¹ Voir Annexe 9, « Données : les pratiques BIM dans les agences », p.402

d'agences semblent le mettre en œuvre). Ces explications correspondraient bien aux observations réalisées pour les phases 0, 1, 2, et 3.

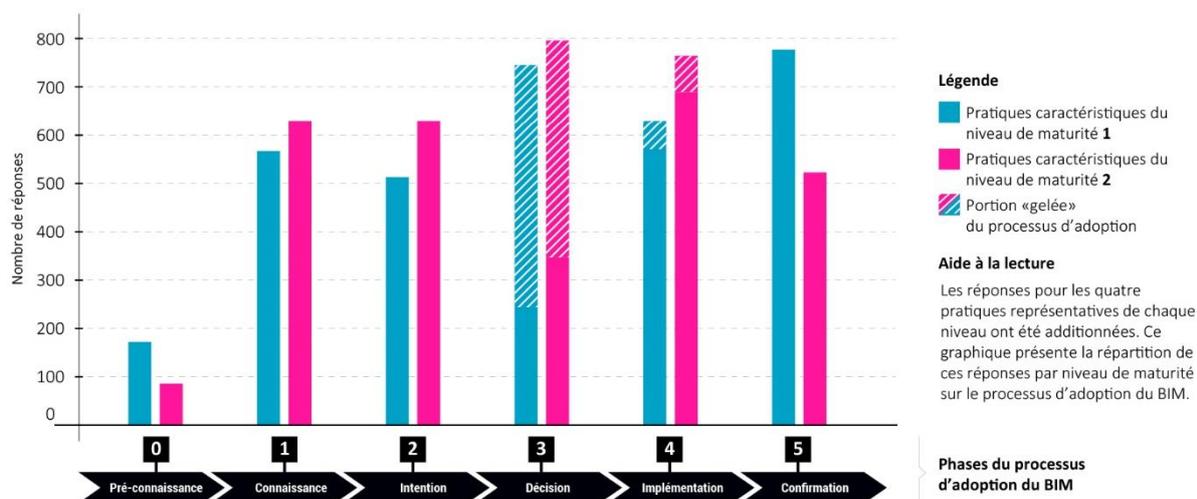


Figure 66. Répartition des agences d'architecture françaises sur le processus d'adoption du BIM (mars 2019)¹³².

Pour chaque agence, le processus d'adoption peut se figer ou s'arrêter à différentes phases, notamment la décision (3 : gel), ou de l'implémentation (4 : gel). Nous avons souhaité pouvoir quantifier ce phénomène dans cette partie de l'étude. Le nombre de répondants qui excluent la mise en œuvre de pratiques BIM (3 : gel) est assez important. Elle concerne plus le niveau 1 que le niveau 2. Le nombre d'agences qui ont tenté de mettre en œuvre des pratiques BIM sans y parvenir (4 : gel) est assez faible (mais non négligeable). Il concerne légèrement plus le niveau 2 que le niveau 1.

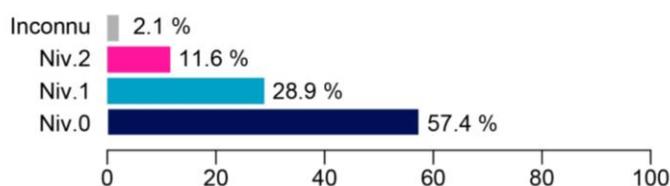
- L'étude, positionnée sur le processus d'adoption, a montré une répartition cohérente des données. **La pertinence du processus d'adoption pour étudier l'avancement d'une population d'entreprises dans l'adoption du BIM est validée.** Cependant, il ne permet que de capturer une « image » de l'adoption à un moment donné et ne permet pas de reconstituer les étapes passées du processus.
- Les pratiques numériques caractéristiques du niveau 2 sont mieux connues et suscitent plus d'intérêt de la part des agences que le niveau 1. Ces dernières sont plus courantes et mieux maîtrisées au sein des agences. Paradoxalement, elles suscitent des réticences plus fortes et plus nombreuses que le niveau 2.

¹³² Les phases du processus d'adoption ici présentées ne correspondent pas exactement au Modèle Unifié de Processus d'Adoption du BIM notamment sur la phase N°3 (décision); voir Chapitre 4, partie 4.3.2, « Phases et jalons du processus d'adoption d'une innovation dans une organisation », p.123. Cette différence est due à l'antériorité de notre enquête sur la finalisation du Modèle.

7.3.2.3 Niveau de maturité BIM des agences

Le palier de niveau de maturité de chaque agence a été ensuite calculé sur ces mêmes réponses à la question Q24.

Une agence est considérée comme étant au niveau 1 lorsqu'elle utilise un outil BIM et qu'elle a généralisé au moins une pratique caractéristique du niveau 1. Elle est considérée de niveau 2 lorsqu'elle remplit les conditions du niveau 1 et a généralisé au moins deux pratiques de niveau 2¹³³. Celles qui ne sont ni au niveau 1 ni au 2 sont comptabilisées en niveau 0, ou inconnu si les données ne permettaient pas de conclure¹³⁴.



*Figure 67. Niveau de maturité des agences d'architecture dans notre panel de répondants¹³⁵.
Le code couleur utilisé sur ce graphique est conservé sur les graphiques suivants.*

D'après notre méthode de calcul, 57 % des agences sont au niveau 0 ; 29 % au niveau 1 et 12 % au niveau 2 (**Figure 67**). Ces chiffres sont très éloignés de ceux de l'étude d'Autodesk qui indique que 66 % des répondants pratiquent le BIM. La majorité des agences travaillent en niveau 0. Les pratiques de niveau 1 semblent susciter plus de réactions négatives et sont moins bien connues des agences qui ne les mettent pas en œuvre que celles de niveau 2.

¹³³ Les agences comptabilisées au niveau 1 ne sont pas au niveau 2.

¹³⁴ Voir détail du calcul en Annexe 10, « Méthode de calcul du niveau de maturité », p.404

¹³⁵ Voir tableau de valeurs en Annexe 11, Tableau 60, « Niveaux de maturité des agences », p.407

7.4 Qui sont les agences qui travaillent en BIM ?

L'objectif de cette partie est de caractériser les liens entre le contexte des agences et leur niveau de maturité BIM. L'espace socio-économique du secteur de l'architecture (ESÉAA) a d'abord été exploité pour afficher le niveau de maturité des agences représentées. Cela permet de déterminer si un lien existe entre le niveau de maturité d'une agence (ou d'autres variables relatives au BIM) et sa position sur l'ESÉAA. Différentes corrélations ont été ensuite observées entre le niveau de maturité d'une agence et des éléments de contexte.

7.4.1 Espace socio-économique des agences d'architecture et pratiques numériques

Cette partie répond à deux objectifs :

- déterminer s'il existe un lien entre la position d'une agence sur l'espace socio-économique et **son niveau de maturité BIM**.
- déterminer s'il existe un lien entre la position d'une agence sur l'espace socio-économique et **son degré de sensibilité et d'exposition aux facteurs de décision d'adoption**

L'ACM permet d'intégrer des variables dites **actives**, qui contribuent au calcul du positionnement des individus, et des variables **supplémentaires** qui n'y contribuent pas mais peuvent être superposées aux premières sur le nuage des individus ou des modalités afin de les comparer¹³⁶. **Cette superposition permet d'étudier la répartition d'une caractéristique donnée au sein de la population étudiée** (ex. : répartition du niveau de maturité).

Les variables supplémentaires testées ici sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 18).

Tableau 18. Variables supplémentaires présentées dans l'ACM

<i>Nom de variable</i>	<i>Description de la variable</i>
NIV	Niveau de maturité de l'agence
Emp.favorable	La réaction des employés par rapport au BIM
Coercive.POS	La pression des partenaires de projet ou clients qui demandent à travailler en BIM
Mimetic.POS	L'idée que des confrères ont mis en place des pratiques BIM et qu'il faut le faire également en copiant leur manière de le mettre en œuvre
RelAdvant.POS	L'idée que le BIM offre un avantage concurrentiel
EconomicalAspc.NEG	La perception du coût du BIM
EaseOfUse.POS	La perception de la facilité d'utilisation du BIM
Usefulness.POS	La perception d'utilité du BIM

Sur le graphique des rapports de corrélation (**Figure 68**), la seule variable supplémentaire qui semble fortement liée aux variables actives est le niveau d'intérêt des employés par rapport au

¹³⁶ Voir Annexe 8, « Aide à la lecture : l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) », p.400

BIM (*emp.favorable*), sur la dimension 1. Ceci est dû à l'absence de donnée pour cette variable pour tous les indépendants qui n'ont pas d'employés.

On observe que la variable concernant le niveau de maturité (*NIV*) est proche de 0 sur les deux dimensions (**Figure 68**). Les pratiques BIM sont donc présentes dans une proportion similaire dans chacun des groupes d'agences précédemment définis sur la base de leurs caractéristiques internes (taille, type de projet, taille de projets, etc.). **L'hypothèse qu'il existe un « groupe d'agences » (défini par leur taille et leurs projets, ou même d'autres caractéristiques internes que nous avons testées) qui met plus souvent en œuvre des pratiques BIM que les autres est donc réfutée.**

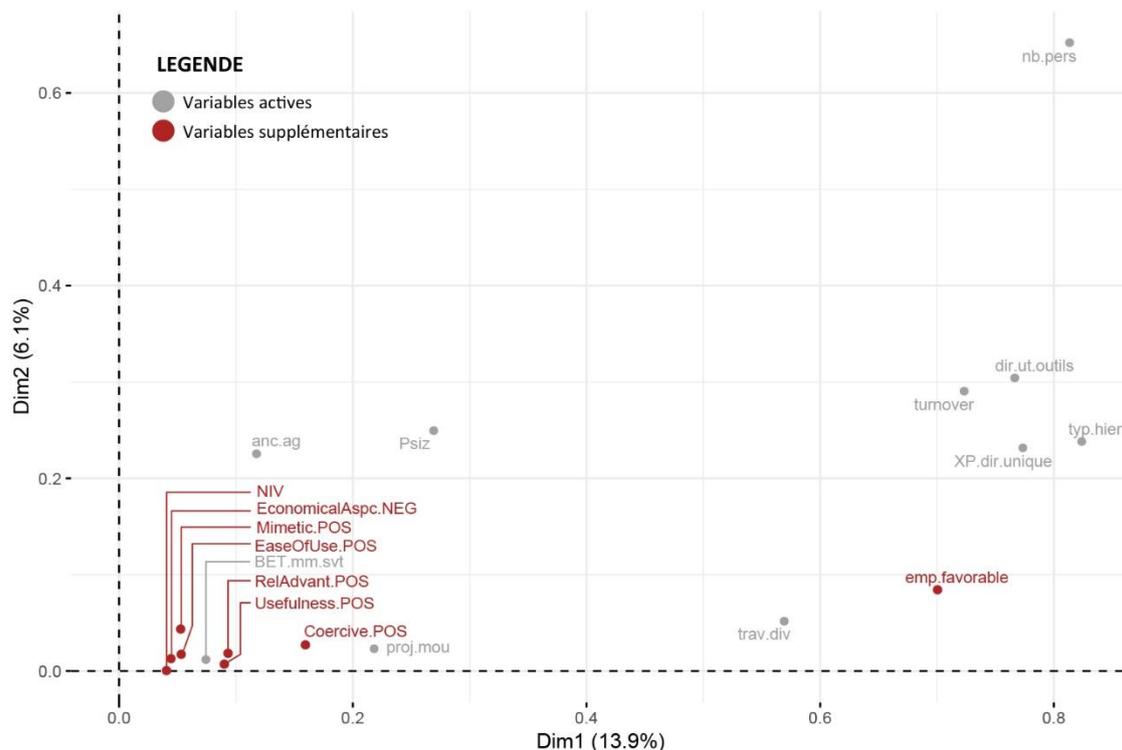


Figure 68. Rapports de corrélation avec variables supplémentaires.

L'observation du nuage de modalités de la variable *NIV* (**Figure 69**) permet d'affiner cette analyse en faisant apparaître la répartition des modalités de la variable *NIV*. Le barycentre des modalités « Niveau 0 » et « Niveau 1 » sont au centre : ils sont donc également répartis au sein de la population d'agences, quelle que soit leur mode de pratique (indépendant, agence) ou leur taille. Le barycentre de la modalité « Niveau 2 » se trouve en revanche sur la partie droite du graphique : il est plus présent dans les agences structurées (groupe C) que les autres.

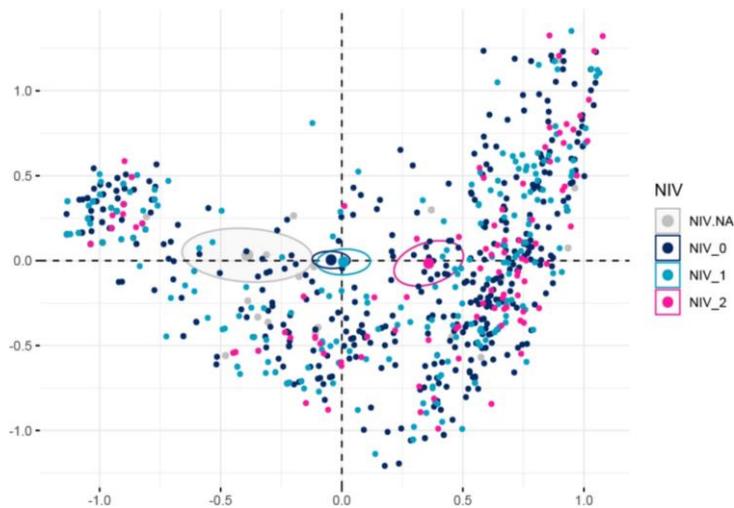


Figure 69. Nuage des individus de l'ACM, variable supplémentaire présentée : le niveau de maturité (NIV)

Les agences du groupe C (les plus structurées) sont plus sujettes que les autres à des pressions des partenaires ou clients qui demandent à travailler en BIM (**Figure 70**) : le barycentre de la modalité Coercive.POS_2 est à droite du nuage des individus.

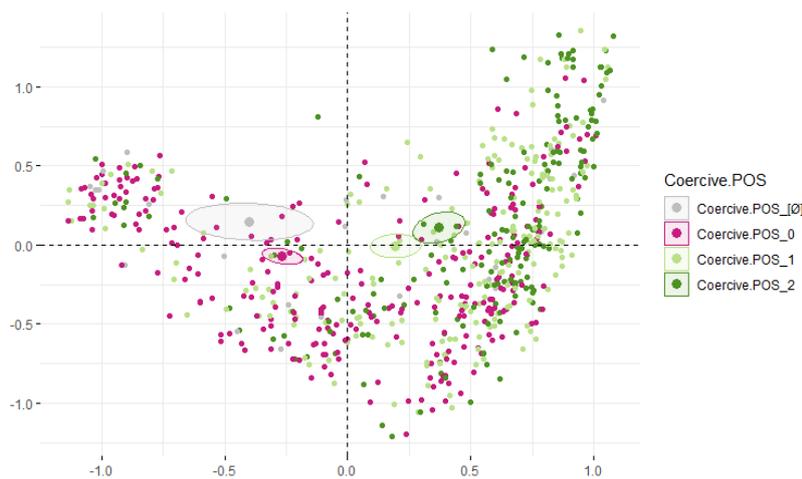


Figure 70. Nuage des individus de l'ACM, variable supplémentaire présentée : l'incitation perçue des agences à passer en BIM de la part des clients et partenaires (Coercive.POS). (0 = pas du tout, 1 = un peu, 2 = beaucoup.)

Les agences les plus grandes du groupe C sont plus souvent sollicitées que les autres pour travailler en BIM (Coercitive.POS), et ce sont également elles qui ont le plus le sentiment de devoir calquer leurs pratiques sur celles de leurs confrères (Mimetic.POS, **Figure 71**).



Figure 71. Nuage des individus de l'ACM, variable supplémentaire présentée : la tendance des agences à imiter leurs confrères qui ont déjà implémenté le BIM (Mimetic.POS). (0 = pas du tout, 1 = un peu, 2 = beaucoup.)

- **Il n'existe pas de groupe d'agences homogène basé sur leurs caractéristiques internes qui mettrait en œuvre des pratiques BIM plus que les autres.** Le niveau 2 est plus présent dans les agences plus structurées mais la taille de l'agence importe peu.
- La position d'une agence sur l'espace socio-économique et son degré de sensibilité aux facteurs de décision semblent peu liés. Toutefois, les agences structurées et de plus grande taille sont légèrement plus sensibles aux facteurs liés au contexte externe que les autres.

7.4.2 Les éléments qui expliquent le mieux le niveau de maturité d'une agence

Nous venons de montrer qu'il n'existe pas de groupe d'agences (défini par leur taille et leurs projets) qui mettrait plus souvent en œuvre des pratiques BIM de manière générale. Cependant, le niveau de maturité 2 est un peu plus présent dans les agences du groupe C que les autres.

Dans cette partie, nous étudions les caractéristiques les plus corrélées au niveau de maturité des agences. Nous avons donc croisé le niveau de maturité des agences avec trois domaines de facteurs d'influence : le contexte interne de l'agence (1), le contexte externe (2), ainsi que les caractéristiques du BIM et la perception que les agences en ont (2).

7.4.2.1 Méthode

Les facteurs d'influence sont susceptibles d'impacter la décision d'adopter des pratiques BIM ou le succès de l'implémentation. Un tel phénomène se manifesterait dans notre cas par **l'observation d'une corrélation entre la présence de certains facteurs et le niveau de maturité des agences.** L'observation de corrélations ne nous permettrait cependant pas de

conclure sur un éventuel lien de *causalité* entre différentes variables ¹³⁷. Ce sont les entretiens préliminaires qui complètent alors les observations statistiques pour conclure sur un éventuel lien de causalité.

D'un point de vue analyse statistique, nous souhaitons déterminer si une variable (variable à expliquer : le niveau de maturité BIM) dépend d'autres variables (variables explicatives : le contexte de l'agence). C'est donc une **méthode de statistique explicative multivariée** qui est sélectionnée : la **régression multiple**. Et, comme notre jeu de données est principalement constitué de variables qualitatives, il s'agit d'une **régression logistique** ¹³⁸.

Pour chaque contexte identifié (contexte interne, contexte externe, caractéristiques du BIM), trois régressions sont réalisées : une pour chaque niveau de maturité ¹³⁹. Souvent, dans la littérature sur l'adoption du BIM, les niveaux de maturité ne sont pas étudiés séparément et nous supposons que les caractéristiques associées à chaque niveau de maturité peuvent être différentes. Les analyses des résultats des régressions sont accompagnées de graphiques issus de tableaux de contingence. Seules les relations des variables qui ont montré une **p-value**¹⁴⁰ inférieure à 0.05 sont ici présentées dans des tableaux, organisées de la relation (**Odds ratio**¹⁴¹) la plus forte à la plus faible¹⁴².

7.4.2.2 Niveau de maturité et contexte interne de l'agence

Nous avons montré que les niveaux de maturité BIM 0 et 1 sont relativement équitablement répartis parmi la population d'agences étudiée. Dans cette partie, nous affinons notre analyse et testons les **corrélations de chaque niveau de maturité** avec plusieurs **caractéristiques internes** des agences. Parmi ces caractéristiques, on retrouve le nombre de personnes qui travaillent au sein de l'agence, le mode de division du travail, l'expérience du dirigeant ou encore

¹³⁷ Les études statistiques permettent généralement d'étudier les associations et corrélations entre variables, qui peuvent être signe d'une relation de causalité, mais qui ne le sont pas nécessairement. Quelques méthodes statistiques permettent d'extraire des relations de causalité complexes, comme la méthode DEMATEL (Si et al. 2018), utilisée notamment par Ahmed et Kassem (2019) pour étudier les facteurs qui influencent la décision d'adopter le BIM. La mise en œuvre de ces méthodes reste complexe et, malgré l'apparence solide des résultats, elles sont sujettes à des erreurs et de nombreux biais.

¹³⁸ Voir Annexe 7, « Aide à la lecture : la régression », p.398

¹³⁹ Le niveau de maturité pourrait être étudié comme une seule variable qualitative ordonnée qui pourrait faire l'objet d'une *régression logistique ordinale*. Nous avons préféré étudier chaque niveau de maturité séparément car au vu des observations réalisées précédemment, nous doutons de la pertinence de traiter la variable *NIV* comme une variable ordonnée.

¹⁴⁰ Voir p-value dans Annexe 7, « Aide à la lecture : la régression », p.398

¹⁴¹ Voir Odds-ratio et *Estimate* dans Annexe 7, « Aide à la lecture : la régression », p.398

¹⁴² les résultats complets des régressions pour chaque niveau de maturité sont présentés en Annexe 12 (p.411)

le turnover. La liste complète des variables testées et des modalités de références est présentée en annexe (voir Annexe 12, Liste de variables 1, p.411).

La comparaison des tableaux ci-dessous (Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21) montre que chaque niveau de maturité n'est pas nécessairement associé aux mêmes caractéristiques internes des agences. **Les agences qui présentent les niveaux de maturité 0 et 2 présentent des caractéristiques plus marquées que les agences qui sont au niveau 1.** Cela rejoint les observations réalisées lors de l'analyse des résultats de l'ACM.

Tableau 19. Variables explicatives les plus liées à l'observation du **NIVEAU 2** dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>	<i>Description de la variable</i>
<i>emp.fav.numeric2</i>	-2.20	0.000	0.111	Les employés sont très favorables aux outils numériques
<i>dir.ut.outilspas.du.tt</i>	1.57	0.000	4.807	Le dirigeant n'utilise pas du tout les outils numériques à l'agence
<i>process.ech.BET0</i>	1.56	0.000	4.759	L'agence n'a pas du tout mis en place des processus d'échange avec les bureaux d'étude
<i>PsizPlutotGrand</i>	-1.52	0.006	0.219	L'agence réalise régulièrement des projets de grande taille
<i>turnover1</i>	1.43	0.003	4.179	L'agence a un turnover important
<i>emp.fav.numeric1</i>	-1.07	0.022	0.343	Les employés sont plutôt favorables aux outils numériques
<i>dirig.favorable2</i>	1.04	0.022	2.829 *	Le dirigeant est très favorable aux outils numériques
<i>Ptyp_amen.urbOui</i>	-1.01	0.041	0.364	L'agence réalise des projets de type « aménagements urbains »
<i>typ.hierA_hier.horiz</i>	-0.92	0.038	0.399	L'agence a un type de hiérarchie horizontale
<i>dir.ut.outilsmodifs.legeres</i>	-0.35	0.003	0.705	Le dirigeant utilise les outils numériques à l'agence uniquement pour réaliser des modifications légères sur les projets

Tableau 20. Variables explicatives les plus liées à l'observation du **NIVEAU 1** dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>	<i>Description de la variable</i>
<i>dirig.favorable1</i>	1.80	0.000	6.050	Le dirigeant est un peu favorable aux outils numériques et aux innovations
<i>dirig.favorable2</i>	1.10	0.000	3.004	Le dirigeant est très favorable aux outils numériques et aux innovations
<i>emp.fav.numeric1</i>	-0.90	0.001	0.407	Les employés sont un peu favorables aux outils numériques et aux innovations
<i>PsizPlutotGrand</i>	0.81	0.040	2.248	L'agence réalise régulièrement des projets de grande taille
<i>Ptyp_amen.intOui</i>	0.54	0.010	1.716	L'agence réalise régulièrement des projets de type « aménagement intérieur »
<i>dir.ut.outilsvisu.uniqmt</i>	0.21	0.000	1.234	Le dirigeant utilise les outils numériques de l'agence uniquement pour visualiser des fichiers
<i>dir.ut.outilsmodifs.legeres</i>	-0.15	0.003	0.861	Le dirigeant utilise les outils numériques de l'agence pour réaliser des modifications légères

Tableau 21. Variables explicatives les plus liées à l'observation du **NIVEAU 0** dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>	<i>Description de la variable</i>
<i>dirig.favorable1</i>	-2.16	0.000	0.115	Le dirigeant est un peu favorable aux outils numériques et aux innovations
<i>emp.fav.numeric2</i>	1.77	0.000	5.871	Les employés sont très favorables aux outils numériques et aux innovations
<i>dirig.favorable2</i>	-1.21	0.000	0.298	Le dirigeant est très favorable aux outils numériques et aux innovations
<i>emp.fav.numeric1</i>	1.14	0.000	3.127	Les employés sont un peu favorables aux outils numériques et aux innovations
<i>Ptyp_amen.intOui</i>	-0.72	0.001	0.487	L'agence réalise régulièrement des projets de type « aménagement intérieur »
<i>Ptyp_amen.urbOui</i>	0.71	0.043	2.034	L'agence réalise régulièrement des projets de type urbains
<i>qual.matInfo.bon1</i>	0.54	0.016	1.716	La qualité du matériel informatique à l'agence est plutôt bonne
<i>dir.ut.outilsvisu.uniqmt</i>	-0.34	0.000	0.712	Le dirigeant utilise les outils numériques de l'agence uniquement pour visualiser les fichiers

La variable la plus liée au niveau de maturité des agences dans notre jeu de données est **l'intérêt des employés pour le BIM** (*emp.fav.numeric*). Le niveau 2 est 9 fois plus fréquent dans les agences qui ont des employés proactifs sur la question du BIM que dans celles dans lesquelles ils y sont réticents ou indifférents (voir également **Figure 72** ci-dessous). De plus, une proportion très faible d'agences qui ont des employés réticents (4 %) travaillent en niveau 2.

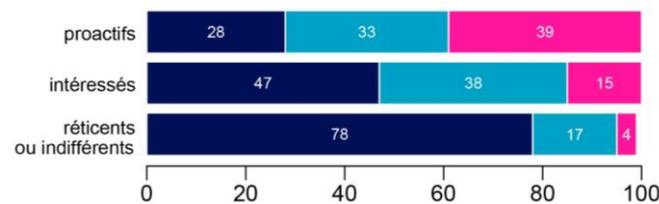


Figure 72. Niveau de maturité des agences par rapport au niveau d'implication des employés par rapport au BIM¹⁴³

Cette donnée ne permet pas de déterminer si c'est l'intérêt des employés pour le BIM qui a influencé la décision du dirigeant à implémenter des pratiques BIM ou si c'est la mise en place du BIM qui a influencé la perception que les employés en ont. Les entretiens préliminaires ont cependant révélé que **la réticence des employés pouvait complètement bloquer la mise en place du BIM à l'agence mais aussi, a contrario, que des employés proactifs pouvaient convaincre un dirigeant peu réceptif à engager son agence dans une transition BIM. L'implication des collaborateurs est donc particulièrement déterminante dans le niveau de maturité BIM d'une agence.**

Étonnamment, le niveau d'intérêt du dirigeant est inversement proportionnel au niveau de maturité de l'agence. Autrement dit, plus le dirigeant se dit favorable aux outils numériques, moins son agence a un niveau de maturité avancé. À titre d'exemple, le niveau 0 est 9 fois plus fréquent chez les agences dans lesquelles le dirigeant se dit un peu favorable au BIM que dans celles dans lesquelles il n'y est pas du tout favorable ; et le niveau 0 est 3.4 fois plus observé dans les agences dont le dirigeant se dit très favorable aux outils numériques que dans celles dans lesquelles il s'y dit opposé. Ce résultat contredit complètement nos observations lors des entretiens. Il existe alors plusieurs manières d'expliquer ce phénomène. Premièrement, nous ne pouvons pas écarter l'hypothèse que notre étude comporte un biais. Cependant, les résultats ont été vérifiés plusieurs fois. Rappelons-nous que la plupart des répondants sont des dirigeants, qui se sont donc auto-évalués sur cette question. Dans les agences au niveau 0, les dirigeants indiquent la plupart du temps que les employés ne sont pas favorables au BIM, leur imputant alors le faible niveau de maturité du BIM. Nous envisageons donc deux hypothèses principales pour expliquer cette surprenante observation : soit les dirigeants sont majoritairement favorables au BIM et leurs

¹⁴³ En bleu foncé : niveau de maturité 0 ; en bleu clair : niveau de maturité 1 ; en rose : niveau de maturité 2

employés bloquent les initiatives d'implémentation, soit **les dirigeants surestiment leur intérêt pour le BIM et imputent à leurs employés le faible niveau de maturité BIM de l'agence**. La seconde hypothèse semble plus probable au vu des observations précédentes.

Le niveau d'utilisation des outils de production de l'agence par le dirigeant est une variable qui différencie fortement les agences niveau 2 des autres (*dir.ut.outilspas.du.tt*, Tableau 19). Il est cinq fois plus fréquent d'observer le niveau 2 dans les agences dans lesquelles le dirigeant utilise les outils de production que dans celles dans lesquelles il ne le fait pas (Figure 73).

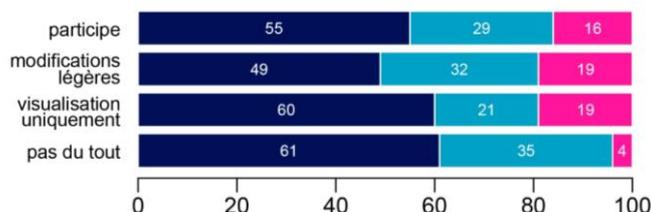


Figure 73. Niveau de maturité des agences par rapport au niveau d'utilisation du dirigeant des outils de CAO de l'agence. ¹⁴⁴

Cette observation entre en contradiction avec une des conclusions des entretiens. Lors de la phase préliminaire, nous avons observé que les dirigeants qui manipulent peu les outils de dessin l'agence étaient réticents à en changer, car cela marquerait leur éloignement définitif avec la production graphique de leur agence. Nous avons alors pensé qu'un dirigeant éloigné de la production serait favorable au BIM et que son agence aurait donc plus de chances d'être avancée en BIM ; alors que les résultats de l'enquête par questionnaire démontrent l'inverse (sans lien de causalité). Nous n'avons pas d'hypothèse solide sur la raison de cette observation.

La troisième caractéristique différenciant le plus les agences niveau 2 des autres est la taille des projets qu'elles réalisent. Le niveau 2 est cinq fois plus observé dans les agences qui réalisent souvent des projets entre 5001 et 10 000 m² que dans les agences qui réalisent principalement des projets de moins de 1000 m² (Tableau 19 et Figure 74). Le **type de projet** réalisé par l'agence différencie également les agences dans leur niveau de maturité BIM. En revanche, la taille des projets réalisés n'est pas proportionnelle au niveau de maturité de l'agence : il existe un palier qui se situe autour de 1000 à 5000 m² au-delà duquel les agences sont moins souvent en BIM niveau 2. Enfin, **la présence du niveau 1 est quasiment indépendante du type ou de la taille de projet que réalise l'agence.** En effet, la proportion d'agences au niveau 1 parmi les groupes d'agences qui réalisent des projets de petite, moyenne, grande taille varie très peu : cette proportion oscille entre 23 et 31 %. Elle ne quadruple pas avec l'augmentation de la taille des projets, comme le niveau 2 par exemple.

¹⁴⁴ En bleu foncé : niveau de maturité 0 ; en bleu clair : niveau de maturité 1 ; en rose : niveau de maturité 2

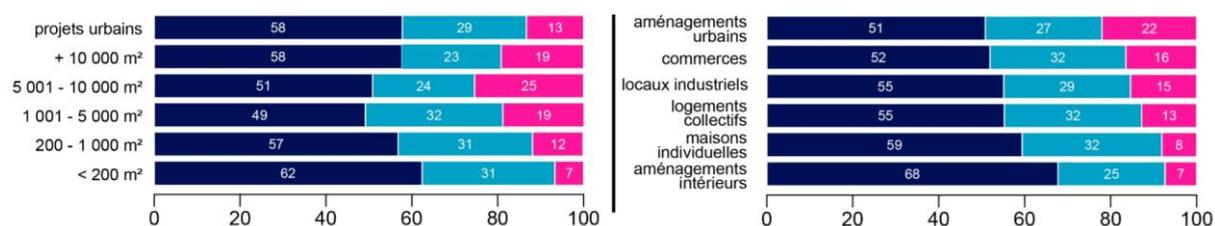


Figure 74. à gauche : Niveau de maturité des agences par rapport à la taille moyenne de leurs projets ; à droite : par rapport aux types de projets souvent réalisés.¹⁴⁵

Les agences dans lesquelles le **renouvellement de personnel est important** (turnover) sont moins souvent au niveau de maturité 2 que les autres (Tableau 19 et Figure 75). Les entretiens ont permis de montrer qu'un fort turnover limite l'ancrage de certaines pratiques communes dans les agences. Cela freine la mise en place de pratiques BIM, qui semble nécessiter une certaine stabilité organisationnelle.

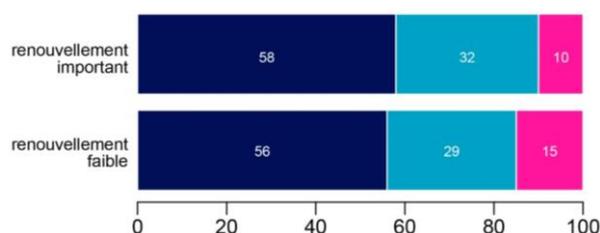


Figure 75. Niveau de maturité des agences par rapport au niveau de renouvellement du personnel ou « turnover »¹⁴⁶

Une corrélation a été établie entre **le type de hiérarchie** dans les agences et leur niveau de maturité BIM : les agences qui ont une hiérarchie horizontale sont 2.5 fois plus fréquemment niveau 2 que celles qui ont une hiérarchie légère (Tableau 19). Les agences qui ont un système hiérarchique très fort sont très rarement BIM niveau 2. Nous avons cependant constaté lors des entretiens que les agences qui fonctionnent de manière horizontale ont beaucoup de difficultés à mettre en place des méthodes de travail communes, chacun utilisant les outils et méthodes qui lui conviennent. Il est donc tout à fait possible qu'un important turnover empêche l'ancrage de pratiques BIM : le départ d'un collaborateur fait perdre à l'organisation des connaissances et compétences.

Parmi les variables testées, certaines se sont montrées **non corrélées** au niveau de maturité BIM. Plusieurs d'entre elles nous ont par ailleurs étonnés : c'est le cas **du nombre de personnes dans l'agence**, du type de marchés réalisés (privés ou publics), du nombre d'années d'expérience professionnelle du dirigeant, ou encore de la régularité du travail avec des BETs extérieurs.

¹⁴⁵ En bleu foncé : niveau de maturité 0 ; en bleu clair : niveau de maturité 1 ; en rose : niveau de maturité 2

¹⁴⁶ Ibid

Observons plus en détail la répartition du niveau de maturité BIM par rapport à **l'effectif des agences** (Figure 76) : la proportion d'agences au niveau 0 diminue avec la taille de l'agence (sauf pour les agences de plus de 20 personnes). **La proportion d'agences au niveau 2 varie assez peu dans les agences** (à l'exception des indépendants). Le niveau de maturité 1 est quant à lui assez peu sensible à la taille de l'agence, sauf pour les agences entre 11 et 20 personnes qui sont un peu plus souvent au niveau 1 que les autres. De façon assez surprenante, les grandes agences sont moins fréquemment en niveau 1 et 2 que les agences de taille moyenne et petite (entre 1 et 10 personnes). Bien que surprenante, cette observation de non-corrélation entre le niveau de maturité BIM et la taille de l'entreprise a déjà été faite par (Hosseini et al. 2018) .Ceci peut être expliqué par l'inertie que subit une grande entreprise lorsqu'elle doit changer de pratiques.

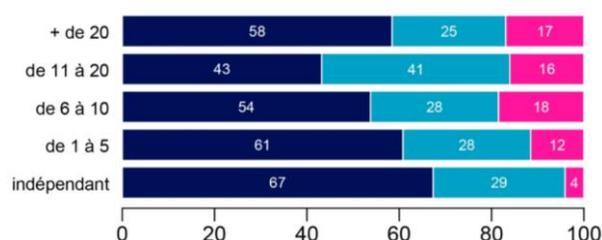


Figure 76. Niveau de maturité des agences par rapport au nombre de personnes qui y travaillent¹⁴⁷

- **Le niveau de maturité des agences est donc bien lié à certaines caractéristiques de leur contexte interne**, en particulier pour le niveau 2. En revanche, **environ un quart à un tiers des agences travaillent en niveau 1, quelle que soit leur taille**, le type de projets sur lesquelles elles travaillent, ou leur mode de fonctionnement interne.
- **Les très grandes agences ne travaillent donc pas plus souvent au niveau 2 que les autres**. On note même que les agences les plus grandes sont plus souvent en niveau 0 que les autres. Cela peut être dû à leur inertie organisationnelle.
- **Celles qui ont implémenté le BIM niveau 2 ont souvent des employés relativement proactifs**, un dirigeant qui participe à la production graphique de l'agence et qui réalise des projets de taille moyenne, le plus souvent en marché public.
- **Enfin, l'intérêt des employés pour le BIM semble être moteur pour les agences** : il est courant que des employés proactifs sur les questions relatives au BIM entraînent avec eux toute l'équipe et convainquent le dirigeant.

7.4.2.3 Niveau de maturité et contexte externe des agences

Nous avons ainsi montré que les agences structurées et de taille moyenne-grande sont plus sujettes aux pressions externes que les autres agences. Dans cette partie, nous tentons de

¹⁴⁷ En bleu foncé : niveau de maturité 0 ; en bleu clair : niveau de maturité 1 ; en rose : niveau de maturité 2

déterminer s'il existe un lien entre des pressions externes et le niveau de maturité des agences. Les pressions ici testées ont été présentées précédemment. Elles sont ici présentées dans leur formulation positive et négative (voir Tableau 22)¹⁴⁸.

Tableau 22. Variables du contexte externe testées dans le questionnaire¹⁴⁹

	<i>POS</i>	<i>NEG</i>
Coercive	Nos clients et partenaires sont de plus en plus demandeurs de BIM.	Nos partenaires ne sont pas en demande d'échanges BIM
Mimetic	De nombreux confrères s'y sont mis	Travailler en BIM serait mal perçu par nos confrères
Normative	Nous avons besoin de normaliser nos processus de travail pour être efficaces et il existe des pratiques normées dans l'industrie.	L'architecte doit garder une grande liberté de conception : des pratiques normées ne le permettent pas/des pratiques normées n'existent pas.

Les répondants ont pu indiquer leur niveau d'accord (0, 1, 2) avec une affirmation relative aux pressions externes, formulée positivement (en bleu) ou négativement (en rouge) dans le questionnaire. La **Figure 77** représente la moyenne des réponses obtenues. Le besoin de structurer sa pratique sur des standards du secteur (pression normative) est la pression externe qui est la plus exprimée par les agences. Les agences peu avancées en BIM indiquent quant à elles qu'il est bloquant de normaliser leurs processus de travail et que cela nuit à la liberté de conception de l'architecte.

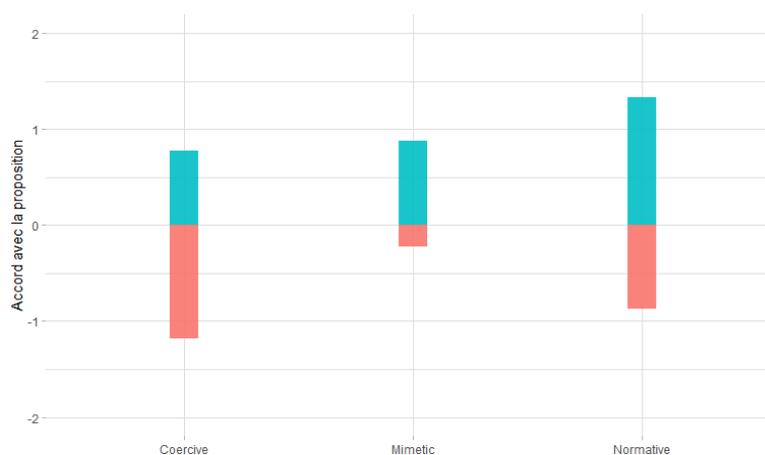


Figure 77. Moyenne des réponses pour les trois facteurs issus du contexte externe, sous leur forme positive (POS en bleu) et négative (NEG en rouge)

Les exigences BIM des maîtres d'ouvrages se développent et poussent les agences à mettre en œuvre des pratiques BIM (Coercive.POS, Figure 77), mais leurs partenaires ne sont

¹⁴⁸ Cette présentation négative et positive a été proposée afin d'évaluer l'impact de la formulation sur les résultats. Nous avons noté dans une partie précédente que la formulation du facteur (négative ou positive) pouvait impacter les résultats d'une étude; voir 5.1.4 « La nature positive ou négative de l'influence des facteurs » p.139. Nous avons donc testé ces facteurs sous leurs deux formes afin d'étudier la différence de résultats et de conclure sur l'impact de la formulation sur les résultats. Voir Annexe 5, Liste de questions et modalités de réponses du questionnaire, Q26, échelle 1.

¹⁴⁹ Pour chaque question, les répondants avaient quatre modalités de réponse pour montrer leur niveau d'accord avec l'affirmation présentée : 0 = pas du tout 1 = un peu 2 = beaucoup [Ø] = ne sait pas

pas prêts et les ralentissent dans cette démarche (Coercive.NEG, *Figure 77*). L'inertie des BET semble par ailleurs plus inhibitrice que les exigences des maîtres d'ouvrages ne sont motrices, en tous cas du point de vue des architectes.

Les trois tableaux ci-dessous (Tableau 23, Tableau 24 et Tableau 25) présentent les **résultats synthétiques de la régression** classés par ordre de corrélation. La liste des variables testées et leurs modalités de références sont présentées en annexe (Annexe 12, Liste de variables 2 p.413).

Tableau 23. Variables explicatives issues du **contexte externe** les plus liées à l'observation du **NIVEAU 2** dans notre jeu de données¹⁵⁰

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>Normative.POS1</i>	-2.58	0.014	0.076
<i>Normative.POS2</i>	-2.50	0.016	0.082
<i>Normative.NEG2</i>	2.00	0.000	7.389
<i>Coercive.NEG2</i>	1.31	0.003	3.706
<i>Mimetic.NEG2</i>	-1.19	0.029	0.304
<i>Normative.NEG1</i>	1.01	0.001	2.746
<i>Coercive.POS2</i>	-0.95	0.014	0.387

Tableau 24. Variables explicatives issues du **contexte externe** les plus liées à l'observation du **NIVEAU 1** dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>Normative.NEG2</i>	1.15	0.000	3.158
<i>Normative.POS2</i>	-1.04	0.000	0.353
<i>Normative.POS1</i>	-0.79	0.007	0.454
<i>Normative.NEG1</i>	0.60	0.002	1.822

Tableau 25. Variables explicatives issues du **contexte externe** les plus liées à l'observation du **NIVEAU 0** dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>Normative.NEG2</i>	-1.74	0.000	0.176
<i>Normative.POS2</i>	1.42	0.000	4.137
<i>Normative.POS1</i>	1.19	0.000	3.287
<i>Normative.NEG1</i>	-1.05	0.000	0.350
<i>Mimetic.POS2</i>	-0.61	0.049	0.543

Parmi les trois pressions testées (normative, mimétique, coercitive), la pression normative est systématiquement la variable la plus corrélée au niveau de maturité des agences, quelle que soit la formulation du facteur (positive ou négative) ou le niveau de maturité.

¹⁵⁰ **Note de lecture pour l'analyse :** la description de la variable : Normative/Coercive ou Mimetic est présentée en Tableau 22. Le suffixe POS indique une expression positive du facteur, et NEG une expression négative du facteur. Le numéro correspond à la réponse apportée lorsque l'on a présenté une affirmation aux répondants : par exemple pour la variable Mimetic.POS, on a présenté l'affirmation « de nombreux confrères ont adopté des pratiques BIM » dans le questionnaire et on a demandé aux répondants d'indiquer à quel point ils sont d'accord avec cette affirmation. Trois options de réponses étaient possibles : 0 = pas du tout, 1 = un peu, 2 = beaucoup (et non-réponse). La variable « Mimetic.POS2 » correspond donc aux agences qui ont indiqué être fortement en accord avec l'affirmation correspondant à Mimetic.POS. La colonne OR indique si dans la population étudiée (niveau 0, niveau 1 ou niveau 2 en fonction du tableau considéré) il y a plus ou moins cette caractéristique « Mimetic.POS2 ». Voir ensuite Annexe 7, « Aide à la lecture : la régression », p.398 pour l'interprétation de l'OR.

Les agences qui ont indiqué avoir besoin de standardiser/normaliser leurs pratiques sont 12 à 13 fois plus fréquemment BIM niveau 2 que celles qui indiquent qu'elles n'en ont pas du tout besoin (Figure 78).

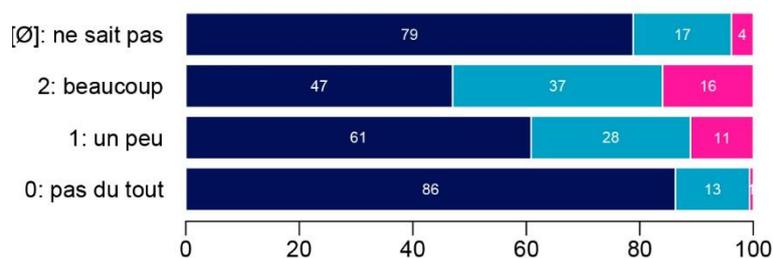


Figure 78. Niveau de maturité des agences par rapport à leur accord avec l'affirmation « Nous avons besoin de normaliser nos processus de travail pour être efficaces »¹⁵¹

Les autres variables testées comme la pression sociale mimétique entre agences ou la pression des maîtres d'ouvrages présentent des liens moins marqués avec le niveau de maturité de l'agence. En revanche, **les agences qui sont niveau 2 ont indiqué plus souvent avoir des clients pressants et des BET réticents à utiliser le BIM que les autres agences.** Cette observation revient également très souvent dans les commentaires laissés par les répondants tout au long du questionnaire : de nombreuses agences ont précisé qu'elles étaient en avance par rapport à leurs partenaires ou aux maîtres d'ouvrage et que le manque de formation de ceux-ci ne leur permettait pas de mettre en œuvre des pratiques de niveau 2.

➔ **La nécessité pour les agences de travailler plus efficacement en adoptant des pratiques standardisées joue un rôle moteur dans leur décision d'adopter des pratiques BIM.** Les agences peu avancées en BIM indiquent quant à elles que normaliser leurs processus de travail nuit à leur liberté de conception : cette exigence de normalisation est un frein pour elles. **La faible maturité BIM des BET semble être le frein le plus important à l'adoption du BIM** parmi les facteurs issus du contexte externe, et **elle compense en partie des pressions positives.**

7.4.2.4 Niveau de maturité et perception du BIM

Au vu des conclusions de l'état de l'art, il est attendu que le niveau de maturité BIM d'une agence soit fortement associé à la perception que le dirigeant et les employés en ont¹⁵². Dans cette partie, nous observons les corrélations entre le niveau de maturité des agences et leur perception du BIM.

¹⁵¹ Au moment de la rédaction du questionnaire, les catégories de facteurs n'étaient pas complètement fixées. La donnée présentée est légèrement différente du concept de « pression normative » présentée en partie 5.4, « Proposition d'un cadre pour l'étude des facteurs d'adoption du BIM », p.160.

¹⁵² Les résultats présentés ne permettent en revanche pas de dire si une perception favorable du BIM a incité très fortement à la mise en place de celui-ci (comme dans la Technology Acceptance Model), ou si au

Chaque caractéristique perçue du BIM a été présentée aux répondants dans une formulation positive et négative (voir Tableau 26).

Tableau 26. Variables du contexte externe testées dans le questionnaire¹⁵³

	<i>POS</i>	<i>NEG</i>
Availability	Nous savons où trouver des formations et où se procurer les outils BIM	Nous ne savons pas où trouver des formations et/ou ne savons pas où nous procurer des outils BIM
Compatibility	Le BIM est compatible avec notre pratique et vision du métier	Le BIM est incompatible avec notre pratique et vision du métier
EaseOfUse	C'est facile à utiliser	C'est compliqué à utiliser
EconomicalAspc	Le BIM offre des possibilités économiques intéressantes	Les outils et la formation sont trop coûteux
Observability	La notion de « BIM » est claire pour nous	La notion de BIM est floue pour nous
RelAdvant	Intégrer le BIM nous donne un avantage concurrentiel	Le BIM nous désavantagerait par rapport à d'autres agences
TechnicalAspc	Les pratiques BIM rendent performants	Il existe de nombreux problèmes techniques
Usefulness	C'est utile pour notre pratique	Le BIM n'est pas pertinent pour notre pratique

Les répondants ont pu indiquer leur niveau d'accord (0, 1, 2) avec une affirmation relative aux pressions externes, formulée positivement (en bleu) ou négativement (en rouge). La Figure 79 représente la moyenne des réponses aux questions concernant la perception du BIM.

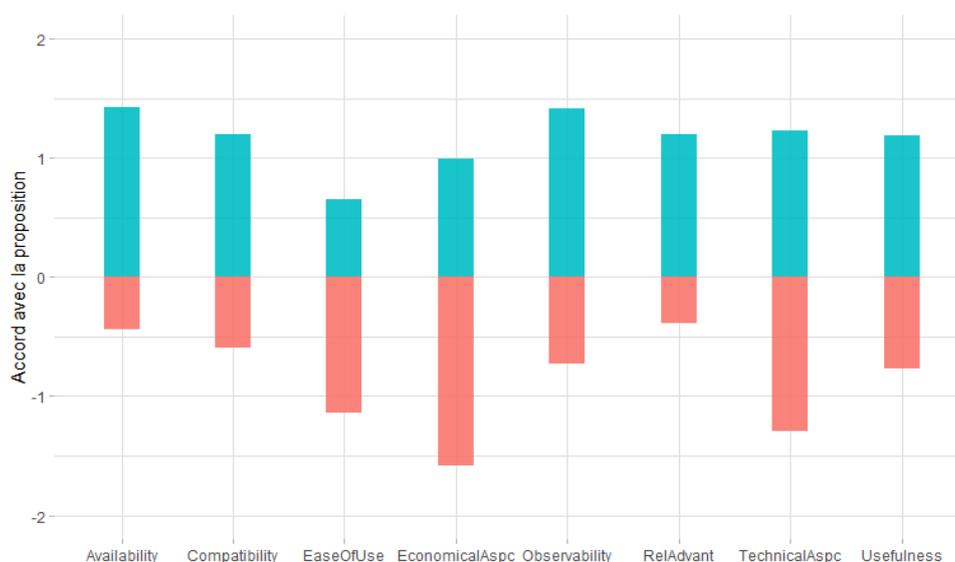


Figure 79. Moyenne des réponses pour les caractéristiques perçues du BIM, sur leur formulation positive (en bleu) et négative (en rouge)

Le BIM est dans l'ensemble considéré comme trop coûteux, difficile à utiliser et présentant de nombreux problèmes techniques (*EconomicalAspc*, *TechnicalAspc* et *EasOfUse*, Figure 79). Les agences considèrent dans l'ensemble que les pratiques BIM sont assez claires pour elles et

contraire, c'est la mise en place de celui-ci qui a modifié la perception que le personnel de l'agence en avait : les deux sont probablement vrais. Il faudrait une étude suivie sur une durée longue pour trancher ces questions.

¹⁵³ Pour chaque question, les répondants avaient quatre modalités de réponse pour montrer leur niveau d'accord avec l'affirmation présentée : 0 = pas du tout 1 = un peu 2 = beaucoup [Ø] = ne sait pas

qu'elles savent où trouver des informations à leur sujet (*Availability, Observability*). Cela est probablement dû au travail conséquent réalisé par le CNOA, Mediaconstruct ou d'autres organisations pour donner accès aux acteurs du secteur à une documentation sur le BIM.

On note que les résultats sont sensibles aux formulations utilisées. Les facteurs formulés négativement voient des réponses plus marquées que les facteurs formulés positivement. Si l'on devait classer les facteurs par ordre d'influence, cet ordre serait différent selon que l'on étudie les facteurs formulés positivement ou négativement. Les nombreuses études dans la littérature scientifique sur l'adoption du BIM, qui sont rarement sensibles à ces formulations, comportent donc peut-être des biais dus à la formulation utilisée pour l'étude des facteurs d'adoption.

Les trois tableaux ci-dessous (Tableau 27, Tableau 28, Tableau 29) présentent les résultats synthétiques de la régression classés par ordre de corrélation. Les modalités de référence des variables sont présentées en annexe (Annexe 12, Liste de variables 3 p. 415).

Tableau 27. Variables explicatives (**perception de l'innovation**) les plus liées à l'observation du NIVEAU 2 dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>TechnicalAspc.POS1</i>	2.72	0.001	15.180
<i>EconomicalAspc.POS1</i>	-2.63	0.003	0.072
<i>Usefulness.NEG2</i>	2.56	0.005	12.936
<i>EconomicalAspc.POS2</i>	-2.44	0.007	0.087
<i>TechnicalAspc.POS2</i>	2.21	0.011	9.116
<i>EaseOfUse.POS2</i>	-1.58	0.004	0.206

Tableau 28. Variables explicatives (**perception de l'innovation**) les plus liées à l'observation du NIVEAU 1 dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>Compatibility.POS2</i>	-0.84	0.038	0.432
<i>EaseOfUse.NEG2</i>	0.74	0.025	2.096
<i>EconomicalAspc.NEG1</i>	0.74	0.033	2.096
<i>EaseOfUse.POS1</i>	-0.50	0.029	0.607

Tableau 29. Variables explicatives (**perception de l'innovation**) les plus liées à l'observation du NIVEAU 0 dans notre jeu de données

	<i>Estimate</i>	<i>pval</i>	<i>OR</i>
<i>EaseOfUse.NEG2</i>	-1.04	0.002	0.353
<i>Compatibility.POS2</i>	0.92	0.019	2.509
<i>EaseOfUse.POS2</i>	0.90	0.013	2.460
<i>Usefulness.NEG2</i>	-0.67	0.035	0.512
<i>EaseOfUse.POS1</i>	0.61	0.006	1.840

La perception de la facilité d'utilisation du BIM (*EaseOfUse*) est fortement corrélée au niveau de maturité des agences. Plus les agences ont des pratiques BIM avancées, plus le répondant a considéré qu'il est facile de mettre en œuvre des pratiques BIM (Figure 80). Nous avons vu au cours des entretiens que la perception de complexité ou de non-flexibilité des outils BIM était souvent associée à une méconnaissance des possibilités qu'ils offrent.

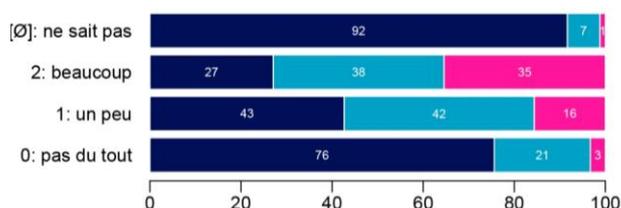


Figure 80. Niveau de maturité des agences par rapport à leur degré d'accord avec l'affirmation « Le BIM est facile à utiliser »

Les répondants ayant indiqué **que le BIM offrait des possibilités économiques intéressantes** (*EconomicalAspcPOS*) sont issus d'agences 12 à 14 fois plus fréquemment niveau 2 que les autres (Tableau 27). En revanche, la majorité des agences (766 agences sur 894) tous niveaux confondus ont indiqué que les outils et la formation BIM sont trop coûteux, avec une tendance pour les agences niveau 2 à trouver cela un peu moins coûteux que les autres (Figure 81).



Figure 81. Niveau de maturité des agences par rapport à leur degré d'accord avec l'affirmation « Les outils et la formation sont trop coûteux »

87 % des agences qui ont indiqué que le BIM n'était pas du tout compatible avec leur pratique et vision du métier sont au niveau de maturité BIM 0 (Figure 82). Cela interroge sur l'impact de la généralisation d'exigences BIM sur la profession.

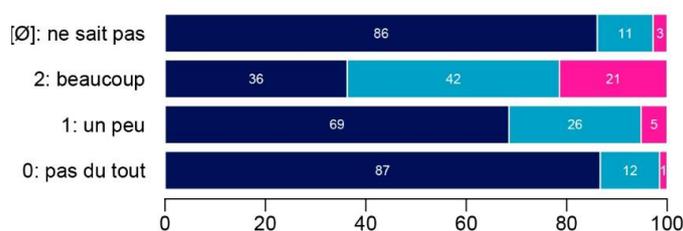


Figure 82. Niveau de maturité des agences par rapport à leur degré d'accord avec l'affirmation « Le BIM est compatible avec notre pratique et vision du métier »

Dans l'ensemble, **la perception du BIM présente dans les agences est très liée à leur niveau de maturité**. En effet, plus une agence a des pratiques avancées en BIM et plus elle le considèrera utile, compatible avec ses pratiques, et efficace.

Ce qui différencie très clairement les agences niveau 0 de celles qui sont niveau 2, c'est **l'appréhension de la difficulté d'utilisation du BIM**. Il est difficile de dire si c'est la perception négative du BIM qui les fait ne pas adopter des pratiques BIM ou si c'est le fait de ne pas y avoir été réellement confronté qui a forgé une vision faussée des possibilités offertes par les pratiques BIM. L'état de l'art et les entretiens préliminaires permettent de dire que les deux affirmations sont certainement vraies.

Enfin, sur le plan méthodologique, on observe une différence de résultats entre les facteurs formulés positivement et ceux formulés négativement. Les études qui ne tiennent pas compte de la formulation des facteurs sont nombreuses dans la littérature scientifique : leurs conclusions sont à mettre en regard avec cette nouvelle information.

7.4.2.5 Le contexte externe d'une agence influence-t-il sa perception du BIM ?

Nous avons vu que le niveau de maturité des agences dépendait peu de leur contexte interne, mais est assez lié à leur perception du BIM ainsi qu'à leur contexte externe lié au BIM. Dans cette partie, nous observons que **la perception du BIM est assez liée au contexte externe des agences**.

Nous avons réalisé une nouvelle ACM¹⁵⁴. Des variables liées au contexte externe (Coercive, Mimetic, Normative) ainsi qu'à la perception du BIM (Usefulness, Compatibility, EconomicalAspc, TechnicalAspc, RelAdvant, EaseOfUse, Availability, Mimetic) y sont testées.

Les rapports de corrélation de l'ACM 2 (**Figure 83**) indiquent que les variables qui ont le plus contribué à la position des individus sont **l'utilité perçue du BIM (Usefulness)**, et la **compatibilité estimée du BIM avec la pratique (Compatibility)**. La position de la variable supplémentaire *NIV* indique que le niveau de maturité BIM des agences est mieux « expliqué » par leur contexte externe et leur perception du BIM que par leurs caractéristiques internes¹⁵⁵.

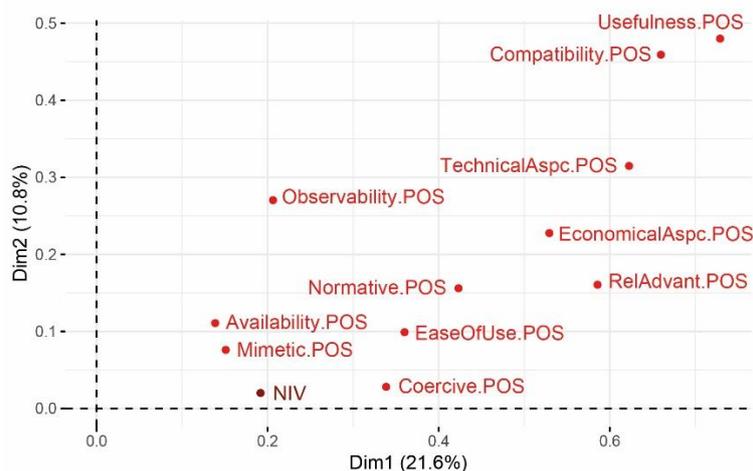


Figure 83. Rapports de corrélation pour chacune des variables de l'ACM 2, avec la variable supplémentaire « NIV »

Le nuage des individus de cette ACM forme un triangle très dense dans la partie supérieure gauche et très peu dense dans la partie supérieure droite du graphique (**Figure 84**). Il y a donc des modalités qui sont partagées par de nombreuses agences (celles-ci se situent dans le quart supérieur droit).

¹⁵⁴ Pour cette ACM, seules les agences qui n'avaient pas de valeur inconnue pour les variables utilisées pour l'ACM ont été retenues (soit 440 agences).

¹⁵⁵ La variable NIV présente un niveau de corrélation sur la première dimension (Dim1) qui est plus élevé que pour la précédente ACM (avec les variables actives issues du contexte interne des agences) : voir Figure 68, p.216.

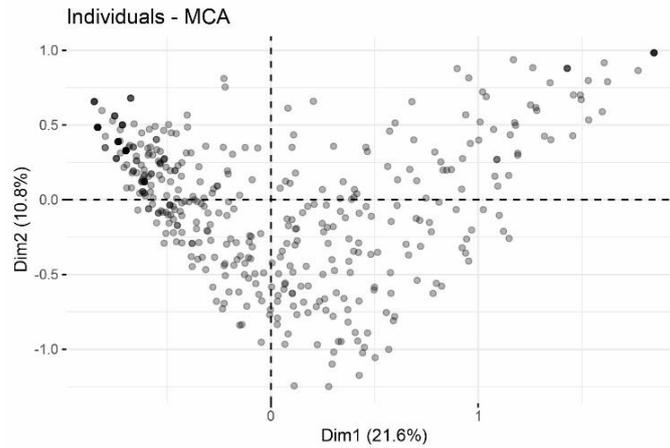


Figure 84. Nuage des individus pour l'ACM 2

La Figure 85 présente les modalités fortement positives du contexte externe (en vert foncé) regroupées dans le quart supérieur gauche du graphique alors que les modalités fortement négatives (en rose) sont regroupées dans le quart supérieur droit du graphique.

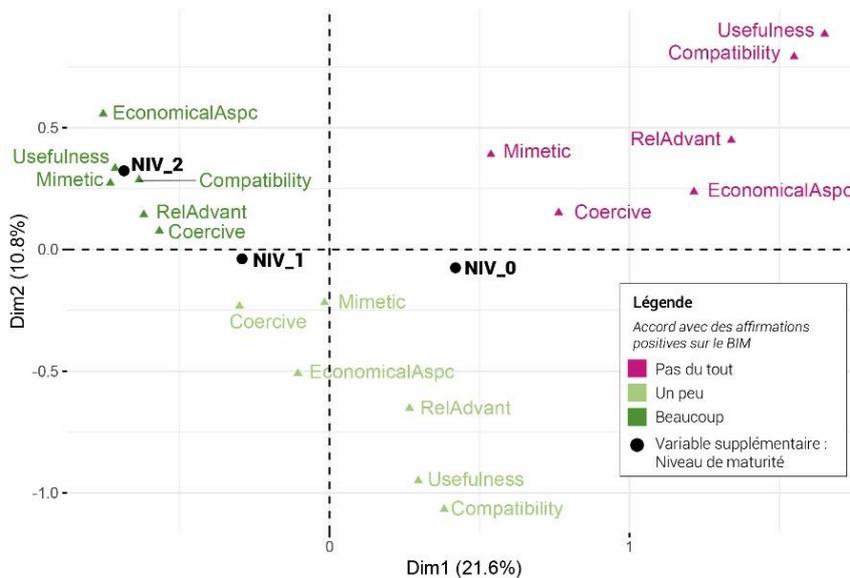


Figure 85. Nuage des modalités pour l'ACM 2

Cela nous permet de conclure sur deux points. Premièrement, la **densité observée sur le nuage des individus dans la partie supérieure gauche (Figure 84)** correspond aux **agences qui ont une perception et un contexte externe favorables au BIM**. Elles sont plus nombreuses que les autres¹⁵⁶. Deuxièmement, les agences qui ont adopté une modalité positive sur une variable ont souvent adopté une modalité positive pour les autres variables également¹⁵⁷. En d'autres termes, **les agences qui trouvent le BIM utile considèrent également qu'il est compatible avec leur**

¹⁵⁶ Le nombre de points dans cette partie est très important par rapport aux autres parties du graphique.

¹⁵⁷ En effet, les modalités de variables positives sont plus proches dans le cadran supérieur gauche que les modalités de variables négatives dans la partie supérieure droite.

pratique, qu'il leur offre (offrirait) un avantage concurrentiel et des opportunités économiques intéressantes.

→ **Le contexte externe et la perception du BIM sont donc assez fortement liés.** Il est très probable que des pressions issues du contexte externe (demandes de maîtres d'ouvrages, partenaires favorables au travail en BIM) aient influencé la perception du BIM dans les agences.

Le nuage des modalités (Figure 85) présente toutes les modalités des variables actives de l'ACM ainsi que les modalités de la variable supplémentaire *NIV* qui représente le niveau de maturité des agences. Les agences qui ont indiqué leur accord avec des affirmations positives sur la technologie BIM sont aussi celles qui sont le plus souvent au niveau 2.

La modalité représentant le niveau de maturité 2 (*NIV_2*) se trouve au centre des modalités très positives (vert foncé) de l'ACM. La modalité représentant le niveau de maturité 0 (*NIV_0*) se trouve entre les affirmations négatives (en rose) et positives (vert clair). De cela, nous pouvons conclure que les agences de niveau 2 sont confrontées assez fortement à des pressions externes positives pour travailler en BIM. Les agences de niveau 0 ne sont pas au centre des modalités négatives : leur position est plus nuancée que celle des agences de niveau 2. En effet, les agences de niveau 0 sont aussi (dans une moindre mesure que les agences de niveau 2) soumises à des pressions externes et n'ont pas une vision complètement négative de la technologie BIM.

Observons à présent les nuages des individus sur différentes modalités pour compléter l'analyse.

Le nuage des modalités (Figure 85) fait apparaître une très forte proximité entre la perception d'utilité du BIM (*Usefulness*) et les possibilités techniques de la technologie (*TechnicalAspc*). Le nuage des individus pour ces deux variables (**Figure 86**) montre qu'elles présentent une dispersion assez faible et sont très proches l'une de l'autre. **Le niveau d'utilité perçue et la perception des possibilités techniques offertes par le BIM sont très fortement liés.** Cette observation était attendue et semble très cohérente.

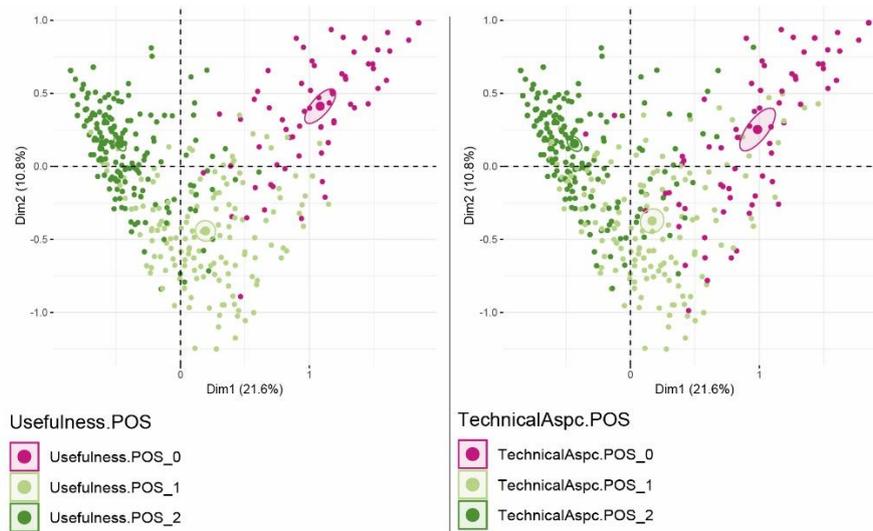


Figure 86. Nuage des individus de l'ACM 2 pour les variables « Usefulness » (utilité perçue du BIM) et « TechnicalAspc » (intérêt des possibilités techniques offertes par le BIM)

Les agences qui considèrent que le BIM porte des possibilités économiques intéressantes sont aussi celles dont les partenaires ou maîtres d'ouvrages sont prêts à travailler en BIM (**Figure 87**).

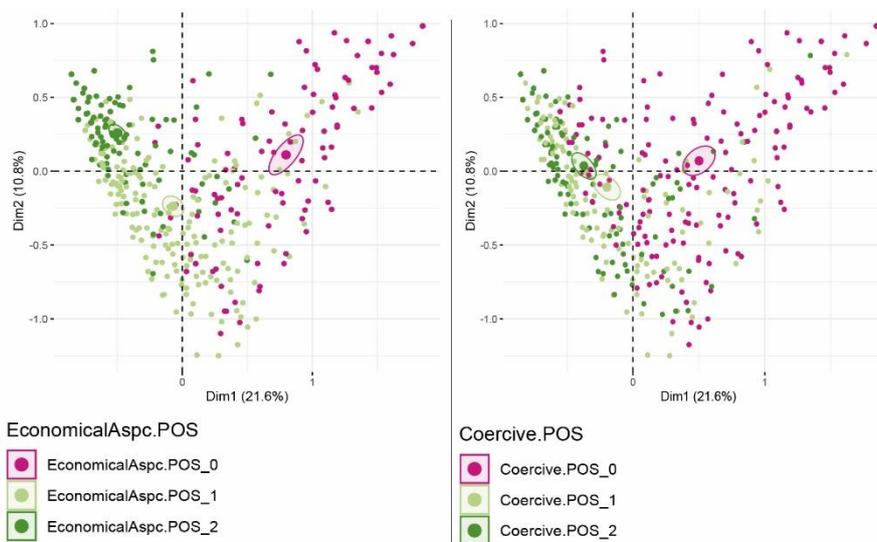


Figure 87. Nuage des individus de l'ACM 2 pour les modalités « Economical Aspc » (intérêt économique du BIM) et « Coercive » (impulsion donnée par les partenaires et clients pour travailler en BIM).

Le nuage des individus pour la variable supplémentaire correspondant au niveau de maturité des agences (NIV) présente une répartition assez proche de celle des autres variables étudiées (**Figure 88**). Le niveau de maturité d'une agence est lié très certainement influencé par son contexte externe qui lui-même influence probablement la perception du BIM en son sein.

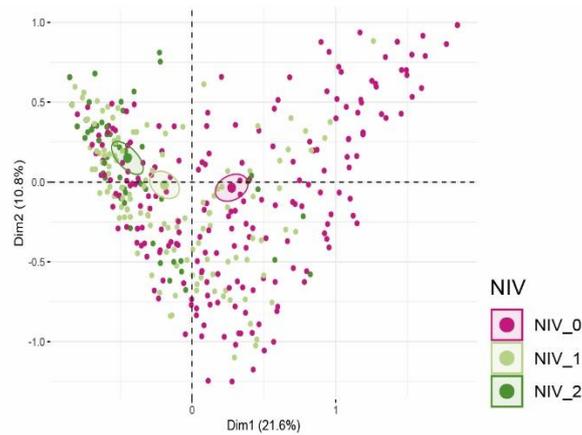


Figure 88. Nuage des individus des l'ACM2 pour la variable supplémentaire « NIV » (niveau de maturité BIM des agences).

On note également que la zone favorable au BIM ne compte pas que des agences au niveau 2 (Figure 88) : certaines agences au niveau 0 et au niveau 1 subissent également des pressions des maîtres d'ouvrages et ont une vision assez positive de cette innovation. **On peut raisonnablement supposer qu'il s'agit des agences qui vont probablement bientôt passer en BIM niveau 1 ou 2.** Le quart supérieur droit (défavorable au BIM) compte en revanche principalement des agences de niveau 0 : celles-ci feront probablement partie des dernières à implémenter des pratiques BIM.

- ➔ Plus une agence sera confrontée à des exigences BIM et à des confrères qui exploitent les pratiques BIM, plus elle aura tendance à trouver le BIM utile, intéressant économiquement et compatible avec sa pratique. Il semble donc que le contexte externe d'une agence influence fortement sa perception de la technologie qui elle-même à son tour impacte son niveau de maturité.
- ➔ Il existe des agences qui travaillent en niveau de maturité 0 ou 1 et qui subissent des pressions coercitives qui sont favorables au BIM : ces agences sont certainement celles qui vont mettre en œuvre des pratiques BIM bientôt, avec les agences de taille plus importante qui subissent des pressions issues de leur contexte externe.

7.4.3 Bilan : qui sont les agences qui travaillent en BIM ?

Dans cette partie, nous avons tenté de déterminer s'il existe un lien entre la position d'une agence sur l'espace socio-économique des agences d'architecture et son niveau de maturité BIM (partie 7.4.1, p.215) ; et nous avons tenté d'identifier les éléments qui expliquent le mieux la maturité BIM d'une agence parmi les contextes interne, externe, et les caractéristiques perçues de l'innovation (partie 7.4.2, p.218).

7.4.3.1 *Les niveaux de maturité BIM répartis de façon relativement homogène sur l'ESÉAA*

Nous avons positionné les pratiques BIM sur **l'Espace Socio-Économique des Agences d'Architecture**. Cela a permis de montrer **qu'il n'existe pas de groupe homogène d'agences aux caractéristiques internes similaires** qui mettent en œuvre les pratiques BIM plus que les autres.

Il y a cependant quelques caractéristiques internes des agences qui sont associées à un niveau de maturité élevé ou faible (le niveau 1 semble réparti de façon homogène au sein de la population d'agences). Les agences qui ont des employés proactifs sont dix fois plus souvent en niveau de maturité 2 que les autres. Jusqu'à un certain point, le niveau de maturité 2 est proportionnel à la taille des projets que réalise l'agence ; mais au-delà d'une certaine taille de projets et taille d'agence, l'effet est inverse. Il semble que les très grandes agences aient beaucoup de difficultés à mettre en œuvre des pratiques BIM, notamment à cause de leur inertie. Ce sont également des agences dans lesquelles le renouvellement de personnel est plus important (et nous avons vu que cette caractéristique était associée à un faible niveau de maturité BIM).

On note que l'utilisation de logiciels BIM de conception et la mise en œuvre du niveau de maturité 1 quasiment indépendant de la production de l'agence (taille et types de projets) et de sa taille. Pourtant, les architectes évoquent souvent l'impossibilité pour les petites agences de s'équiper : ce n'est pas ce que nous observons. Cependant, les entretiens ont montré que ce sont les petites agences qui sont les plus enclines à utiliser des versions non officielles des logiciels, ce qui peut expliquer en partie le fait qu'elles mettent « autant » en œuvre le niveau 1.

7.4.3.2 *Les éléments qui expliquent le mieux le niveau de maturité d'une agence*

Nous avons testé la corrélation entre le niveau de maturité des agences et leur contexte interne, externe et les caractéristiques perçues de l'innovation. Les valeurs présentes dans les tableaux de résultat des régressions présentent des corrélations les plus fortes pour la perception de l'innovation, puis pour le contexte externe, et enfin le contexte interne, qui présente quant à lui des corrélations relativement faibles avec le contexte interne des agences. C'est donc certainement le contexte externe qui influence fortement la manière dont le BIM est perçu dans une agence, qui influence à son tour la décision d'adopter, qui a donc un impact sur le niveau de maturité des agences.

7.4.3.3 *Les grandes agences sont celles qui sont le plus sous pression par rapport au BIM*

Les agences les plus grandes sont plus exposées que les autres aux pressions externes qui les poussent à mettre en œuvre des pratiques BIM (et c'est paradoxalement elles qui sont le moins en niveau de BIM avancé). On peut envisager que leur faible maturité BIM n'est alors que provisoire et très liée à leur inertie organisationnelle.

7.5 Comment se déroule la transition vers des pratiques BIM ?

Dans cette partie, nous évoquons le **déroulement du processus d'adoption au sein des agences**, en incluant la **décision d'adoption** et le **déroulement de l'implémentation**.

7.5.1 Facteurs de décision : pourquoi les agences commencent-elles à travailler en BIM ?

Les entretiens préliminaires nous ont permis de dégager **deux types d'éléments qui influencent la décision d'adopter** des pratiques BIM au sein des agences d'architecture : des **facteurs** qui interviennent sur le long terme, et les **événements déclencheurs** qui agissent plus ponctuellement¹⁵⁸. Nous nous sommes appuyés sur ces observations pour construire l'enquête par questionnaire. Dans cette partie, nous présentons donc les résultats de l'enquête par questionnaire relatifs aux facteurs qui influencent la décision d'adopter le BIM d'après les architectes et les facteurs déclenchant la transition.

7.5.1.1 Facteurs de décision

Dans les parties précédentes, nous avons corrélé certaines caractéristiques des agences avec la présence d'éléments contextuels¹⁵⁹. La démarche ici présentée est différente, car elle consiste à demander aux répondants ce qui **d'après eux** avait influencé la **décision** d'adopter des pratiques BIM dans leur agence. La différence se situe à deux niveaux : premièrement, les résultats ici présentés sont la résultante de l'analyse des répondants (et non de l'observation d'une corrélation) ; deuxièmement, la question porte ici explicitement sur le **moment de la décision**¹⁶⁰.

Nous avons demandé aux répondants ce qui avait guidé leur décision de travailler en BIM. Les modalités de réponses possibles dans le questionnaire correspondent aux facteurs d'adoption potentiels identifiés pour le **contexte externe** et les **caractéristiques de l'innovation**¹⁶¹.

Chaque facteur a été présenté sous une formulation positive et négative. Les répondants ont eu trois possibilités de réponses pour chaque affirmation « Cela a influencé notre décision de mettre en œuvre le BIM » : « Oui », « Non », « Ne sait pas » (voir **Figure 89** ci-dessous).

¹⁵⁸ Voir partie 6.3.2.1, « Le déclenchement de la transition » p.182

¹⁵⁹ Voir partie 7.4.2, « Les éléments qui expliquent le mieux le niveau de maturité d'une agence » p.218

¹⁶⁰ On note cependant que les résultats observés dans cette partie sont très proches de ceux présentés en partie 7.4.2. « Les éléments qui expliquent le mieux le niveau de maturité d'une agence » p.218

¹⁶¹ Voir Tableau 12 « Taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro pour les phénomènes de **décision** et **d'implémentation** » p.166

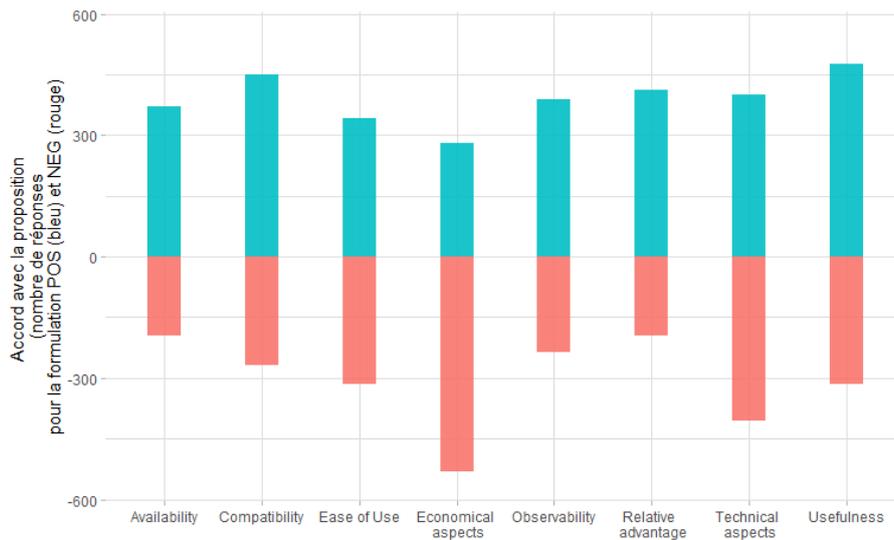


Figure 89. Les caractéristiques du BIM qui influencent la décision des architectes à travailler en BIM.¹⁶²

Note de lecture : La figure ci-dessus représente le nombre de réponses « Oui » pour les facteurs testés. Les réponses « Oui » aux affirmations positives sont en bleu, les réponses « Oui » aux affirmations négatives sont présentées en Rose. Le graphique les présente l'une au-dessus de l'autre afin de dégager une tendance générale des facteurs, et savoir si, selon les acteurs, ils ont plutôt un impact positif ou négatif sur leur décision de commencer à travailler en BIM.

La perception d'**utilité** du BIM (*Usefulness*), sa **compatibilité** (*Compatibility*) avec les pratiques actuelles des agences ainsi que **l'avantage concurrentiel** (*Relative advantage*) qu'il leur offre sont les trois facteurs qui poussent le plus les architectes à implémenter des pratiques BIM selon eux. **Le coût de l'équipement est de loin le facteur qui les freinent le plus suivi des caractéristiques techniques.**

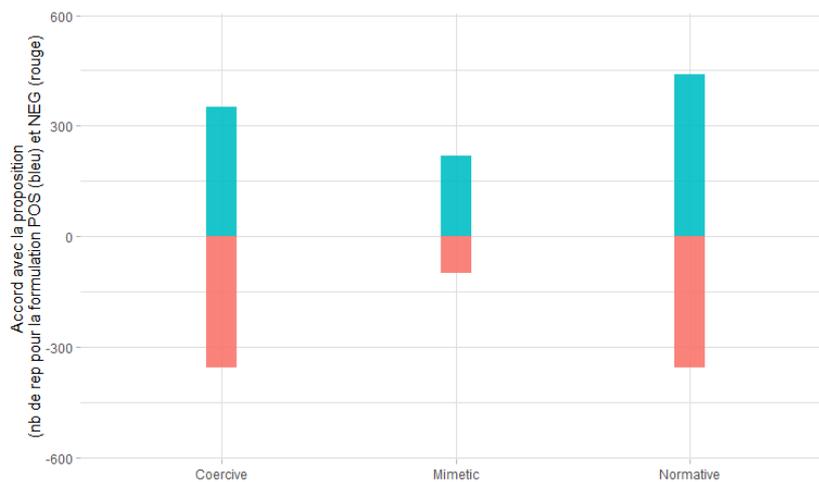


Figure 90. Les caractéristiques du contexte externe d'une agence qui influencent la décision des architectes à travailler en BIM

La nécessité de normaliser les pratiques et processus de travail pour gagner en efficacité (*Normative*), ainsi que les exigences BIM des maîtres d'ouvrage et des partenaires (*Coercive*) sont

¹⁶² Voir détail des variables en Annexe : Annexe 13, « Tableaux de variables et questions associées pour la partie 7.5 », p.409

les deux facteurs du contexte externe qui motivent le plus les architectes selon eux à travailler en BIM ; alors que le manque de formation ou de motivation des partenaires (*Coercive*) et la perte de liberté liée à la normalisation est un inhibiteur. On note le très faible nombre de réponses négatives pour les processus mimétiques (*Mimetic*) : il n'est pas « mal vu » par ses pairs de mettre en place des pratiques BIM.

→ **La perception que le BIM est utile, compatible** avec les pratiques déjà établies dans l'agence et qu'il offre un avantage concurrentiel sur le marché **influence fortement la décision des agences à mettre en place des pratiques BIM**. Les agences mettent également en œuvre des pratiques BIM pour travailler plus efficacement et être en phase avec les exigences BIM grandissantes des maîtres d'ouvrage. Elles sont en revanche freinées par l'inertie de leurs partenaires, notamment les BET qui peinent à proposer des processus de travail BIM.

7.5.1.2 Événements déclencheurs

Les entretiens préliminaires ont permis de dégager plusieurs situations qui peuvent déclencher la mise en place de pratiques BIM dans les agences¹⁶³. Huit situations ont été testées dans l'enquête par questionnaire (Tableau 30).

Tableau 30. Événements qui ont déclenché l'implémentation du BIM dans les agences

<i>Nom de variable</i>	<i>Description</i>
LGTPS	nous travaillons comme cela depuis des années, c'est difficile à dire...
SPONTAN	la mise en place progressive et spontanée de processus BIM par certaines personnes de l'agence
NOUVEAU	l'arrivée d'une nouvelle personne à l'agence a mis en place spontanément des processus
DEM.EMP	une demande des employés
OPPORTUNITE	une opportunité sur un projet (non-obligation)
DEM.MOU	une demande très forte d'un maître d'ouvrage dans le cadre d'un projet
EMBAUCH	l'embauche d'une nouvelle personne par la direction dans le but d'initier l'agence au BIM
DIREC.OBLIG	une prise de décision formelle de la direction qui a montré sa volonté d'intégrer le BIM à l'agence

Les résultats de l'enquête pour cette question sont présentés dans la figure ci-dessous (**Figure 91**). Les résultats ont été analysés séparément pour les agences qui sont au niveau de maturité 1 et 2.

¹⁶³ Voir partie 6.3.2.1, « Le déclenchement de la transition » p.182

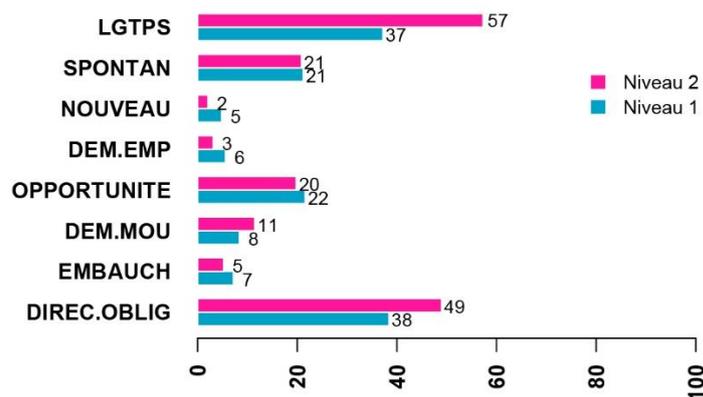


Figure 91. Événement qui a déclenché l'implémentation du BIM dans les agences (en % de réponses)

57 % des agences qui sont au niveau 2 et 37 % de celles qui sont au niveau 1 indiquent avoir **des pratiques BIM depuis longtemps (LGTPS)**. C'est la réponse la plus souvent cochée par les répondants. Les entretiens avaient par ailleurs montré que les agences qui travaillent depuis longtemps en niveau 1 ont naturellement commencé à effectuer des tests d'échange et d'utilisation de maquette numérique avec leurs partenaires habituels.

Dans un cas sur deux, les agences qui sont au niveau 2 sont passées à des pratiques BIM de ce type sur **demande expresse du dirigeant (DIREC.OBLIG)**. La situation inverse, c'est-à-dire la **mise en place progressive et spontanée de processus BIM proposée par des collaborateurs (SPONTAN)** a eu lieu dans **un cas sur cinq**.

Dans 5 % des agences qui sont au niveau 1, une nouvelle recrue a mis en place spontanément des processus BIM (**NOUVEAU**) ; dans 7 % des cas, la direction a embauché spécialement une personne pour initier la transition de l'agence (**EMBAUCH**).

Dans 20 à 22 % des cas, c'est une opportunité particulière sur un projet qui a poussé l'agence à mettre en œuvre des pratiques BIM (**OPPORTUNITE**).

- De nombreuses agences qui sont aux niveaux de maturité BIM 1 et 2 disent l'être depuis longtemps.
- Il n'est pas rare que l'agence mette en œuvre des pratiques BIM **suite à une opportunité particulière** sur un **projet** ou une **demande d'un maître d'ouvrage**.
- Enfin, **soulignons l'importance de l'impact des collaborateurs dans les agences** qui mettent souvent en place spontanément et progressivement des pratiques BIM.

7.5.2 Le déroulement de l'implémentation

Dans cette partie, nous présentons les stratégies et actions mises en œuvre au sein des agences lorsqu'elles mettent en place des pratiques BIM en leur sein¹⁶⁴.

7.5.2.1 Stratégies mises en œuvre pour l'implémentation

Lorsqu'elles mettent en place des pratiques BIM, les agences peuvent réaliser une formation professionnelle. Mais les entretiens nous ont montré qu'elles peuvent également avoir recours à d'autres stratégies pour que la transition se passe au mieux¹⁶⁵.

En conduite du changement, une transition dans une entreprise peut être accompagnée d'un management particulier, qui inclut une communication au sein des équipes, un projet pilote et une redéfinition des rôles de chacun (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

Le questionnaire a été l'occasion de tester huit pratiques (Tableau 31) qui peuvent être mises en œuvre pour implémenter des pratiques BIM.

Tableau 31. Stratégies mises en œuvre pour accompagner et faciliter l'implémentation du BIM dans les agences

<i>Abréviation</i>	<i>Description</i>
formation	Suivi d'une formation professionnelle
responsable.BIM	Désignation d'une personne ou équipe en charge d'organiser/d'accompagner l'intégration du BIM à l'agence
communication	Mise en place de communications dédiées à l'avancement de l'intégration du BIM à l'agence (mails d'info, réunions...)
calendrier	Mise en place d'un calendrier dédié à la mise en place du BIM dans l'agence
projet.pilote	Choix d'un projet pour essayer les nouveaux processus de travail (projet pilote)
KPI	Mise en place d'un calcul d'indicateurs de performances
conduite.chgmt	Mise en œuvre d'un management de type « conduite du changement »
roles	Réaffectation de tâches et rôles au sein de l'agence spécifiques au BIM

Les réponses sur cette question ont été analysées et représentées séparément pour les agences qui ont été identifiées comme étant au niveau de maturité 1 et 2 (voir **Figure 92** ci-dessous).

¹⁶⁴ Les questions posées dans l'enquête relative à l'implémentation sont référencées en Annexe, voir Tableau 63, p.410

¹⁶⁵ Voir partie 6.3.2.3 « Sur le déroulement de l'implémentation du BIM » p.184

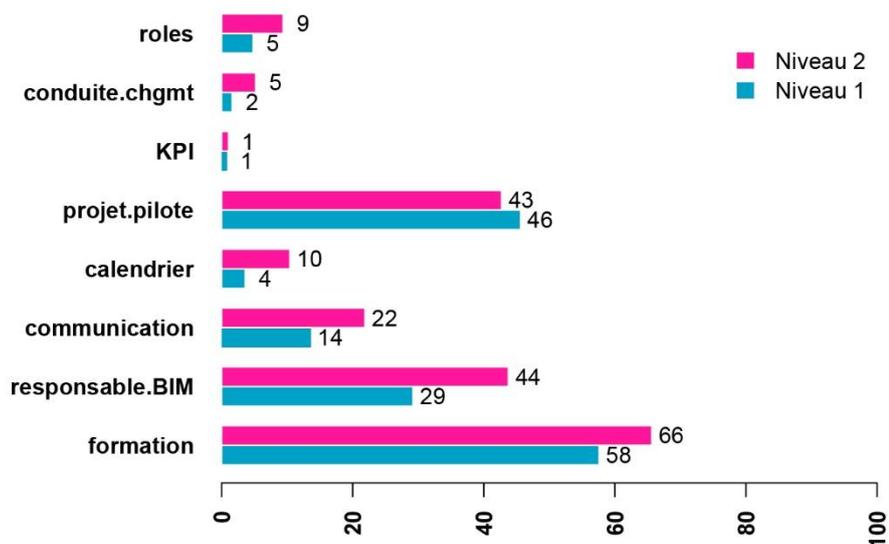


Figure 92. Stratégies mises en œuvre pour intégrer des nouvelles pratiques BIM à l'agence (en % de réponses)

Deux tiers des agences qui sont au niveau 2 et 58 % de celles qui sont au niveau 1 ont réalisé une formation (Figure 92). On peut donc s'étonner qu'environ **un tiers des agences qui mettent en place des pratiques BIM ne réalisent pas de formation**. Cela correspond en revanche bien aux observations réalisées lors des entretiens : les pratiques peuvent se mettre en place et être testées de façon « sauvage » avant d'être généralisées au sein de l'agence par une formation. Parfois, lorsque la transition a été déclenchée par l'entrée d'un marché BIM, les équipes sont contraintes de commencer à travailler sur des outils et avec des méthodes qu'ils ne connaissent pas, sans qu'une formation n'ait pu avoir lieu.

Environ **45 % des agences ont utilisé un projet pilote** pour leur passage au BIM. Dans 44 % des agences au niveau 2, une personne ou équipe a été en charge d'organiser/d'accompagner l'intégration du BIM à l'agence (*responsable.BIM*).

Dans **seulement 22 %** des cas, les agences qui sont au niveau 2 ont **communiqué en interne** sur la transition à venir (*communication*), seuls **10 % ont mis en place un calendrier** de transition, **9 % ont redéfini les rôles** au sein de l'agence, **5 % ont mis en place une stratégie de conduite du changement** et seulement **1 % des agences ont calculé des indicateurs de performance (KPI)** pour connaître l'impact de la transition sur l'agence.

→ **Les trois stratégies les plus courantes pour la transition de l'agence sont donc la formation, l'utilisation d'un projet pilote, et la désignation d'un responsable de transition.** Cependant, une partie des agences qui ont mis en place des pratiques BIM n'ont pas réalisé de formation.

→ Alors que les entretiens ont montré qu'une implémentation pouvait échouer et mettre en péril l'agence si elle n'est pas bien positionnée dans le calendrier, **peu d'agences mettent en place un calendrier de transition**. Celles qui surveillent des indicateurs (KPI) pour s'assurer de la « santé » économique de l'agence au cours de l'implémentation le sont encore plus.

7.5.2.2 Un point sur la formation professionnelle

Les formations sont centrales dans la mise en place de pratiques BIM. Les agences de niveau 1 ou 2 qui ont indiqué avoir fait une formation ont eu accès à des questions complémentaires à ce sujet. La figure ci-dessous présente l'objet des formations réalisées (Figure 93).

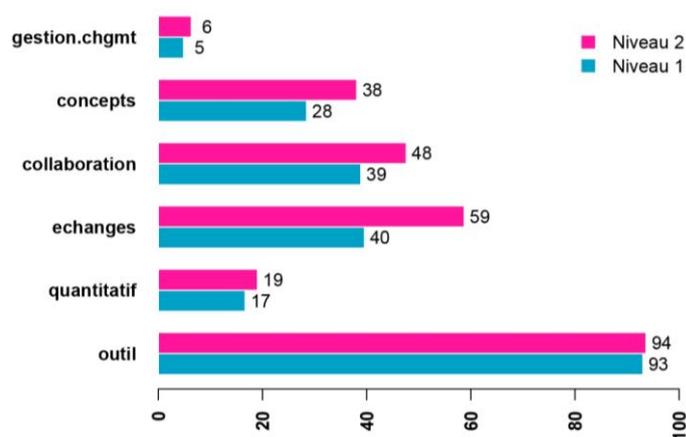


Figure 93. Objet des formations réalisées par les agences de niveau 1 et 2, pourcentage calculé sur celles qui ont réalisé une formation

La quasi-totalité des formations réalisées concerne la maîtrise d'un outil de modélisation BIM (*outil*). Les agences de niveau 2 ont réalisé plus de formations concernant les échanges de fichiers et la collaboration (*collaboration*) que les agences de niveau 1, ce qui est, en soi, assez cohérent. Peu d'agences se sont formées à l'exploitation avancée du niveau de maturité 1 comme la réalisation de métrés (*quantitatif*). Cela est cohérent avec une observation réalisée précédemment : les pratiques numériques caractéristiques du niveau 2 suscitent plus d'intérêt de la part des agences que celles du niveau 1 ¹⁶⁶.

Lors des entretiens, nous avons vu que les formations réalisées n'étaient pas toujours adaptées aux besoins des agences, et qu'elles étaient souvent trop courtes. Nous avons demandé aux répondants quelle était la durée des formations réalisées pour la transition de l'agence (voir **Figure 94**).

¹⁶⁶ Voir partie 7.3.2.2, « Avancement de la diffusion du BIM au sein des agences d'architecture françaises » p.212

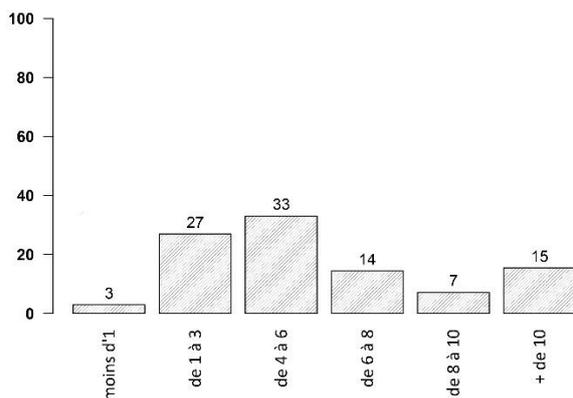


Figure 94. Nombre de journées de formation réalisées (en % sur total de réponses à la question)

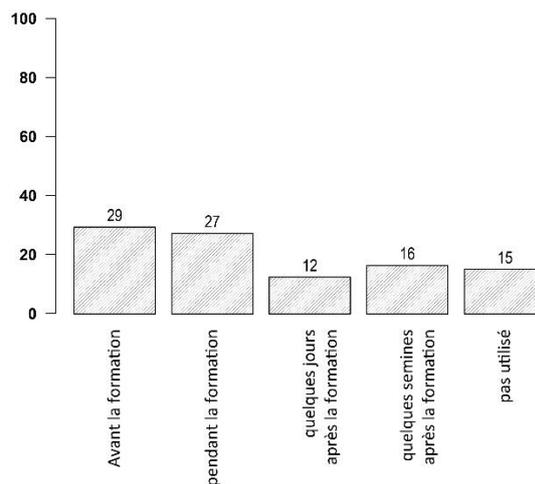


Figure 95. Période de première mise en pratique de la formation sur un projet de l'agence (en %, plusieurs réponses possibles)

60 % des agences réalisent entre une et six journées de formations pour le passage de l'agence au BIM (**Figure 94**). La plupart d'entre elles en réalisent de 4 à 6. **Dans deux tiers des cas, ces formations sont regroupées dans le temps sur une période très courte**¹⁶⁷. Les formations regroupées dans le temps sont pourtant difficiles à réaliser pour les agences, car elles monopolisent les forces de travail, et neutralisent la production de l'agence¹⁶⁸, comme nous avons pu le voir au cours des entretiens préliminaires.

Sur les formations réalisées, **la moitié sont uniques** (c'est-à-dire que la formation n'est réalisée qu'une seule fois), un quart concernent des éléments déjà vus en formation et le quart restant concerne une spécialisation ou des approfondissements de notions¹⁶⁹.

29 % des agences commencent à travailler sur des outils BIM avant d'avoir réalisé une formation (**Figure 95**). Et une proportion non négligeable d'entre elles (environ 30 %) ont un délai supérieur à plusieurs semaines entre le moment de la formation et le moment où elles utilisent pour la première fois les outils sur un projet. Pour les employés, cela rend d'autant plus difficile la transition, car mobiliser des connaissances sur un projet plusieurs mois après une formation n'est pas chose facile.

- ➔ Le contenu, la durée, et le format des formations actuellement réalisées ne correspondent pas toujours aux besoins des agences lorsqu'elles mettent en place des pratiques BIM.
- ➔ Le délai entre la formation et la première pratique semble souvent inadapté et peut être source d'erreurs ou de difficultés au cours de l'implémentation.

¹⁶⁷ Cette donnée n'est pas représentée ici mais correspond à une analyse complémentaire réalisée sur la base de questions posées dans la partie du questionnaire dédiée aux formations.

¹⁶⁸ Voir partie sur la recherche-action

¹⁶⁹ Résultats issus de l'analyse des réponses au questionnaire, non représenté graphiquement ici.

7.5.3 Le succès et l'échec de l'implémentation

Les répondants issus des agences qui ont implémenté des pratiques BIM ont été invités à répondre à quelques questions supplémentaires concernant le succès ou l'échec de l'implémentation¹⁷⁰.

7.5.3.1 Les facteurs d'implémentation

Les répondants ont été invités à indiquer ce qui, d'après eux, a pu avoir un impact positif (ou négatif)¹⁷¹ sur le succès de l'implémentation¹⁷². Les résultats sont présentés sur la figure ci-dessous (**Figure 96**). Une description de l'ensemble des variables utilisées ici est présentée en annexe (voir Tableau 64, « Liste des facteurs d'implémentation testés dans l'enquête », p.410).

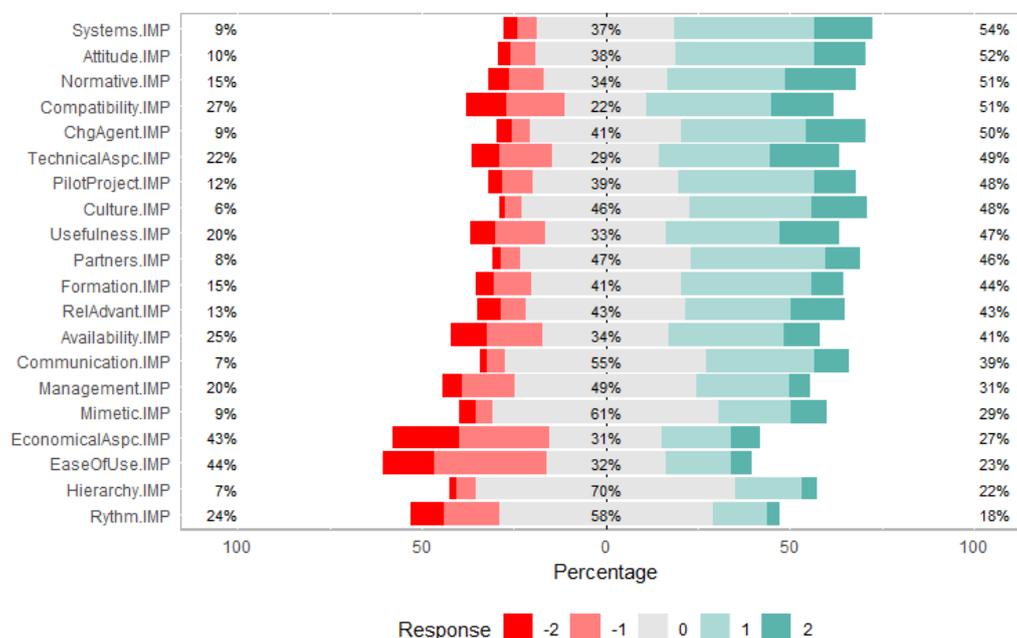


Figure 96. Impact de différents facteurs d'implémentation sur l'implémentation de pratiques BIM dans les agences

Les **facteurs moteurs** de l'implémentation mis en évidence dans l'enquête sont : les pratiques logicielles et collaboratives mises en œuvre dans l'agence (*Systems*) et l'attitude/implication des individus dans la transition (*Attitude*) (**Figure 96**). L'enquête a par ailleurs mis en évidence les deux **facteurs inhibiteurs** de l'implémentation. Il s'agit de la **difficulté de mise en œuvre des**

¹⁷⁰ Une ACM a été réalisée pour identifier un éventuel lien entre (1) la position d'une agence sur l'ESÉAA et les stratégies qu'elle met en œuvre ; et (2) entre les stratégies mises en œuvre pour l'implémentation et le succès de l'implémentation. Le faible nombre d'agences à considérer pour cette ACM (car peu d'agences ont mis en œuvre des pratiques BIM) n'a pas permis d'obtenir des résultats suffisamment fiables.

¹⁷¹ La question formulée était « indiquez le type d'impact qu'ont eu les facteurs suivants pendant l'intégration de pratiques BIM à l'agence », les modalités de réponses : -2 : très négatif ; -1 : négatif ; 0 : neutre ; 1 : positif ; 2 : très positif ; [Ø] : ne sait pas. Voir Question Q28, en Annexe 5 ; p.385

¹⁷² Voir liste des facteurs testés en annexe, Tableau 69 p.417.

pratiques BIM et leur résultante : **l'importante baisse de productivité** que connaît l'agence à ce moment. Ces observations rejoignent les conclusions des entretiens préliminaires.

7.5.3.2 Témoignages sur les difficultés rencontrées au cours de l'implémentation

Les répondants qui ont indiqué avoir essayé de mettre en place des pratiques BIM sans y parvenir ont eu accès à une question libre pour détailler ce qui, selon eux, a pu être la cause de cet « échec ».

La **complexité des outils et processus BIM** est très souvent évoquée comme un facteur de difficulté : *« le logiciel est très compliqué pour arriver à voir le résultat de métré désiré »* ; *« la charte BIM à respecter est très complexe »*, *« le paramétrage et l'exploitation du format IFC entre différents logiciels est complexe »*. Des **problèmes d'interopérabilité** sont également notés : *« il est difficile de conserver l'ensemble des informations du projet lors des exports IFC, il reste beaucoup à faire pour avoir une interopérabilité efficace entre logiciels ! »*. Mais les problèmes d'interopérabilité relevés concernent également les **protocoles de travail** : *« les divers protocoles et gabarits de travail ne sont pas encore suffisamment pertinents pour fiabiliser les tâches exécutées »*.

Comme nous l'avons vu au cours des entretiens, les formations **ne garantissent pas l'ancrage des pratiques dans la durée** au sein de l'agence : *« nos deux dessinateurs ont fait des formations BIM. À ce jour seul l'un des deux continue à l'utiliser »*. Un autre répondant indique : *« ce n'est pas que ça n'a pas fonctionné mais plutôt que ça n'a pas duré »*, *« nous sommes revenus en partie sur des plans AutoCAD et 3d SketchUp, nous sommes très déçus... »*.

Dans de nombreux cas, le **temps nécessaire à consacrer à l'implémentation** a été problématique. Parfois mal évalué, il a causé une **baisse de productivité que l'agence n'a pas pu absorber** : *« il a été difficile de faire face à la charge de travail avec un logiciel mal maîtrisé »*, *« cela n'a pas fonctionné, car ça nous a demandé beaucoup trop de temps à passer sur les opérations au regard des honoraires. Nous avons anticipé un peu le problème, mais n'avons pas les moyens financiers suffisants »*, *« nous n'avons pas le temps de produire et apprendre en même temps »*. En plus d'impacter la santé économique de l'entreprise, **l'implémentation est éprouvante moralement pour les collaborateurs** : *« la mise en place est très complexe, pour un rendu non satisfaisant et approximatif. Il a fallu y passer énormément de temps par rapport au résultat obtenu : cela a été très décourageant pour l'équipe »*.

De nombreuses agences ont indiqué que les outils et pratiques BIM n'étaient **pas adaptés à leur pratique**, pour des raisons variées. Le cas des **rénovations** et réhabilitations a été noté à plusieurs reprises : *« les logiciels ne sont pas du tout au point pour tout ce qui concerne la rénovation qui est une partie importante de notre travail. »*. Le **manque de flexibilité au cours des différentes phases de projet** est évoqué souvent également : *« nous avons travaillé sur un petit projet la maquette BIM, cela est intéressant en phase APS-APD, en esquisse cela est vraiment trop »*.

immature pour la pensée du projet ou le dessin 2D, le croquis et la maquette restent beaucoup plus efficaces. Enfin, pour le PRO-DCE, la rigidité des modes BIM oriente trop vers une standardisation et des procédés industriels de construction ». Un autre architecte confie que « l'utilisation de Revit sur les gros projets en conception et esquisse de démarrage est efficace, mais dès que l'on souhaite des plans précis et détaillés (PRO DCE), on utilise AutoCAD. », un autre complète « *ArchiCAD n'est pas adapté aux phases chantier et EXE* ». On note ici que les logiciels BIM architecture sont tous concernés par ces difficultés et que chaque répondant ne pose pas la limite de « *possibilité d'utilisation* » d'un outil BIM à la même phase du projet. Ceci est dû à la très grande diversité des pratiques surtout dans les premières phases de conception.

De nombreux répondants ont indiqué ne pas réussir à obtenir une qualité **graphique satisfaisante** avec les outils BIM : « *la qualité des coupes produites directement de la maquette n'était pas satisfaisante* ». Cette limitation peut d'ailleurs tout à fait être due à un manque de formation ou de pratique, comme l'ont montré les entretiens.

Les architectes ont évoqué de très nombreuses fois l'impossibilité de travailler en BIM avec leurs **partenaires de la MOE, qui ne sont pas prêts** : « *les bureaux d'études ne sont ni prêts ni volontaires.* », « *pour l'instant nous sommes trop en avance par rapport à nos BET* ». Ceci est par ailleurs source d'agacement pour bon nombre d'architectes : « *nous échangeons des fichiers pour inclure les mauvais élèves de l'équipe de MOE* », « *il y a un manque de sérieux des intervenants et pas de sanction du maître d'ouvrage* ». Ces témoignages vont dans le même sens que les données analysées concernant l'impact du contexte externe sur l'implémentation.

On note également que le glissement progressif vers une conception plus intégrée pose des **problèmes de collaboration et processus de travail** : « *les BET intervenaient à tout bout de champ sur de multiples détails techniques sans mesurer l'impact sur la colonne vertébrale du projet* ».

Le **manque de clarté des exigences des MOA et leur manque de formation** est relevé très souvent par les architectes : « *le maître d'ouvrage souhaite du BIM à la fin du chantier sans avoir fourni un cahier des charges précis* ». La rémunération des prestations BIM est un sujet important pour les architectes : « *il faudrait sensibiliser les MOA sur ces nouvelles méthodes de travail, afin qu'il puisse comprendre que le temps passé en conception (qui est plus long) est bénéfique sur le temps passé en développement de projet (qui sera moins long)* », « *quand le travail en BIM est demandé ils ne veulent pas payer plus qu'une mission de base loi MOP alors que les BET chiffrent une mission complémentaire BIM...* ». Le fait que les missions BIM n'aient pas été clarifiées est par ailleurs source de tensions entre les acteurs de la MOE : « *nous échangeons des fichiers pour inclure les mauvais élèves de l'équipe de MOE* ».

Plusieurs agences qui ont essayé de mettre en place des pratiques BIM ont **été déçues et n'ont pas vu l'intérêt** pour elles de cette opération très coûteuse et difficile : *« la qualité des maquettes BET ne nous a rien apporté », « ce n'est pas ou très peu adapté aux projets, cela nécessite de réapprendre complètement une façon de travailler avec encore de nouveaux logiciels hors de prix, un rendu plutôt moche, la nécessité de pièces classiques 2D pour communiquer avec les entreprises et les maîtres d'ouvrage... pour finalement assez peu d'intérêt pour les lots architecturaux. »*

- Les difficultés les plus critiques évoquées ici concernent la mise en place de logiciels BIM. La **complexité des outils et processus BIM et les problèmes d'interopérabilité** rencontrés par les architectes entraînent une **importante perte de productivité** au cours de l'implémentation. Cela peut empêcher **l'ancrage des pratiques BIM dans la durée** et pousse parfois les agences à abandonner leur projet d'implémentation.
- Les architectes mettent également beaucoup en avant le coût des outils qui est pour eux assez rédhibitoire.
- La mise en place de pratiques de niveau 2 (échanges avec des partenaires) est limitée par le **manque de formation et volonté des partenaires de la maîtrise d'œuvre** et le **manque de clarté des exigences des maîtres d'ouvrage**.
- Enfin, bien que minoritaires, certains architectes ont été **déçus de l'implémentation et n'ont pas vu l'intérêt de ces nouvelles pratiques** pour les lots architecturaux.

7.6 Conclusion de l'enquête

Nous présentons ici une conclusion générale de l'enquête qui s'appuie sur les résultats des entretiens et du questionnaire.

7.6.1 Les architectes ont une vision positive du BIM mais peinent à le mettre en œuvre

Le BIM bénéficie dans l'ensemble d'une image assez positive auprès des architectes qui le jugent utile et compatible avec leur pratique même s'ils sont très nombreux à indiquer que les pratiques BIM coûteuses et difficiles à mettre en œuvre. Environ un quart à un tiers des architectes en ont une vision très négative et n'envisagent pas du tout de les mettre en œuvre. La plupart du temps, ils décident alors de ne plus répondre aux marchés qui nécessitent des compétences BIM ou limitent le recours de ces pratiques à une petite partie de l'agence afin que le reste de l'agence ne soit pas impactée. L'accès à la commande est donc affecté par la généralisation des exigences BIM. Cela peut entraîner une redistribution des missions et une spécialisation de certaines agences à moyen terme.

Les pratiques BIM aujourd'hui plébiscitées concernent l'utilisation et le partage de maquettes numériques riches en informations au sein de la maîtrise d'œuvre et avec la maîtrise d'ouvrage : il s'agit du niveau 2. La préoccupation de la plupart des architectes favorables au BIM concerne donc aujourd'hui l'intégration de logiciels BIM au sein de leur agence. Mais les pratiques de niveau 1 suscite peu leur intérêt et sont souvent perçues uniquement comme un tremplin vers le niveau 2 pour continuer à accéder à la commande (privée ou publique). Les architectes cristallisent souvent la transition BIM sur le niveau 1 et donc sur le changement d'outil de production. Cela peut être lié à la culture professionnelle des architectes : les outils de production (en particulier de dessin) occupent une place particulière dans le métier. Les architectes les associent souvent à leur identité architecturale, car ils sont à la fois un outil de **conception** et permettent de produire les **représentations** du projet.

La majorité des agences d'architecture travaillent principalement avec des outils de dessin 2D, et ponctuellement en 3D. Seul un tiers travaille avec des outils BIM et met en œuvre des pratiques de niveau 1. L'utilisation d'un logiciel BIM pour l'architecture est souvent jugée inaccessible pour les petites structures or nous avons montré qu'elle est indépendante de la taille de l'agence. De manière générale, le niveau 1 est présent de façon homogène dans la population d'agences, indépendamment de leurs caractéristiques internes comme la taille des projets qu'elles réalisent ou la taille et le type de projets qu'elles réalisent.

Les agences qui mettent en œuvre aujourd'hui des pratiques BIM de niveau 2 réalisent souvent des projets de taille plus importante que les autres. Cela est probablement dû aux exigences BIM

des maîtres d'ouvrages qui se sont concentrées sur ce type de projet. Mais au-delà de 6 personnes, en moyenne une agence sur 6 a recours à des pratiques BIM de niveau 2, quelle que soit la tranche de taille d'agence à laquelle elle appartient. Celles qui mettent en place ces pratiques sont également plus stables que les autres, car elles présentent un faible renouvellement de personnel. Il semble que la stabilité d'une organisation (faible turnover) facilite l'ancrage de pratiques dans la durée et donc la mise en œuvre de pratiques BIM.

7.6.2 Les facteurs d'influence sont multiples et interconnectés

Le **contexte externe** d'une agence joue un rôle important dans la manière dont son **dirigeant** perçoit le BIM. Alors que les **agences voisines** et les **exigences BIM grandissantes des maîtres d'ouvrages** incitent les agences à se positionner et à mettre en œuvre des pratiques BIM, l'inertie des partenaires de la maîtrise d'œuvre les freine au cours de **l'implémentation** (voir **Figure 97**).

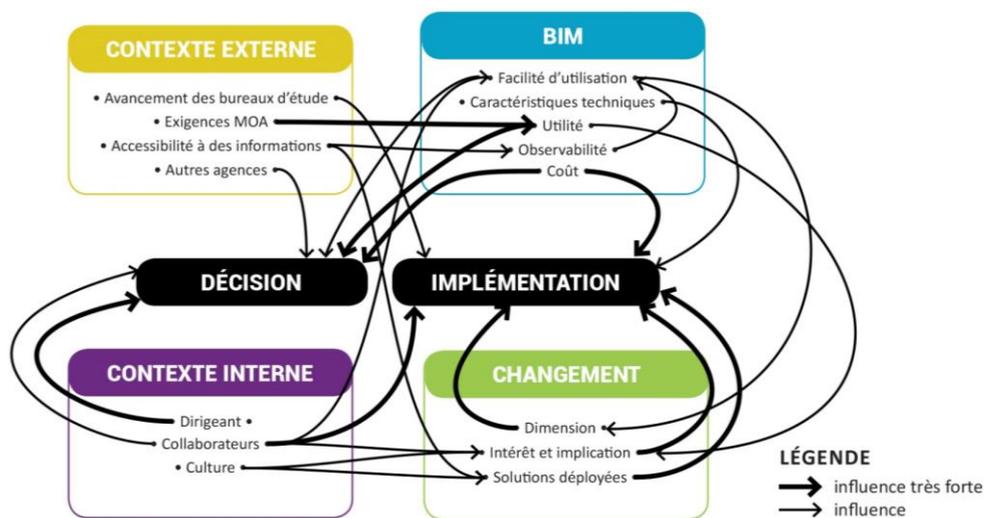


Figure 97. Synthèse des principaux facteurs qui influencent le plus la décision d'adoption et le succès de l'implémentation

Dans une agence sur 5, l'implémentation a été déclenchée par une opportunité fortuite sur un projet; dans un autre cinquième, c'est une initiative spontanée d'un **collaborateur** qui a déclenché la transition de l'agence. Tantôt initiateurs et tantôt réticents, les **collaborateurs et leur implication** sont la clé de voûte de la transition des agences, autant pour la décision d'adoption qu'au cours de l'implémentation. C'est vrai en particulier pour les jeunes architectes : ils importent avec eux des pratiques nouvelles dans les agences qui peinent à réaliser des formations professionnelles et enclenchent un processus d'apprentissage organisationnel. Ils sont également prisés sur le marché de l'emploi lorsqu'ils ont intégré la composante BIM à leur CV. Ils sont donc un vecteur d'innovation dans les agences, mais avec les stratégies d'évitement du BIM mises en œuvre par certaines architectes, ils constituent également un vecteur d'accélération du passage de génération des architectes.

Enfin, l'implémentation est particulièrement impactée par les **solutions déployées** au cours de son déroulement. Elles-mêmes dépendent des informations qui sont disponibles aux agences lorsqu'elles mettent en œuvre des pratiques BIM. Si elles trouvent facilement des informations sur la mise en place d'échanges de fichiers IFC, elles ont en revanche peu de guides qui leur indiquent comment implémenter le niveau de maturité 1. Les **caractéristiques techniques** du BIM et sa **complexité** ont un impact sur les dimensions du changement (et notamment son rythme), car le temps d'appropriation est élevé, impactant ainsi également le succès de l'implémentation.

Notons cependant une limite importante de notre enquête : les éléments que nous évoquons ici sont valables pour la période concernée par l'enquête (année 2019). Certains chercheurs comme Ahmed (2019) ont positionné les facteurs sur différentes périodes (pré-2011, 2011-2016, post-2016). Ils observent un glissement des facteurs de décision : alors que c'est l'intérêt pour la technologie qui motivait les agences avant 2011, les facteurs observés pour la période post-2016 sont concentrés sur les pressions externes en Grande-Bretagne (Ahmed (2019)). Ce basculement marque le passage du « chasm », c'est-à-dire le passage des premiers adoptants à la première majorité : lorsque la technologie commence à se diffuser massivement ¹⁷³ (Rogers 2003; Moore 2001; Waarts, van Everdingen, van Hillegersberg 2002). Les résultats de notre enquête suggèrent que ce basculement ait été amorcé pendant notre enquête : seules les grandes agences subissent des fortes pressions externes.

7.6.3 Une implémentation souvent éprouvante

L'enquête par questionnaire a confirmé que l'implémentation était une phase particulièrement délicate qui détériore souvent ponctuellement la santé économique de l'agence, et est éprouvante moralement pour les collaborateurs.

Lorsqu'une agence implémente des pratiques BIM, elle réalise généralement une formation. Mais le contenu, la durée, le format et la planification de celle-ci ne correspondent pas toujours à ses besoins et peuvent conduire à l'échec de l'implémentation. La complexité des outils couplée à une formation généralement inadaptée entraîne une importante baisse de productivité que les agences peinent à absorber, en particulier pour l'implémentation du niveau 1. Le manque d'anticipation et de planification de la transition amène l'agence à saturation rapidement après la tentative d'implémentation : la tentation de retrouver les précédentes pratiques pour faire face au volume de travail et retrouver ponctuellement leur productivité est forte et souvent nécessaire. Cela marque souvent l'échec de l'implémentation, car le retour sur les outils et méthodes délaissés

¹⁷³ Voir partie 3.1, « Les innovations et leur propagation dans un système social », p.77

« provisoirement » est difficile après cela : la formation est loin derrière (et déjà en partie oubliée) et la première expérience malheureuse a ébranlé la motivation des équipes.

7.6.4 L'intérêt d'une méthode pour mettre en œuvre des pratiques BIM confirmé

Les agences d'architecture qui ont mis en place des pratiques BIM sont rares. Environ un quart d'entre elles ne mettront probablement pas en œuvre ces pratiques prochainement mais la plupart des agences y sont favorables.

Pour elles, la plus grande difficulté à surmonter est généralement le déploiement d'un nouvel outil de travail : un logiciel BIM pour l'architecture. Ce déploiement est particulièrement éprouvant pour l'entreprise et ses membres, qui ne savent pas toujours comment l'organiser. **L'enquête a confirmé l'intérêt de proposer une méthode générale pour faciliter la mise en œuvre de pratiques BIM au sein des agences qui souhaitent le faire.**

Notons également que les facteurs d'influence que nous avons étudiés :!!mmmmm ont été observés en 2019. Notre enquête permet de « photographier » l'état d'avancement de l'adoption du BIM à un moment donné, elle n'a en revanche pas intégré la dimension temporelle qui, on le sait, impacte fortement ces facteurs. Si les premières entreprises qui adoptent une innovation ont un profil plutôt innovateur ou *early adopter* et sont prêtes à prendre des risques, les populations qui font partie de la première majorité (*early majority*, (Rogers 2003)) sont en revanche animées par d'autres motivations et pressions : plus pragmatiques, elles sont sensibles aux pressions du marché. Concernant le BIM de niveau 1 comme le BIM de niveau 2, et étant donné les facteurs d'influence observés, on peut dire que les agences qui adoptent aujourd'hui des pratiques BIM se trouvent aujourd'hui plutôt dans la première majorité. En 2019, on assistait donc au basculement de la catégorie des *early adopters* vers celle de la première majorité. En effet, l'enquête a montré que les agences qui subissent les pressions les plus fortes ne sont pas encore celles qui ont le plus implémenté des pratiques BIM, notamment à cause de leur inertie organisationnelle. Mais ces agences, moins téméraires que les autres, peuvent bénéficier de l'expérience apportée par l'observation des agences qui ont déjà expérimenté l'implémentation du BIM, que l'on sait difficile. **Une méthode d'aide à l'implémentation peut donc s'appuyer sur ces expériences.**

Partie 4.

Proposition n°2 :

Une feuille de route pour l'implémentation du BIM

L'enquête réalisée auprès des architectes a montré les difficultés que rencontrent les agences pour implémenter des pratiques BIM et a souligné l'intérêt de proposer des recommandations pour accompagner les agences dans l'implémentation de pratiques BIM. Nous avons suivi quatre agences d'architecture au cours de l'implémentation de pratiques BIM. Ces périodes de suivi ont été l'occasion de mieux comprendre les problématiques techniques et organisationnelles auxquelles les agences peuvent être confrontées au cours de l'implémentation et les raisons du succès ou de l'échec de ce déploiement. L'ensemble des connaissances constituées au cours de notre recherche ont été utilisées pour proposer des recommandations à destination des agences de tous types pour les accompagner dans l'implémentation de pratiques BIM. Ces dernières ont été organisées sous la forme d'une feuille de route, elle-même proposée sous forme interactive.

Expérimentation avec quatre agences d'architecture au cours de l'implémentation de pratiques BIM

Dans les chapitres précédents, nous avons proposé des modèles pour l'étude de l'adoption du BIM (chapitres 4 et 5), nous avons réalisé une enquête pour étudier les facteurs qui influencent le plus la décision d'implémenter des pratiques BIM et le succès de l'implémentation (chapitres 6 et 7). Les connaissances acquises nous permettent de **formaliser et tester** une proposition pour guider les agences dans l'implémentation de pratiques BIM.

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats d'une recherche-action menée avec quatre agences d'architecture très différentes que nous avons suivies au cours leur implémentation de pratiques BIM sur la période 2015-2018. Nous proposons d'abord un cadre d'accompagnement en nous appuyant sur les résultats de nos précédents travaux (enquête et état de l'art), et sur des méthodes de gestion de projet appliquées ici à la gestion d'un projet d'implémentation. Nous avons utilisé ce cadre pour suivre les agences et pour analyser les résultats de nos observations au cours de ces expérimentations.

8.1 Construire un cadre pour accompagner l'implémentation du BIM

Dans cette partie, nous nous appuyons sur des méthodes de gestion de projet et de gestion du changement ainsi que sur une comparaison de méthodes d'implémentation du BIM pour proposer un cadre permettant d'accompagner l'implémentation du BIM. Ce cadre prend la forme d'une feuille de route.

8.1.1 La gestion de projet appliquée au projet d'implémentation

Pour **développer des lignes directrices pour le projet d'implémentation du BIM**, nous nous appuyons ici sur deux documents de référence relatifs à la gestion de projet : la norme **ISO 21502** (ISO21502 2020) et le **PMBOK : Project Management Body Of Knowledge**¹⁷⁴ (Snyder 2013), un des principaux ouvrages de référence en gestion de projet. Ils fournissent des recommandations et lignes directrices pour mener à bien un projet, quels que soient sa nature et ses objectifs.

8.1.1.1 Implémenter des pratiques BIM est un projet

Les architectes sont habitués à gérer des **projets**, en particulier lorsqu'il s'agit de projets construction ou de projets architecturaux. Mais lorsque l'on s'extrait du domaine de la construction, un projet désigne, de façon générale, un « effort temporaire pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis » (ISO21502 2020). C'est une « initiative temporaire entreprise dans le but de créer un produit, un service, ou un résultat unique » (Snyder 2013). La gestion de projet ou management de projet correspond à l'ensemble des « activités coordonnées visant à piloter et maîtriser l'atteinte d'objectifs convenus » (ISO21502 2020).

L'implémentation du BIM est donc un projet qui concerne un changement organisationnel. Les méthodes de gestion de projet sont pertinentes pour développer une feuille de route pour l'implémentation du BIM.

Tout projet a un **début** et une **fin** : mais la notion de fin n'est pas évidente lorsqu'il est question de changement. **Le projet d'implémentation commence lorsque le dirigeant décide de lancer son organisation dans la phase d'implémentation.** Le changement opéré dans un premier temps (au cours de l'implémentation) peut être relativement radical et laisse place à une phase de changement continu. **Le projet d'implémentation prend fin lorsque les objectifs d'implémentation sont atteints** et qu'on estime que l'agence est laissée dans une situation suffisamment stable pour être engagée dans ce processus d'amélioration continue des pratiques.

¹⁷⁴ Guide du corpus de connaissances en Management de Projet

8.1.1.2 Le cycle de vie du projet

Le PMBOK décrit le cycle de vie d'un projet en **quatre grandes phases**, précédées d'un « travail antérieur ». Dans le cas de l'implémentation du BIM, cette phase correspond à la validation (sur le processus d'adoption) qui aboutit à la décision et au début de l'implémentation.

Ci-dessous, les phases du cycle de vie des projets présentées dans le PMBOK (voir **Figure 98**) :

- **0 - Travail antérieur**
 - Définition des objectifs et justifications du projet, analyse de la situation, évaluation de la faisabilité
- **1 - Initialisation**
 - Définition du projet et identification des parties prenantes
- **2 - Organisation et préparation**
 - Planification du projet
- **3 - Exécution**
 - Direction et gestion du travail, gestion des connaissances du projet, allocation des ressources, application des réponses aux risques
- **4 - Finalisation**
 - Évaluation du projet au vu des objectifs définis, clôture du projet.



Figure 98. Représentation du cycle de vie du projet dans le PMBOK, d'après (PMI 2017)

Le PMBOK décrit également une division des phases en étapes : le développement du concept, l'étude de faisabilité, les exigences, le développement de solutions, la conception, le prototypage, la construction, les tests, la transition, la mise en service, la revue des jalons, et enfin les retours d'expérience.

On y retrouve également une forme de « checklist » d'éléments à prendre en compte pour la gestion d'un projet. Celle-ci intègre **l'identification du périmètre et les objectifs du projet, l'identification des personnes en charge, la planification du projet, la gestion et l'anticipation des coûts, la gestion de la qualité, la gestion des ressources, la gestion des communications, la gestion des connaissances du projet et la gestion des risques.**

8.1.1.3 Conduite du changement

Dans la littérature sur la gestion et conduite du changement, les approches pragmatiques nous offrent des outils et stratégies¹⁷⁵ sur lesquels nous pourrions nous appuyer pour proposer une feuille de route. Nous allons notamment nous appuyer sur les travaux de (Kotter 1995) qui

¹⁷⁵ Voir partie 3.3.2, « Conduire le changement : leviers, risques, et conséquences », p.94

propose « une feuille de route en huit étapes », organisées en quatre phases (préparer le changement, engager le changement, réaliser le changement, ancrer le changement)¹⁷⁶. Son ouvrage (Kotter 2015) est d'ailleurs rédigé à destination des professionnels, et peut tout à fait servir de support à la conduite du changement pour un dirigeant d'agence.

La feuille de route proposée par Kotter concorde parfaitement avec les étapes proposées dans le PMBOK pour la gestion de projet : le PMBOK adresse la gestion de projet en général, tandis que la feuille de route de Kotter est orientée sur un projet de changement.

8.1.2 Méthodes et représentations de l'implémentation de pratiques BIM

Nous avons rassemblé plusieurs méthodes qui ont vocation à accompagner les acteurs du secteur de la construction dans la transition vers des pratiques BIM. Nous en proposons ici une analyse comparative et critique.

Elles sont toutes proposées dans le cadre de recherches universitaires sur l'adoption et l'implémentation du BIM. La plupart de ces études font appel à la recherche-action¹⁷⁷. Ces études ont été difficiles à collecter à cause de l'hétérogénéité du vocabulaire utilisé dans la littérature pour parler de l'implémentation du BIM¹⁷⁸. Une étude de littérature systématique (SLR – Systematic Literature Review) est difficile dans ce cas.

Les méthodes qui constituent notre corpus¹⁷⁹ ont donc été sélectionnées tout au long de notre recherche et abordent toutes l'implémentation sous l'angle du changement organisationnel (échelle micro). Nous les avons comparées sur (1) **les aspects du changement qu'elles adressent** et (2) **les différents angles et concepts qu'elles développent**.

8.1.2.1 La notion de changement dans les études sélectionnées

Nous avons comparé les différentes études du corpus sur les différentes composantes du changement que nous avons identifiées précédemment¹⁸⁰ :

- **La dimension du changement**
 - Étendue, profondeur, rythme
- **L'implication des individus**
 - Motivation, attitude envers le changement, besoins identifiés
- **Les solutions déployées**

¹⁷⁶ *Ibid.*

¹⁷⁷ Les chercheurs ont testé des pratiques d'implémentation au sein d'agences d'architecture pour évaluer les résultats de ces stratégies et pratiques testées.

¹⁷⁸ Voir Annexe 17, Tableau 71, p.425

¹⁷⁹ Voir Annexe 17, Tableau 70, p.425

¹⁸⁰ Voir Tableau 12, partie 5.4.2.2 « Taxonomie de facteurs d'adoption du BIM à l'échelle MICRO », p.166.

- Gestion et agent du changement, projet pilote, formation, communication, mesure d'indicateurs de performance, gestion du risque, etc.

Le résultat de cette comparaison est présenté sur la figure ci-dessous (**Figure 99**) : il s'agit d'un tableau de recouplement entre les différentes études du corpus (lignes) et ces aspects du changement (colonnes).

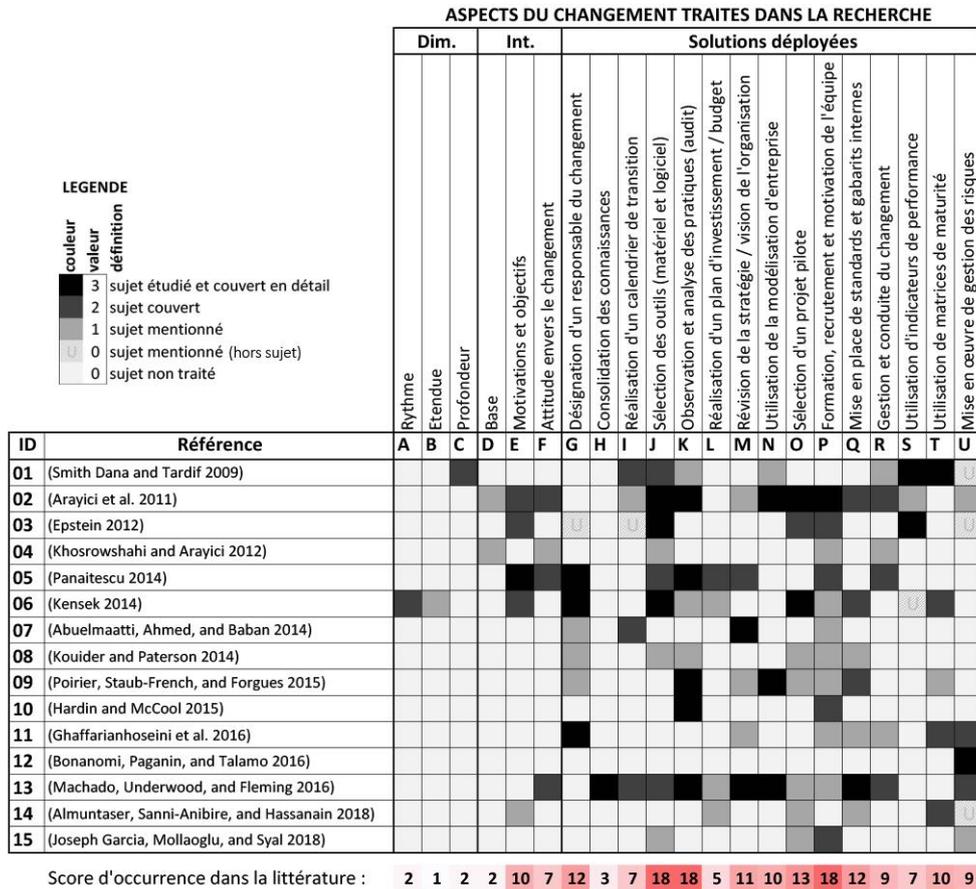


Figure 99. Croisement entre le corpus étudié (lignes) et les aspects du changement identifiés (colonnes).

Note de lecture : plus un aspect est discuté en détail dans une étude, plus la case associée sera foncée (voir légende). Le score d'occurrence est calculé en additionnant le score de toutes les cellules de la colonne associée (voir légende pour associer une valeur à chaque couleur). Plus le score d'occurrence est élevé, plus l'aspect du changement associé (en colonne) est discuté dans le corpus (en rouge sur la figure).

Aucun des aspects du changement (colonnes) n'est couvert systématiquement et aucune étude (lignes) ne couvre tous les aspects du changement étudiés (aucune ligne ou colonne n'est entièrement noire sur la **Figure 99**). Cela est peut-être dû au faible nombre d'entreprises concernées par chaque étude : les solutions déployées sont sélectionnées en fonction de l'organisation concernée et de sa situation. Ainsi, un faible nombre de cas d'étude ou une faible diversité dans les organisations étudiées focalise chaque étude sur quelques stratégies seulement. Ce résultat suggère qu'il est **nécessaire de mener une étude sur plusieurs agences très différentes et de recouper différents résultats pour proposer une feuille de route générale applicable à plusieurs situations.**

La lecture du tableau en colonnes révèle les aspects du changement qui sont le plus souvent couverts dans la littérature. D'après les scores d'occurrence calculés, les aspects d'audit (K), de formation (P) et la sélection des outils adaptés (J) sont souvent évoqués. Au contraire, les dimensions du changement (A : rythme, B : étendue, C : Profondeur) ainsi que le déclenchement du changement (D), et la manière dont l'organisation consolide ses connaissances (H) sont très rarement discutés. **De manière générale, les solutions déployées pour l'implémentation sont bien plus souvent évoquées que les dimensions du changement ou l'implication des individus.** Ces deux catégories sont plus abstraites mais leur absence de ce corpus peut être un indicateur du manque de fondements théoriques ou de compréhension générale du phénomène de changement.

On note également que certains sujets sont parfois traités en hors sujet : la gestion du risque par exemple est souvent considérée par rapport aux **projets BIM** et non par rapport aux **projets d'implémentation**. Pourtant, une démarche de gestion des risques peut tout à fait être menée pour le projet d'implémentation (Bonanomi, Paganin, Talamo 2016) : il s'agit de limiter les risques de l'échec de l'implémentation et de limiter l'impact négatif de l'implémentation sur l'organisation.

Enfin, cette table peut également être exploitée pour retrouver des informations concernant un aspect particulier du changement. Par exemple, pour avoir des informations sur la manière de conduire un audit, on pourra se trouver vers les références associées.

- Une étude en observation et/ou recherche-action est nécessaire sur plusieurs agences afin de proposer une feuille de route générale applicable à plusieurs situations
- Les études actuellement menées s'appuient très peu sur la compréhension du processus de changement organisationnel.

8.1.2.2 Différentes représentations de l'implémentation

Le corpus sélectionné aborde l'implémentation sous différents **angles** et en utilisant différents **concepts**. Souvent représentée comme un **processus**, elle est parfois étudiée du point de vue de la **progression de la performance** de l'organisation ou par les **interactions** qu'elle induit entre différents niveaux de contextes.

Nous présentons ici une analyse transversale de différentes **méthodes** et **représentations** de l'implémentation du BIM : nous les analysons et les interprétons au regard du socle de connaissance que nous avons pu constituer au cours de l'état de l'art et de notre enquête.

L'implémentation est le plus souvent présentée sous forme de **processus** composé d'étapes avec des données de sortie pour chacune d'entre elles (voir **Figure 100**, **Figure 101** et **Figure 102**).

La figure ci-dessous (**Figure 100**) présente des phases de l'exécution du plan de transition d'après (Arayici et al. 2011a; 2011b) avec des livrables pour chacune d'elles (en orange). Le processus itératif adopté pour la recherche (flèches bleues)¹⁸¹ apparaît également. Pour chacune des étapes, les chercheurs ont réalisé une phase de diagnostic (a, **Figure 100**) de planification (b), d'action (c), et d'évaluation (d). Les livrables proposés à chaque étape (flèches orange) sont très proches de ceux qui étaient décrits dans la démarche de gestion de projet du PMBOK sans que les auteurs s'y soient référés.

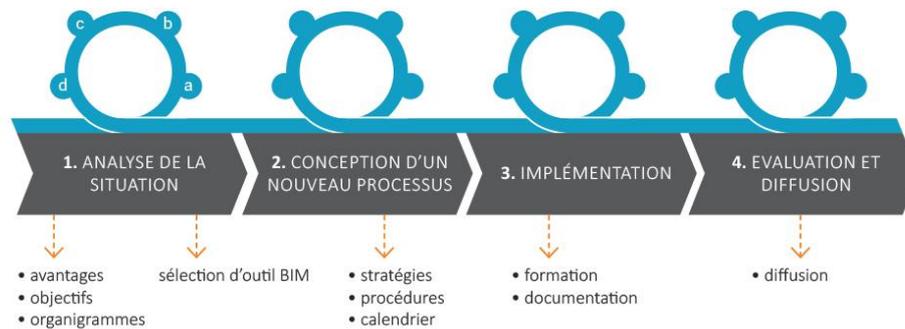


Figure 100. Processus d'implémentation adapté de (Arayici et al. 2011a; 2011b)

La figure ci-dessous (**Figure 101**) présente un processus d'implémentation pour lequel les auteurs se sont appuyés sur les méthodes de gestion de projet évoquées précédemment (PMBOK et ISO 21500) (Almuntaser, Sanni-Anibire, Hassanain 2018). Ainsi, ils intègrent une phase d'initialisation du projet et une phase de clôture. Les auteurs ont cependant très peu développé chacune des étapes du processus.

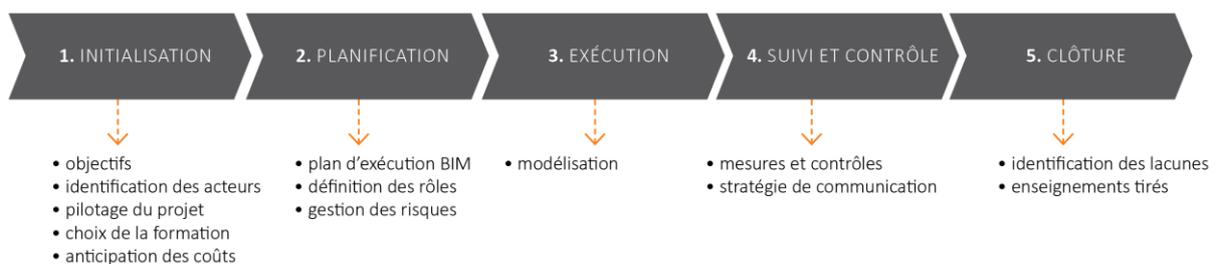


Figure 101. Processus d'implémentation adapté de (Almuntaser, Sanni-Anibire, Hassanain 2018)

La méthode d'implémentation proposée par Machado et al. (2016) (**Figure 102**) est l'une des plus complètes que nous ayons rencontrée. Elle intègre à la fois l'étude des pratiques, la planification, le pilotage avec une gestion des risques et une clôture du projet d'implémentation. Ce modèle est également celui qui se rapproche le plus du processus d'adoption tel que défini par Rogers, car il commence avec l'acquisition de connaissances générales sur le BIM et termine par une diffusion

¹⁸¹ diagnostic (a), planification de l'action (b), réalisation de l'action (c), évaluation de l'action (d).

intraentreprise. Pourtant, les auteurs ne s'appuient pas sur les théories de diffusion et adoption des innovations.



Figure 102. Processus d'implémentation adapté de (Machado, Underwood, Fleming 2016)

De manière générale et bien qu'elle soit assez peu traitée dans sa dimension organisationnelle, l'implémentation de pratiques BIM est généralement décrite sous forme de **processus** (voir **Figure 100, Figure 101 et Figure 102**)¹⁸². Ces derniers représentent des phases dans l'ensemble assez similaires : ils comptent généralement un **diagnostic, une planification, l'exécution de l'implémentation et l'ancrage**. La phase de diagnostic en amont du projet d'implémentation correspond bien aux préconisations des méthodes de gestion de projet et aux bonnes pratiques en gestion du changement : « le diagnostic est la base d'un effort de changement » (Tichy 1983). Les méthodes et processus d'implémentation proposés s'appuient cependant rarement sur les théories de diffusion des innovations. Elles s'appuient partiellement sur la gestion du changement et sur la gestion de projet. On observe donc dans ces travaux des similitudes avec les littératures de gestion du changement, d'adoption de l'innovation, de gestion de projet et d'appropriation de l'innovation sans pour autant que les études se soient appuyées sur ces domaines.

L'implémentation est parfois étudiée sous l'angle de **l'évolution de la productivité de l'organisation au cours du temps (Figure 103)**.

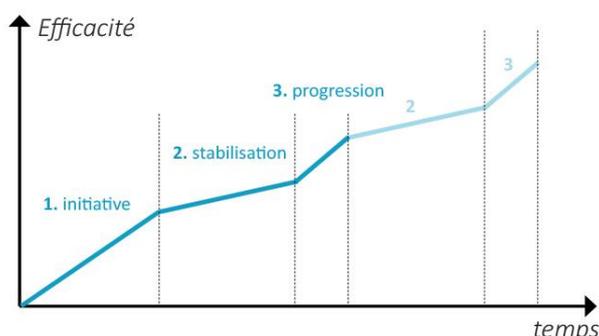


Figure 103. Évolution de la productivité de l'agence au cours de l'implémentation d'après (Joseph Garcia, Mollaoglu, Syal 2018).

¹⁸² Les représentations présentées ici sont une interprétation graphique des propos des auteurs afin de pouvoir les comparer plus facilement.

La vision de l'implémentation et des changements au cours de la vie d'une organisation développée par Joseph Garcia et al. (2018) (**Figure 103**) exprime l'alternance entre des phases de progression et de stabilisation de l'efficacité. Ces concepts recourent ceux de **changement radical** et **changement continu** mais ils sont ici représentés à l'échelle de la vie de l'organisation et pas seulement de l'implémentation du BIM. On note que la forme de courbe proposée ne correspond pas à nos observations, car la perte de productivité que les entreprises rencontrent au cours de l'implémentation n'est ici pas visible. Ce modèle reste néanmoins proche de celui proposé par (Succar, Kassem 2015)¹⁸³ pour décrire les différents points d'adoption (PoA). Chez ces derniers, chaque phase d'initiative (1 sur **Figure 103**) correspond au passage de l'organisation à un niveau de maturité BIM supérieur.

Un autre angle consiste à représenter l'implémentation et le processus d'amélioration continue du point de vue des **interactions entre les différents contextes (Figure 103)**.

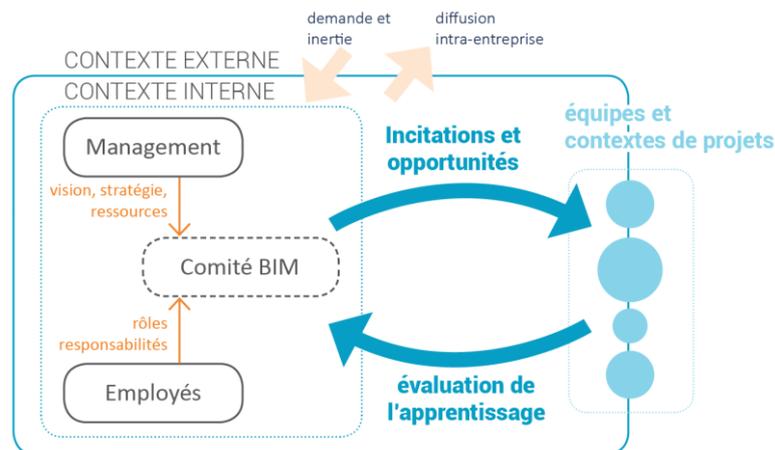


Figure 104. Contextes imbriqués au cours de l'implémentation de pratiques BIM. Réinterprétation du schéma proposé par (Poirier, Staub-French, Forgues 2015a), du point de vue interne à l'organisation.

Les auteurs (Poirier, Staub-French, Forgues 2015a) représentent des interactions qui ont lieu pendant l'implémentation au **sein de l'organisation** (échelle micro) mais **aussi entre l'échelle micro et l'échelle meso** (les équipes de projet) (Poirier 2015). Tout au long de **l'implémentation** (sur un projet pilote par exemple) et **au cours du processus d'amélioration continue**, les équipes et contextes de projets auxquels sont confrontées les organisations leur permettent d'améliorer leurs processus. Les projets permettent à l'organisation de se développer, à condition qu'elle soit en mesure d'extraire des bonnes pratiques de ces expériences. **L'apprentissage par la pratique** correspond à la notion d'**apprentissage opérationnel** développé par (Kim 1998). Ce dernier concerne seulement quelques personnes de l'agence et doit

¹⁸³ Voir partie 4.2.3, **Figure 25**, « Modèle du point d'adoption et des niveaux de maturité BIM. Source : (Succar, Kassem 2015) », p.118

pouvoir se transformer en **apprentissage organisationnel**, partagé sur sein de l'organisation et applicable dans d'autres situations.

Tout au long de leur vie, les entreprises alternent les phases de périodes convergentes (activités de changement incrémental) et des périodes de changements plus radicaux (Miller 1982; Tushman, Romanelli 1985). La présence des deux modes est ici remarquable sans pour autant qu'ils aient été explicités par les auteurs.

- Les **approches prescriptives** (qui sont destinées à fournir des lignes directrices pour accompagner les acteurs dans leur transition) représentent souvent l'implémentation sous forme de **processus**.
- Les **approches descriptives** représentent parfois l'implémentation sous forme de **courbe d'évolution de la productivité** de l'organisation au cours du temps, et sous forme d'**interactions** entre différents contextes.
- Les approches prescriptives sont généralement construites sur quatre phases : le **diagnostic**, la **planification de la transition**, l'**exécution** et l'**ancrage**.

8.1.3 Synthèse : une feuille de route pour implémenter des pratiques BIM

Nous nous appuyons sur les observations réalisées au cours des entretiens, de l'enquête par questionnaire, de la littérature sur la gestion du changement, de l'analyse des méthodes de gestion de projet ainsi que de la comparaison des méthodes d'implémentation du BIM pour proposer une feuille de route générale pour l'implémentation du BIM (niveaux 1 et/ou 2). Il s'agit de la feuille de route que nous expérimenterons au sein d'agences d'architecture pour en proposer une version spécifique à leur contexte.

8.1.3.1 Trame générale

La feuille de route que nous proposons est constituée de quatre étapes : le diagnostic, la planification, l'exécution et l'ancrage. Les lignes directrices proposées considèrent un processus d'implémentation en quatre étapes : le **diagnostic**, la **planification**, l'**exécution** et l'**ancrage** de l'**implémentation** (Figure 105).



Figure 105. Les quatre étapes de la feuille de route positionnées sur les phases du processus d'adoption

8.1.3.2 *Diagnostic*

En amont du diagnostic et lors de la phase de validation, le dirigeant aura formulé les **objectifs** liés à l'implémentation. L'étape de diagnostic consiste à **observer** et **analyser** les **pratiques** au sein de l'organisation en vue de proposer un **plan d'implémentation personnalisé** (cette pratique est particulièrement nécessaire lorsqu'une personne extérieure comme un consultant ou un formateur intervient). Le diagnostic sera nécessaire dans le cadre de nos expérimentations, car nous sommes extérieurs aux organisations dans lesquelles nous intervenons.

Les informations collectées au cours du diagnostic permettent notamment d'identifier la **faisabilité** du changement et les **risques** auxquels l'organisation sera soumise pendant l'implémentation. Le diagnostic permet également d'identifier les acteurs susceptibles de porter le changement au sein de l'agence, si le dirigeant ne les a pas encore identifiés au cours de la validation.

8.1.3.3 *Planification*

La planification correspond à la phase au cours de laquelle les objectifs intermédiaires et les grandes étapes du changement sont définis. Les objectifs sont priorisés et positionnés sur un calendrier avec des livrables associés. Pour réaliser le planning, il faut tenir compte de l'activité à venir de l'agence et programmer le projet pilote ainsi que les formations en fonction de ces temps. La planification intègre les temps d'investissement (achat des outils, formation, recrutement, etc.).

8.1.3.4 *Exécution*

C'est au cours de l'exécution de l'implémentation que l'achat du matériel, le développement des standards internes nécessaires au lancement de pratiques BIM (gabarits, protocoles de travail) sont mis en place. L'exécution du plan d'implémentation correspond au déroulement effectif de l'implémentation. Le projet pilote, s'il y en a un, est mis en œuvre et de nombreux tests sont réalisés pour affiner les processus. Des solutions sont proposées, testées et évaluées en vue d'être améliorées.

8.1.3.5 *Ancrage*

Après avoir été testées, évaluées et éventuellement améliorées, les pratiques peuvent être communiquées au sein de l'agence en vue d'être généralisées et appropriées. Les pratiques doivent donc d'abord être stabilisées au sein de l'agence. Elles peuvent ensuite être améliorées : il faut définir des personnes responsables de l'évolution des processus développés et ne pas hésiter à monter en compétence régulièrement en réalisant à nouveau des formations.

8.1.3.6 Des principes de la gestion de projet appliqués au projet d'implémentation

Le PMBOK propose des principes de gestion de projet qui s'appliquent tout au long du projet. Nous nous appuyons sur ces principes pour développer notre feuille de route. Le tableau ci-dessous (Tableau 32) présente la transposition que nous faisons de ces principes pour les projets d'implémentation.

Tableau 32. Déclinaison des principes de gestion de projet identifiés dans le PMBOK appliqués au projet d'implémentation

Principes de gestion de projet PMBOK	Déclinaison pour l'implémentation du BIM
Identifier le périmètre et les objectifs du projet	Identifier les objectifs de l'implémentation (quelles pratiques à implémenter ? Quels bénéfices ?) définir un objectif de durée pour l'implémentation
Identifier les personnes en charge	Identifier une ou plusieurs personnes susceptibles de mener la transition au sein de l'agence
Planifier le projet	Planifier l'implémentation : positionner l'achat des outils, la réalisation de la formation, le projet pilote, la possible généralisation des pratiques
Gérer et anticiper les coûts	Vérifier les budgets, évaluer les coûts de la transition
Gérer la qualité	Vérifier les exigences de qualité (graphique notamment) internes et mettre en œuvre des gabarits et processus de travail permettant de les maintenir
Gérer les ressources	Identifier les personnes et le matériel utiles à la réalisation du projet. Identifier les besoins en ressource pour le projet (recrutement, achat de matériel).
Gérer les communications	Mettre en place une communication dédiée au projet d'implémentation (réunions, pause-café, information mail, etc.)
Gérer les connaissances du projet	Créer un espace dédié au stockage des informations relatives à la transition de l'agence (fichier gabarit, répertoire dédié sur le serveur, guide imprimé, etc.) ; assurer la transmission des connaissances produites au cours de l'implémentation pour la diffusion à l'ensemble de l'entreprise
Gérer les risques	Identifier et gérer les risques du projet d'implémentation : limiter la résistance au changement, être attentif à la perte de productivité et au stress qu'implique la transition.

→ Les **lignes directrices proposées** comportent donc **quatre phases principales** : le **diagnostic**, la **planification**, l'**exécution** et l'**ancrage de l'implémentation**.

→ Nous nous appuyons sur les **quatre étapes de feuille de route identifiées** ainsi que sur les **principes de gestion de projet présentés dans le PMBOK** pour mener et analyser des expérimentations d'implémentation dans quatre agences d'architecture.

8.2 Immersion et expérimentation dans quatre agences au cours de leur implémentation du BIM

Nous avons eu l'occasion d'accompagner quatre agences d'architecture au cours de leur transition vers des pratiques BIM. Ces expérimentations menées en recherche-action ont été l'occasion de compléter nos observations et d'affiner les recommandations et la feuille de route proposées pour l'implémentation. Nous présentons ici le contexte, le déroulement et les conclusions de ces expérimentations.

8.2.1 Contexte des expériences réalisées

Nous avons travaillé avec **plusieurs agences d'architecture** qui ont des **profils** et des **objectifs BIM variés**. Nous avons pu être acteurs de la transition grâce à la recherche-action et une configuration tripartite avantageuse entre le laboratoire MAP-CRAI, les agences, et des étudiants-stagiaires.

8.2.1.1 La Recherche-Action : une méthode pertinente pour étudier l'implémentation du BIM

Les enquêtes par questionnaire ou entretiens sont utiles pour recueillir des informations sur la manière dont les architectes perçoivent et/ou mettent en œuvre des pratiques BIM. Cela permet également d'élaborer des hypothèses sur les facteurs qui influencent la décision d'implémenter des pratiques BIM, et ceux qui influencent le succès de l'implémentation.

Lorsqu'il fait appel à ces méthodes de recherche, le chercheur n'affecte pas (et essaye de ne pas affecter) l'objet d'étude. Et, même si elles sont ancrées dans les problématiques du terrain, ces méthodes ne permettent pas d'intervenir sur la situation pour tester une solution proposée, l'évaluer et l'améliorer.

En recherche-action, « le chercheur passe en revue une situation existante, identifie un problème et s'implique dans la situation en introduisant un changement. Il évalue l'effet de ces changements et rend compte du processus pour produire de la connaissance »¹⁸⁴ (Azhar, Ahmad, Sein 2009). Cette méthode de recherche a par ailleurs été plébiscitée de nombreuses fois pour développer des recommandations à destination des agences pour qu'elles puissent passer d'une DAO fragmentée (*fragmented CAD*) à une pratique de conception collaborative BIM (Forgues, Lapalme 2017). La recherche-action est également courante dans les sciences du management (Lines et al. 2015).

Cependant, l'intervention du chercheur sur une situation donnée des questions éthiques et scientifiques (limites et type d'intervention, manière d'exploiter les résultats) (Forgues, Lapalme

¹⁸⁴ Traduction anglais – français de l'auteure.

2017). Il s'agit avant tout de ne pas nuire à l'organisation et de définir clairement les limites d'intervention du chercheur.

Dans le cas spécifique du déploiement d'outils et de pratiques BIM, il est nécessaire de bien positionner le rôle et l'approche du **chercheur** par rapport à celui de **consultant**. Ils n'ont pas les mêmes approches, motivations, engagements, et ne construisent pas leur compréhension organisationnelle de la même manière (voir Tableau 33).

Tableau 33. Différences entre l'approche d'un chercheur et d'un consultant (d'après (Azhar, Ahmad, Sein 2009))

	Chercheur (recherche-action)	Consultant (prestation)
Motivation	Production et diffusion de connaissance	Bénéfices commerciaux Amélioration de la connaissance propriétaire à propos des solutions organisationnelles
Engagement	Auprès de la communauté scientifique Auprès du sujet (organisation)	Auprès de son client
Approche	Collaboration	Apport de point de vue extérieur et objectif sur la situation
Origine des recommandations	Cadre théorique et observations	Expérience du consultant (solutions mises en œuvre par le passé dans des contextes similaires et qui ont montré leur efficacité)
Origine de la compréhension organisationnelle	Basé sur une étude de littérature, des observations, et sur d'autres expériences menées dans les organisations	Audits et expérience

Dans notre cas, la recherche-action porte un double intérêt : elle permet (1) de tester une ébauche de feuille de route (démarche déductive) et (2) d'accéder au terrain pour identifier des problématiques opérationnelles auxquelles sont confrontées les agences qui font la démarche de déployer des pratiques BIM (démarche inductive).

La recherche-action participative est un type particulier de recherche-action dans laquelle le chercheur intervient en appui d'une démarche initiée par un professionnel (Forgues, Lapalme 2017). C'est notre cas : dans les différentes situations présentées, ce sont les agences qui étaient à l'initiative de l'implémentation de pratiques BIM.

8.2.1.2 *Un contexte favorable pour des expérimentations*

Chaque expérimentation a fait l'objet d'un stage et d'un mémoire d'étudiant en second cycle de master. La proximité entre le laboratoire de recherche MAP-CRAI et la formation AME (Architecture, Modélisation, Environnement) ¹⁸⁵ a offert un terrain favorable à ce type d'expérimentation. En effet, les étudiants de cette formation ont des profils variés (ils sont architectes et/ou ingénieurs) et se sont tous spécialisés sur les outils numériques pour la

¹⁸⁵ Renommée depuis en DNA (Design, Numérique, Architecture), une spécialité du master Design de l'école des mines de Nancy (Mines Nancy 2021).

conception en suivant les cours du master AME. Ils peuvent suivre le master en cursus simple ou en double cursus (en parallèle de leur formation d'architecte ou ingénieur).

Ils suivent un enseignement BIM dispensé par l'auteure de cette thèse. Ce cours leur permet d'acquérir des bases théoriques et techniques en Building Information Modeling : ils sont initiés aux concepts BIM (modélisation sémantique, maquette numérique, niveaux de maturité, serveurs collaboratifs, convention BIM, charte BIM, etc.) et mettent en œuvre un projet BIM dont l'objet est de simuler des échanges de maquette au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Ils sont également initiés aux enjeux du BIM pour le secteur de la construction, en particulier pour la profession d'architecte ainsi qu'à la problématique de l'implémentation du BIM au sein des agences. Au cours de leur formation AME, les étudiants doivent réaliser six mois de stage (à mi-temps pour les étudiants en double cursus).

Plusieurs stages d'étudiants du master AME ont pu être réalisés au sein d'agences d'architecture, et en relation avec le laboratoire (voir **Figure 106** ci-dessous).

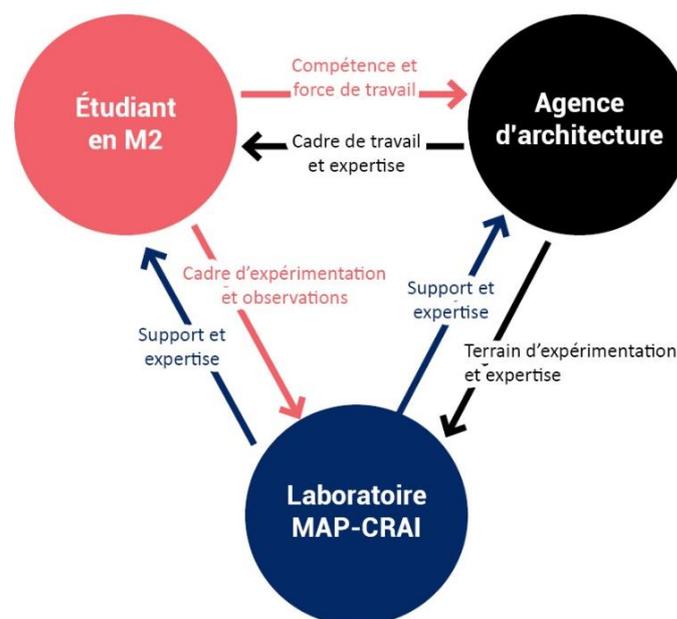


Figure 106. Apports mutuels de l'étudiant, de l'agence et du laboratoire MAP-CRAI dans le cadre des expérimentations réalisées

Ces stages ont permis à **l'équipe de recherche** d'accéder à un terrain d'expérimentation, à **l'étudiant** de trouver un stage professionnel (ou recherche) en lien fort avec les thématiques de sa spécialisation de master, et aux **agences** de mettre en place des pratiques BIM avec l'appui du laboratoire et d'étudiants compétents sur la thématique BIM (voir **Figure 106**).

8.2.1.3 Quatre agences : quatre situations différentes (situations)

Entre 2015 et 2018, nous avons suivi et analysé la situation de quatre agences différentes qui implémentaient des pratiques BIM. Elles ont des **motivations, objectifs, caractéristiques** et **niveaux de maturité BIM** différentes. De plus, chaque expérimentation s'est déroulée suivant un format d'intervention différent (voir **Figure 107**).

Cas n°	Année de l'exp.	Taille de l'agence	Projets de l'agence				Niveau de maturité BIM avant → objectif	Format d'expérimentation Etudiant Chercheur
			amén. intérieurs	maisons indiv.	Projets publics et privés taille moyenne	taille moyenne +		
1	2015	2 					0/1 → 2	
2	2017	2 					0 → 1	
3	2017	15+ 					0 → 1	
4	2018	6 					0/2 → 2	

Figure 107. Caractéristiques des quatre cas pour l'expérimentation.

Le cas n°1, qui s'est déroulé en 2015, concerne une très **petite structure constituée de deux architectes** associés qui réalise principalement des **maisons individuelles en ossature bois**. Elle travaille très régulièrement avec la même entreprise de charpenterie et souhaite profiter de sa transition d'AutoCAD vers ArchiCAD pour développer **un processus de collaboration basé sur l'échange de maquettes numériques** avec les charpentiers. L'agence s'est rapprochée du laboratoire de recherche concernant cette problématique spécifique et une expérimentation a alors été envisagée. Celle-ci implique **deux stagiaires** : l'un financé par l'agence qui a réalisé l'ensemble de son stage au sein de l'entreprise (Ribereau-Gayon 2015), et l'autre, financé et réalisé au sein du laboratoire MAP-CRAI (Hochscheid 2015)¹⁸⁶. Le stagiaire de l'agence a été le relai opérationnel de l'expérimentation. Il a participé à la production courante de l'agence pour absorber la perte de productivité liée au passage à ArchiCAD, et a été un support technique pour les architectes en interne, car il a une très bonne maîtrise de l'outil. En parallèle, le stagiaire au laboratoire a effectué des recherches et tests pour développer les échanges entre ArchiCAD et

¹⁸⁶ Il s'agit du mémoire de fin d'études de l'auteur de ces lignes. Ce mémoire de recherche a initié la réflexion développée tout au long de cette thèse de doctorat. C'est pour cette raison que la date de l'expérimentation (2015) est antérieure à la date du début du doctorat (1^{er} janvier 2017).

cadwork¹⁸⁷. Les deux stagiaires ont travaillé ensemble pour développer des « bonnes pratiques » à destination de l'agence en vue de déployer les protocoles de travail et d'échange avec l'entreprise de charpente.

Le cas n°2 concerne une agence de deux architectes située en région parisienne. Cette expérimentation a été plus distante du laboratoire que la précédente : l'étudiant (Sauvage 2017) a trouvé son stage par lui-même et **l'agence lui a fait part de son souhait de développer des méthodes de travail BIM suite à au développement des exigences BIM des maîtres d'ouvrage.** L'étudiant a alors souhaité mettre en application quelques principes vus en cours (gestion des risques, échelonnage de la transition, modélisation d'entreprise). Le laboratoire n'a pas eu d'échange directement avec l'agence, mais nous avons analysé le déroulement et les résultats de la transition avec l'étudiant à sa demande à la fin de son stage. **L'agence, qui travaille principalement avec AutoCAD et 3ds max, s'est orientée vers ArchiCAD.**

Le cas n°3 est celui d'une agence de **taille relativement importante (une quinzaine de personnes)**, qui réalise des **projets assez variés** : de l'aménagement intérieur à des projets en marché public de taille moyenne. L'agence travaillait sur AutoCAD et **souhaitait déployer un outil BIM et généraliser les pratiques BIM de niveau 1.** Elle voulait améliorer ses processus de travail suite au développement de son activité et au recrutement de plusieurs collaborateurs. Elle souhaitait également se positionner sur les marchés publics qui nécessitent de plus en plus de compétences BIM. **L'agence a financé un stage qui s'est déroulé principalement au sein du laboratoire** sous la supervision de l'auteure de ces lignes. Des visites ont été régulièrement organisées au sein de l'agence pour que la stagiaire (Mertes 2017) ait accès au terrain et puisse étudier les pratiques de l'agence. Le stage a consisté à développer et exécuter un plan d'implémentation spécifique à cette agence.

Le cas n°4 concerne une agence ici concernée compte **deux dirigeants associés, trois employés permanents et un ou deux architectes en contrat à durée déterminée** qui viennent en renfort ponctuellement. Le recrutement récent d'un jeune diplômé performant sur ArchiCAD a poussé les associés à considérer le déploiement d'un outil BIM. Le jeune diplômé a commencé à réaliser des projets sur ArchiCAD alors que le reste de l'agence travaille sur Vectorworks. Il a également commencé à développer spontanément des échanges IFC avec les bureaux d'études. L'agence a de plus été confrontée à un projet sur lequel une erreur de dessin a abouti à une incohérence de dessin : celle-ci a nécessité des modifications en cours de chantier. L'agence a financé le stage qui s'est déroulé chez elle en interne. L'équipe du laboratoire a effectué quelques visites au sein de

¹⁸⁷ Au moment de l'expérimentation, aucun module d'export-import n'existait et le format IFC n'était pas encore bien supporté par cadwork.

l'agence pendant l'expérimentation, et a régulièrement fait le point avec l'étudiant sur l'avancement et le déroulement de l'implémentation.

Les expérimentations réalisées couvrent un éventail assez large d'agences en termes de tailles et type de production. La position variable du stagiaire à chaque expérimentation nous a permis d'étudier l'impact de la position de l'acteur du changement (interne/externe).

Chaque expérimentation est présentée et analysée au regard de la feuille de route proposée pour l'implémentation, des observations réalisées au cours des entretiens, de l'enquête par questionnaire et dans notre étude de littérature.

8.2.2 Cas n°1 : déploiement d'échanges de fichiers avec une agence de 2 personnes

Ce cas d'étude a été mené par Elodie Hochscheid (Hochscheid 2015) et Marc Ribereau-Gayon (Ribereau-Gayon 2015) au sein de l'atelier MPA (Maddalon Piquemil Architecture) à Saint-Max avec l'appui de Damien Hanser.

8.2.2.1 Validation : motivations et objectifs

Les deux architectes de l'agence reconnaissent certaines qualités aux méthodes de travail BIM même s'ils ne sont pas particulièrement férus de nouvelles technologies. Un événement a déclenché chez eux l'envie de mettre en œuvre des pratiques BIM : ils ont été confrontés à une erreur de cotation qui a amené le charpentier à construire la toiture d'une maison individuelle avec une autre pente que celle qui était initialement prévue. Cette erreur est due à une discontinuité dans leurs échanges avec l'entreprise de charpente. Suite à celle-ci, les architectes ont souhaité mettre en place un processus de travail et d'échange avec leurs partenaires basés sur l'échange de maquette numérique pour instaurer un continuum numérique et gagner en fiabilité dans les processus d'échange.

Bien que l'agence ne travaille pas en niveau de maturité 1, c'est le niveau 2 qui est ici mis en place. La démonstration que des pratiques de niveau 2 auraient pu éviter l'erreur qu'ils ont vécue a vocation à déclencher le déploiement de pratiques de niveau 1 pour eux.

8.2.2.2 Diagnostic

Nous avons souhaité étudier les raisons du dysfonctionnement observé par les architectes sur le projet « déclencheur ». Plusieurs visites au sein de l'entreprise de charpente ainsi qu'une analyse des pratiques de l'agence a permis de cartographier les **processus métier** intervenant au cours du transfert de fichiers entre les deux entreprises. Pour cette cartographie, nous avons exploité la notation BPMN (Business Process Model Notation), en y ajoutant quelques éléments spécifiques aux projets de construction (voir **Figure 108** ; 5 : les phases du projet ; 3 et 4 : les niveaux de développement de la maquette numérique).

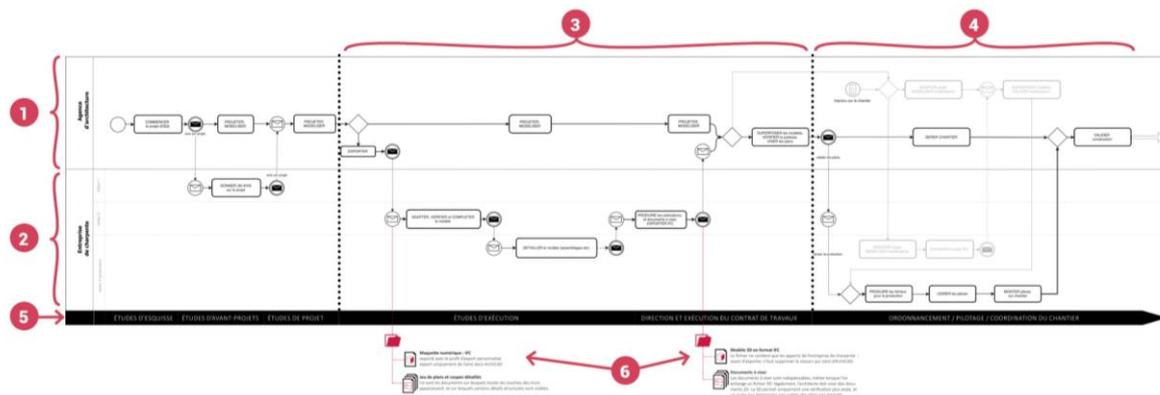


Figure 108. Représentation générale du processus de travail et d'échange d'informations entre l'agence d'architecture (1) et l'entreprise de charpente (2). Le document fait apparaître les phases du projet (5), les séparations entre les différents Niveaux de Développement (LOD) : le ND3 (3) et ND4 (4). Le contenu des documents échangés apparaît également (6). Source : (Hochscheid 2015).

Note : le processus est ici trop petit pour être lu ; ce n'est pas le processus ici que nous souhaitons montrer, mais les éléments qui sont présents (et notamment ajoutés) à notation BPMN.

Les architectes envoient aux charpentiers des documents 2D ; de leur côté, les charpentiers s'appuient sur ces documents pour redessiner en 3D l'ensemble des pièces de charpente dans un logiciel dédié (cadwork) (voir **Figure 109**). Le modèle 3D est ensuite exploité de trois manières : pour produire des plans à viser par les architectes avant le lancement de la fabrication ; pour réaliser des estimations (notamment de volume de bois, de vis, etc.) et pour envoyer les pièces en fabrication directement sur les machines à commande numérique (voir photographie c, **Figure 109**).

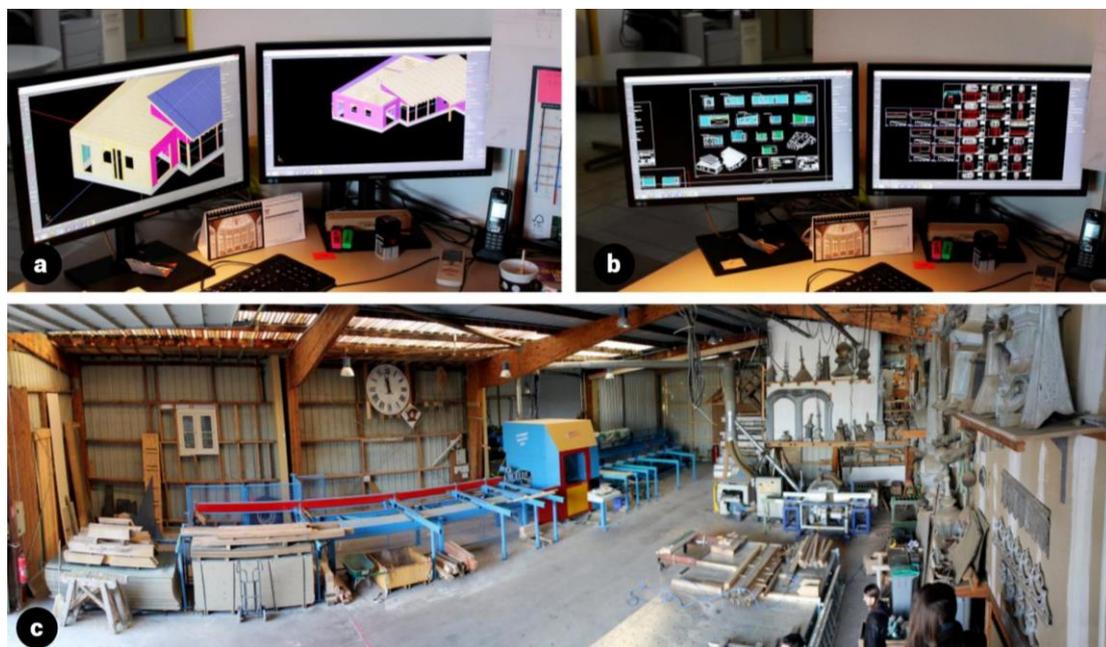


Figure 109. Photographies prises au cours de nos visites au sein de l'entreprise de charpente. Les photographies représentent : le modèle 3D détaillé sur cadwork (a), les plans à viser et les documents de fabrication (b) et la machine à commande numérique qui exploite les fichiers cadwork pour les découpes (c). Source : (Hochscheid 2015)

Le problème observé sur la pente de toiture s'est produit à l'étape de modélisation au sein de l'entreprise de charpente. Les architectes notent les pentes en pourcentage tandis que les charpentiers les notes en degrés. Lors de la phase de ressaisie dans leur logiciel cadwork, les charpentiers ont reporté les valeurs de pente en pourcentage et ont pensé qu'il s'agissait de degrés. Lorsque les architectes ont reçu de la part des charpentiers les plans à viser, ils n'ont pas détecté l'erreur, car l'unité n'était pas notée sur le document.

8.2.2.3 *Planification*

Le processus d'échange souhaité (échange de maquette numérique, sans ressaisie) a été dessiné en se basant sur le processus précédent. L'échange envisagé comporte : la modélisation d'un projet chez les architectes, la reprise du modèle 3D directement dans cadwork chez les charpentiers, la modélisation fine des éléments de charpente, le renvoi de la maquette numérique aux architectes pour qu'ils puissent superposer les deux modèles et vérifier la cohérence de l'ensemble.

Le projet de maison individuelle qui avait fait l'objet de l'erreur évoquée précédemment a été sélectionné comme projet démonstrateur pour ce nouveau processus.

8.2.2.4 *Exécution*

Au cours de la phase d'exécution, le stagiaire présent au sein de l'agence a modélisé le projet de maison individuelle sur ArchiCAD tandis que le celui du laboratoire a effectué des tests d'échanges en vue d'identifier les bonnes pratiques et un protocole de travail. De nombreux problèmes d'interopérabilité ont été identifiés. Il a été nécessaire de développer un module d'export personnalisé et d'identifier un protocole d'import spécifique pour surmonter ces problèmes techniques. La superposition des modèles n'a pas pu être réalisée dans l'outil métier des architectes pour des raisons d'interopérabilité : elle a dû être externalisée et réalisée dans un *viewer* IFC.

8.2.2.5 *Ancrage*

L'expérimentation a permis de démontrer l'intérêt du processus de travail en BIM. Le stagiaire interne à l'agence a documenté les processus développés pour que l'agence puisse les exploiter. Les associés de l'agence ont finalement réalisé une formation ArchiCAD. Ils l'ont mis en œuvre très progressivement sur les nouveaux projets de l'agence en s'appuyant sur l'ancien stagiaire qu'ils ont embauché. Par la suite ils ont engagé un second collaborateur déjà formé sur l'outil ArchiCAD.

8.2.2.6 Bilan

Nous avons expérimenté des pratiques de niveau 2 dans une agence qui travaille principalement sur AutoCAD. Cette expérimentation a amené l'ensemble de l'agence vers des pratiques de niveau 1 et une partie de l'agence vers des pratiques de niveau 2.

Les deux architectes de l'agence n'auraient pas pu trouver le temps et n'avaient pas les compétences nécessaires pour développer les processus et effectuer les nombreux tests d'import-export. De plus, les tests ont été effectués sur un projet démonstrateur et non un projet pilote : les tâches effectuées sur le projet démonstrateur ont été réalisées *a posteriori* n'ont pas directement contribué à la production de l'agence. Le recours à un **projet démonstrateur** dans une agence de cette taille a été permis par l'intégration d'un jeune diplômé compétent et la collaboration avec le laboratoire.

L'embauche du jeune diplômé après son stage a permis à l'agence d'intégrer des pratiques BIM de niveau 1 plus sereinement. Cela a également permis de conserver au sein de l'agence les connaissances et savoir-faire liés aux échanges avec les charpentiers. Les échanges avec l'entreprise se sont par ailleurs poursuivis après l'expérimentation et cadwork a développé des modules d'import plus performants.

8.2.3 Cas n°2 : déploiement d'ArchiCAD dans une agence parisienne de deux architectes

Cette expérimentation a été menée par Louis Sauvage (Sauvage 2017) au sein de l'agence Hoge architectes à Paris.

8.2.3.1 Validation

Un an avant son stage, l'étudiant avait été sollicité par l'agence pour développer des échanges IFC pour un de leur projet. L'agence est ponctuellement confrontée à des missions BIM et fait alors appel à une personne externe pour répondre à ces demandes, car les compétences et logiciels ne sont pas disponibles au sein de l'agence. Le dirigeant souhaite pouvoir continuer à répondre à des marchés qui nécessitent des compétences BIM. Mais ni lui ni son collaborateur ne sont portés sur les nouvelles technologies et aucun d'eux ne maîtrise les outils et processus BIM.

Il n'est pas certain que la mise en place de pratiques BIM émane réellement d'une volonté forte de la part du dirigeant. Il est probable que l'étudiant ait orienté son stage sur cette question sans que le dirigeant ait formellement pris la décision de mettre en œuvre des pratiques BIM.

L'objectif d'implémentation est ici le niveau de maturité 1, mais les objectifs et bénéfices à tirer de cette implémentation ne sont pas très clairs, et semblent portés principalement par le stagiaire.

8.2.3.2 *Diagnostic*

L'agence est composée de deux personnes : le dirigeant et un collaborateur. Tous deux travaillent principalement en 2D avec AutoCAD et le collaborateur réalise parfois des rendus avec 3DSmax. À l'arrivée du stagiaire, l'agence venait d'emménager dans de nouveaux locaux et devait remettre en place un serveur interne. L'étudiant n'a pas réalisé d'analyse du besoin (qui émanaient peut-être de lui).

8.2.3.3 *Planification*

L'étudiant a analysé les pratiques de l'agence et identifié, dans son planning, des « temps faibles » où les architectes étaient susceptibles d'avoir moins d'activité et plus de temps à consacrer à une formation. L'étudiant stagiaire a réalisé un planning de transition comportant principalement des formations internes sur ArchiCAD qu'il a lui-même réalisées. La sélection de l'outil ArchiCAD n'a pas réellement fait l'objet d'une comparaison d'outils mais a été proposée par le stagiaire, car il s'agit de l'outil qu'il maîtrise le mieux. ArchiCAD n'est cependant pas l'outil BIM le plus répandu en région parisienne¹⁸⁸. Le stagiaire a exploité la notation BPMN¹⁸⁹ pour modéliser le processus de transition, ce qui est peut-être incongru ici ; d'autant plus que ce type de notation n'est généralement pas immédiatement lisible par les architectes, contrairement aux diagrammes de gantt par exemple.

Lors de la phase de planification, trois projets démonstrateurs ont été sélectionnés en collaboration avec l'agence ; et il a été déterminé que le stagiaire modéliserait ces projets pour « tester » les pratiques BIM de niveau 1 à l'agence.

8.2.3.4 *Exécution*

Dans un premier temps, le stagiaire a déployé les ressources physiques et logicielles nécessaires à l'exécution du plan d'implémentation. Il a sélectionné et installé un serveur dans les nouveaux locaux de l'agence, et a installé des versions de démonstration du logiciel ArchiCAD sur les ordinateurs.

L'étudiant a modélisé ces projets sur ArchiCAD afin de développer les gabarits de travail dont l'agence aura besoin pour déployer ArchiCAD efficacement. Ces gabarits permettent l'accès rapide aux mises en page, calques, objets, et stylos fréquemment utilisés par l'agence. Il a, de plus, introduit de nouveaux usages comme les nomenclatures qui permettent de réaliser des tableaux de surface semi-automatisés¹⁹⁰.

¹⁸⁸ La plupart des agences d'île de France qui sont au niveau de maturité 1 travaillent avec Revit.

¹⁸⁹ *Business Process Modeling Notation* : notation pour la modélisation des processus métier

¹⁹⁰ Ils nécessitent néanmoins le respect de certaines règles de modélisation pour pouvoir fonctionner correctement.

Il a ensuite conduit plusieurs formations internes auprès des deux architectes de l'agence. Elles ont consisté en partie à reproduire les projets démonstrateurs (trois maisons individuelles relativement simples) en utilisant les gabarits développés par l'étudiant. L'utilisation des gabarits permet de rendre la formation la plus spécifique possible et a vocation à faciliter l'appropriation de l'outil par les architectes.

Le stagiaire a reporté la difficulté d'effectuer ces formations en interne à cause du pic d'activité que l'agence traversait au moment de son stage. Il a été particulièrement difficile pour les architectes de dégager du temps pour la formation, malgré l'intégration des temps d'activité au cours de la phase de planification.

8.2.3.5 *Ancrage*

Bien qu'elle ait été difficile à réaliser, la formation a permis aux architectes de gagner en compétence sur l'outil ArchiCAD. En terminant son stage, l'étudiant a laissé à l'agence un gabarit ainsi que des fiches-mémo sur l'utilisation d'ArchiCAD en général et sur l'exploitation du gabarit.

Au départ de l'étudiant, l'agence a arrêté d'utiliser ArchiCAD. D'après l'étudiant, l'agence n'aurait pas pu absorber la perte de productivité associée au déploiement d'ArchiCAD étant donné leur volume de travail et leur maîtrise du logiciel. La participation du stagiaire à l'activité et la production de l'agence n'a pas suffi à dégager le temps nécessaire aux deux architectes pour s'investir suffisamment pour ArchiCAD.

8.2.3.6 *Bilan*

Cette tentative de transition vers des pratiques BIM de niveau 1 n'a pas fonctionné, malgré plusieurs précautions prises par le stagiaire (fiches descriptives, préparation de gabarits, réalisation de formations, planification des formations pendant des creux d'activité, etc.).

Plusieurs facteurs défavorables sont ici identifiables : le dirigeant n'était peut-être pas impliqué dans la transition et préfère généralement déléguer ces pratiques à un externe ou à un interne ponctuel (facteur d'implémentation CHG-2-c « attitude et implication dans le changement¹⁹¹); l'agence a connu un pic d'activité au moment du stage ; la personne qui a porté la transition est partie en emportant avec lui la compétence BIM et sans être parvenu à la transmettre (facteur CHG-3-g, « gestion du risque »).

Il est également possible que la profusion d'outils et de fonctionnalités testées par l'étudiant ait pu décourager les deux architectes de l'agence peu habitués à cette démarche : l'étudiant indique

¹⁹¹ Voir Tableau 12, « Taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro pour les phénomènes de **décision** et **d'implémentation** », p.166

« mon intention était de faire prendre conscience à l'agence que de très nombreux et puissants outils sont à la disposition de la production architecturale » (facteur INO-2-c « perception de facilité d'utilisation »¹⁹²).

Enfin, si les dirigeants n'étaient initialement pas demandeurs de pratiques BIM (mais pas non plus réticents), ce cas d'étude nous permet d'observer une tentative d'implémentation en bottom-up qui n'est pas portée par les valeurs de l'agence et qui n'est pas accompagnée par une vision de la direction.

8.2.4 Cas n°3 : déploiement d'ArchiCAD dans une agence de 15 personnes

Cette expérimentation a été menée avec Perrine Mertes (Mertes 2017) au sein de l'agence d'architecture HAHA à Saint Nabord et avec l'appui de Damien Hanser, formateur BIM.

8.2.4.1 Validation

L'agence concernée ici a connu un important développement peu avant l'implémentation. Son activité s'est développée et elle a recruté plusieurs collaborateurs. L'augmentation des effectifs a nécessité une réorganisation des espaces de travail (**Figure 110**) et une révision des méthodes qui passe en partie par l'implémentation de pratiques BIM.



Figure 110. Photographie des locaux de l'agence (photographie : Elodie Hochscheid, 2017).

¹⁹² Voir Tableau 12, « Taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro pour les phénomènes de **décision** et **d'implémentation** », p.166

La phase de recrutement, qui a principalement concerné des jeunes diplômés, a également permis d'apporter au sein de l'agence des profils d'architectes formés et opérationnels sur les outils BIM, en particulier sur ArchiCAD.

En plus de ces circonstances particulières, le dirigeant de l'agence a développé une vision de son entreprise et souhaite développer son activité vers des pratiques BIM. Il travaille avec des collectivités publiques qui commencent à engager une transition BIM : il voit dans cette transition globale une opportunité pour son agence de développer son activité et d'acquérir une position stratégique.

8.2.4.2 *Diagnostic*

Le diagnostic a été en partie réalisé par le formateur qui a conduit des entretiens privés et confidentiels avec plusieurs personnes de l'agence. Nous n'avons pas pu accéder au contenu de ces entretiens et avons à notre tour investigué les pratiques de l'agence avec la stagiaire. Pour ce faire, nous avons combiné trois méthodes : l'analyse de documents de travail de l'agence, des entretiens ainsi que des temps d'observation sur place. La taille de l'agence et la diversité de ses projets ont nécessité pour notre expérimentation une phase d'audit plus importante que dans les autres expérimentations. Nous souhaitons comprendre les pratiques et usages de l'agence en vue de développer les gabarits nécessaires à son passage en BIM niveau 1.

Fonctionnement et production de l'agence

L'agence travaille sur AutoCAD et réalise ponctuellement des visuels 3D avec SketchUp.

L'agence a une production relativement variée : elle réalise parfois des maisons individuelles, des projets en marché public de taille moyenne et des aménagements intérieurs pour des boutiques de groupes privés¹⁹³. Ces projets d'aménagement font l'objet d'une charte graphique stricte imposée par leurs clients. Celle-ci intègre une bibliothèque d'objets (2D en plan et élévations ainsi que 3D), des couleurs, ainsi que des mises en page. Pour un seul et même objet, la bibliothèque compte au généralement trois éléments différents : deux élévations, un plan et une 3D (voir **Figure 111**).

¹⁹³ Orange (un opérateur téléphonique) et Héma (une chaîne de magasins spécialisée dans les articles pour la maison).

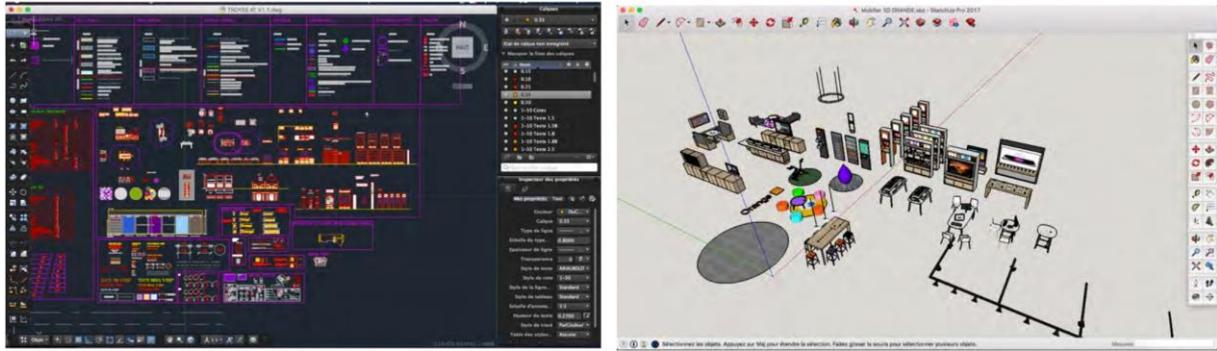


Figure 111. Aperçu de la bibliothèque d'objets pour les projets de boutique sur AutoCAD (à gauche) et SketchUp (à droite).
Source : (Mertes 2017)

Pour l'agence, l'utilisation de bibliothèques et de gabarits est primordiale pour ce type de projet : ils sont nombreux et leurs délais sont très courts. L'utilisation de la charte doit être possible de façon rapide et efficace. Le déploiement d'un nouvel outil implique donc la préparation de gabarits et bibliothèques permettant de travailler sur ces projets.

L'analyse des projets de l'agence a permis d'identifier ses besoins en termes de rendus graphiques et de processus de travail. Ils ont été reportés dans une carte heuristique (voir Figure 112).

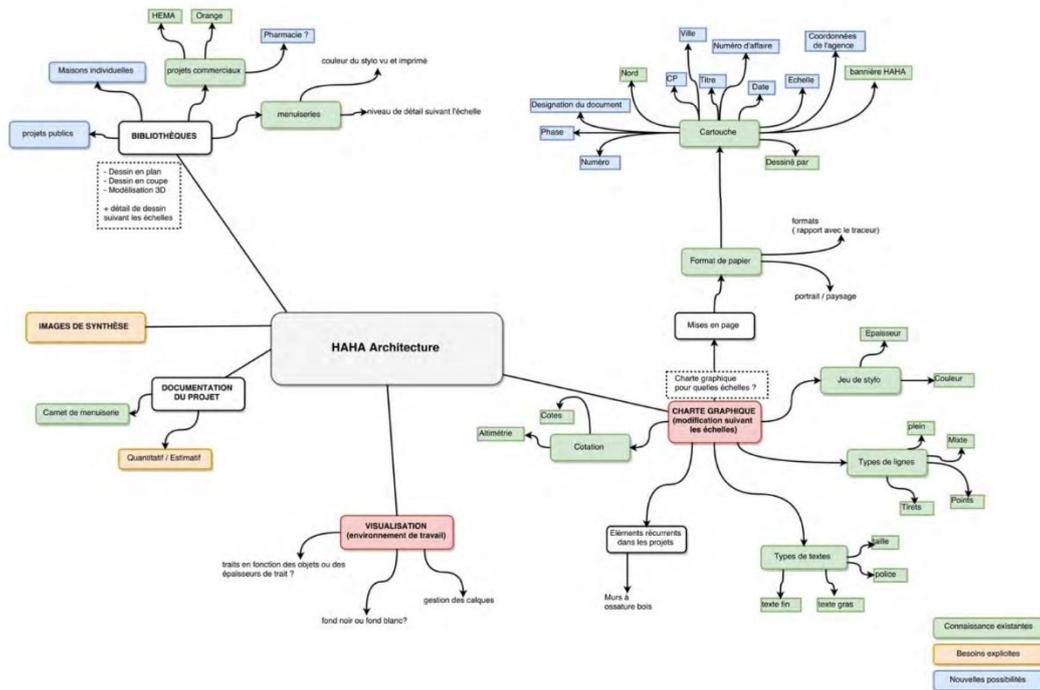


Figure 112. Aperçu de la carte heuristique représentant les éléments (processus et chartes) à mettre en place pour le déploiement du nouvel outil de travail. Source : (Mertes 2017)¹⁹⁴

La carte heuristique des **éléments à mettre en place pour la transition de l'agence** inclut cinq axes de travail : la mise en place de la **charte de graphique** (cartouches, jeux de stylos, etc.), les

¹⁹⁴ Voir en grand format en Annexe 18, p.426.

bibliothèques d'objets (notamment pour les projets d'aménagement de boutiques), la **documentation du projet** (formats type de tableaux de surface, quantitatifs), et les **processus de rendu 3D internes**, et le **paramétrage de l'interface** (environnement de travail) du logiciel.

Acteurs de la transition

Au sein de l'agence, il existe plusieurs profils d'architectes susceptibles de mener une opération d'implémentation. **Le premier est un architecte qui travaille au sein de l'agence depuis longtemps** et qui a mis en place les gabarits de travail sur AutoCAD (épaisseurs de lignes, calques, mises en page, etc.). Son ancienneté et la confiance que lui porte le dirigeant de l'agence lui confèrent une légitimité importante, notamment auprès de ses collègues. Il n'a jamais utilisé un outil BIM pour l'architecture mais se montre très intéressé par la thématique BIM. Nous appellerons cet acteur le « *BIM champion senior* ». **Le second architecte** susceptible de mener le projet de changement **est un jeune architecte**, arrivé à l'agence depuis quelques années. Il réalise son mémoire de HMONP¹⁹⁵ sur le BIM. Sa formation initiale lui a permis de développer des compétences sur ArchiCAD. Nous l'appellerons le « *BIM champion junior* ».

Risques

Les risques ici identifiés pour l'implémentation sont relativement faibles : une partie de l'agence maîtrise déjà l'outil ArchiCAD, le dirigeant est très présent sur le projet d'implémentation. Il est toujours possible qu'un nouveau projet perturbe le planning de transition et d'achat du logiciel, mais ce risque fait partie de ceux qui sont particulièrement difficiles à traiter. Le dirigeant a également étudié l'impact économique de l'investissement en logiciel et formation pour son agence, avant l'expérimentation.

8.2.4.3 Planification

Les **éléments à mettre en place pour la transition de l'agence** ont été priorisés puis positionnés sur un calendrier (Figure 113). Un processus itératif a été envisagé pour les développer : développement d'une proposition, soumission de la proposition à l'équipe de pilotage BIM (les deux *BIM champions* ainsi que le dirigeant), et révision de la proposition.

¹⁹⁵ Habilitation à la Maîtrise d'œuvre en son Nom propre : il s'agit d'une formation complémentaire au diplôme d'État d'architecte qui est nécessaire pour être habilité à s'inscrire à l'ordre des architectes.



Figure 113. Photographie d'une réunion de travail au laboratoire avec le dirigeant de l'agence (photographie : Elodie Hochscheid)

Au cours de ces échanges avec les *BIM champions*, un point a attiré notre attention. Les architectes avaient l'habitude de travailler avec des calques sur AutoCAD qui correspondaient non pas à des types d'objets (murs, mobilier, etc.) mais à des épaisseurs de traits (à droite sur la **Figure 114**). Le visuel des documents dans l'espace de travail restituait donc cette organisation (à gauche sur la **Figure 114**). L'utilisation d'un outil BIM comme ArchiCAD change complètement le visuel de travail qui est alors organisé par objet architectural et non plus par épaisseur de trait. Ce point très spécifique a fait l'objet de plusieurs réunions, car les architectes de l'équipe de pilotage souhaitaient que leur précédente visualisation soit possible sur ArchiCAD. C'est techniquement possible (et nous l'avons paramétré), mais cela va à l'encontre de la logique de modélisation par objet. Nous craignons que cette pratique les ralentisse dans leur appropriation de l'outil ArchiCAD : il s'agit d'un risque à gérer au cours de l'implémentation et surtout pendant l'ancrage.

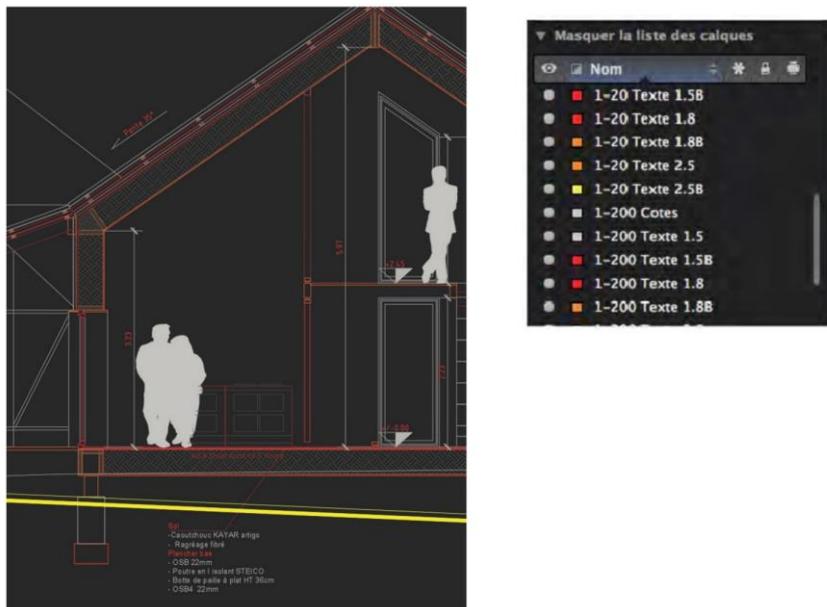


Figure 114. Visualisation de la zone de travail dans AutoCAD (à gauche) et des réglages de calques de l'agence (à droite)

Les premiers projets concernés par la mise en place de gabarits sont des projets d'aménagement intérieur avec le développement des bibliothèques associées. Ce choix a vocation à permettre à l'agence de visualiser rapidement les bénéfices de la transition, en implémentant les pratiques BIM sur des petits projets de courte durée. La petite taille des projets pilotes a également vocation à limiter les risques de l'implémentation : si un problème quelconque survient sur ce type de projet, l'agence sera moins impactée que sur un projet d'envergure.

La formation a été prévue en plusieurs phases. Les deux *BIM champions* ont été formés en premier et de façon plus approfondie que les autres collaborateurs, car ils auront la charge de faire évoluer les gabarits et processus développés par la stagiaire. Les temps de formation de l'agence sont étalés dans le temps (une journée à la fois) et ont à chaque fois mobilisé l'ensemble de l'agence. La direction de l'agence a adopté un **mode de communication** à la fois formel et informel sur la transition pour impliquer les collaborateurs : l'agence se réunit les lundis matin pour évoquer l'ensemble des projets, c'est ce temps qui a été dédié, avec des pauses café communes, à la communication et l'échange sur l'implémentation de pratiques BIM.

8.2.4.4 Exécution

La première étape de la phase d'exécution a été le développement des bibliothèques, mise en page et processus de travail. Au cours de la phase d'exécution, l'agence a fait l'acquisition de licences ArchiCAD. Le formateur a réalisé plusieurs sessions de formation d'une journée, espacées dans le temps. Ces formations se sont déroulées au sein de l'agence. Les téléphones et boîtes e-mail sont toujours à portée de clic au sein de l'agence et cela peut compliquer le déroulement de la formation.

Le planning n'a pas subi d'aléa et l'implémentation a pu se dérouler comme prévu.

8.2.4.5 Ancrage

La stagiaire a rédigé et laissé à l'agence une documentation assez fournie sur l'utilisation des gabarits. Après l'expérimentation, et son départ de l'agence, les pratiques ont été intégrées progressivement au sein de l'agence, d'abord sur les projets d'aménagement intérieur. Le *BIM champion* junior travaille sur ce type de projet, ce qui a facilité le transfert. Les gabarits mis en place par la stagiaire ont été utilisés et mis à jour par la suite. Le temps de l'expérimentation n'a pas permis de développer l'ensemble des éléments dont l'agence avait besoin pour généraliser les pratiques BIM de niveau 1.

Par la suite, l'agence a réalisé plusieurs formations plus spécifiques, notamment sur la modélisation de terrain et sur les processus d'échange IFC.

8.2.4.6 Bilan

On remarque ici que l'agence correspond bien aux caractéristiques identifiées des agences d'une quinzaine de personnes sur l'ESÉAA¹⁹⁶ : elle réalise des projets variés, avec des marchés privés et publics et un dirigeant déjà expérimenté.

L'implémentation dans cette agence est un projet de longue durée. Cela est probablement dû à sa taille et à la diversité de ses projets. L'échelonnement de la formation et la composition d'une équipe de pilotage du projet de transition ont eu l'effet escompté : la transition s'est faite progressivement et l'apprentissage organisationnel a pu être enclenché.

Le changement n'a pas ici été radical : les pratiques BIM sont implémentées sur un type de projet après l'autre, après développement de gabarits spécifiques. On note en revanche que la charge de travail nécessaire à la mise en place des gabarits ainsi que des bibliothèques est très conséquente. Elle semble dépendre de la diversité des projets de l'agence et des exigences de ses clients.

Aujourd'hui encore l'utilisation des outils BIM n'est pas évidente pour l'ensemble des membres de l'équipe mais l'agence continue à améliorer ses méthodes de travail. Une réflexion est menée en interne sur l'exploitation d'une base de données et de maquettes numériques pour la réalisation des estimatifs et des CCTP¹⁹⁷. L'agence s'est également engagée sur des projets de recherche sur la thématique du BIM et en étroite collaboration avec des gestionnaires de patrimoine. Elle poursuit sa démarche d'expansion, tant sur les projets qu'elle réalise que sur son équipe.

La vision stratégique du dirigeant et sa capacité à investir dans l'innovation ont été déterminantes dans le déroulement de l'implémentation et dans le développement actuel de l'agence.

Les échanges avec l'équipe de pilotage nous ont permis également de noter nos observations concernant l'appropriation des outils. Certains usages (présents sur le précédent outil) ont disparu pour eux sur ArchiCAD, certains ont été modifiés, et certains ont été créés. Nos observations ont montré que **ce n'est pas l'apparition ou la disparition d'usages qui pose problème : les usages que les architectes avaient sur leur précédent outil de travail et qui ont été modifiés posent en revanche des problèmes d'appropriation.**

Enfin, la stagiaire a reporté que le fait d'avoir réalisé son stage hors des murs de l'agence a été un frein à la bonne compréhension de son fonctionnement.

¹⁹⁶ Voir **Figure 59**, « Espace socio-économique des agences d'architecture (ESÉAA) », p.204

¹⁹⁷ Cahiers des Clauses Techniques Particulières

8.2.5 Cas n°4 : déploiement d'ArchiCAD et d'échanges BIM avec une agence de 6 personnes

Cette expérimentation a été menée avec Jérôme Guillaumond (Guillaumond 2018), au sein de l'agence Bagard&Luron à Nancy avec la collaboration de Damien Hanser, formateur BIM.

8.2.5.1 Validation

La décision de mettre en place des pratiques BIM au sein de l'agence est motivée ici par deux facteurs principaux : un **facteur de longue durée** et un **événement déclencheur**. La pratique de l'agence a progressivement évolué vers des projets de taille plus importante (comme décrit par l'ESÉAA). L'agence travaille depuis longtemps sur Vectorworks (en 2D) mais les erreurs de cohérence entre les vues sont courantes et ralentissent les architectes dans leur travail. Les dirigeants avaient une image assez mauvaise de l'outil ArchiCAD et des outils BIM en général mais l'embauche d'un architecte compétent sur ArchiCAD leur a permis de découvrir des fonctionnalités qu'ils ne soupçonnaient pas jusque là.

Suite à l'embauche d'un jeune diplômé (que nous appellerons « *BIM champion junior* ») et à l'achat d'une licence ArchiCAD dans un premier temps uniquement pour lui, ils ont décidé de généraliser la pratique au sein de l'agence. C'est donc cette embauche qui a été un événement déclencheur de la décision de mettre en œuvre des pratiques BIM. Ils se sont par ailleurs tournés vers ArchiCAD, car c'est l'outil qu'ils ont découvert au travers du nouvel arrivant au sein de l'agence.

Le jeune architecte avait déjà expérimenté des échanges de maquette numérique en IFC avec des bureaux d'étude avant que l'agence ne réalise une formation BIM. L'agence était donc en partie en niveau de maturité 0 et en partie en niveau 2. De plus, un projet est déjà en cours sur ArchiCAD : celui-ci est réalisé par le *BIM champion*. Il faut noter également que les dirigeants n'utilisent pas du tout cet outil : en permettant au BIM champion de réaliser un projet sur ArchiCAD, ils ont accepté de ne pas avoir accès aux fichiers éditables du projet concerné.

8.2.5.2 Diagnostic

Nous avons réalisé un diagnostic avancé de la pratique de l'agence, en combinant des **entretiens**, **la consultation des documents de l'agence** et des **observations**. Nous nous sommes appuyés sur la description des composantes de l'organisation parmi les facteurs qui influencent l'implémentation du BIM¹⁹⁸ pour construire ce diagnostic. Il s'est concentré sur cinq points : le fonctionnement interne de l'agence du point de vue **ressources humaines**, **processus de travail**, **projets** (types, durée, planning), **partenaires de travail** et leur maturité BIM ainsi que le **parc**

¹⁹⁸ Voir Tableau 12, « Taxonomie des facteurs d'adoption du BIM à l'échelle micro pour les phénomènes de **décision** et **d'implémentation** », p.166

informatique. Au travers de cette expérimentation, nous avons développé plusieurs représentations graphiques empruntées au domaine de la modélisation d'entreprise¹⁹⁹ pour restituer les résultats de l'audit.

Parmi les différentes représentations exploitées, on retrouve le diagramme hiérarchique, une représentation temporelle des projets de l'agence sur un calendrier, un diagramme de réseau informatique, ainsi qu'un diagramme représentant les partenaires de projet courants et leur niveau de maturité BIM (**Figure 115**). On retrouve une approche et représentation similaire chez (Bonanomi, Paganin, Talamo 2016).

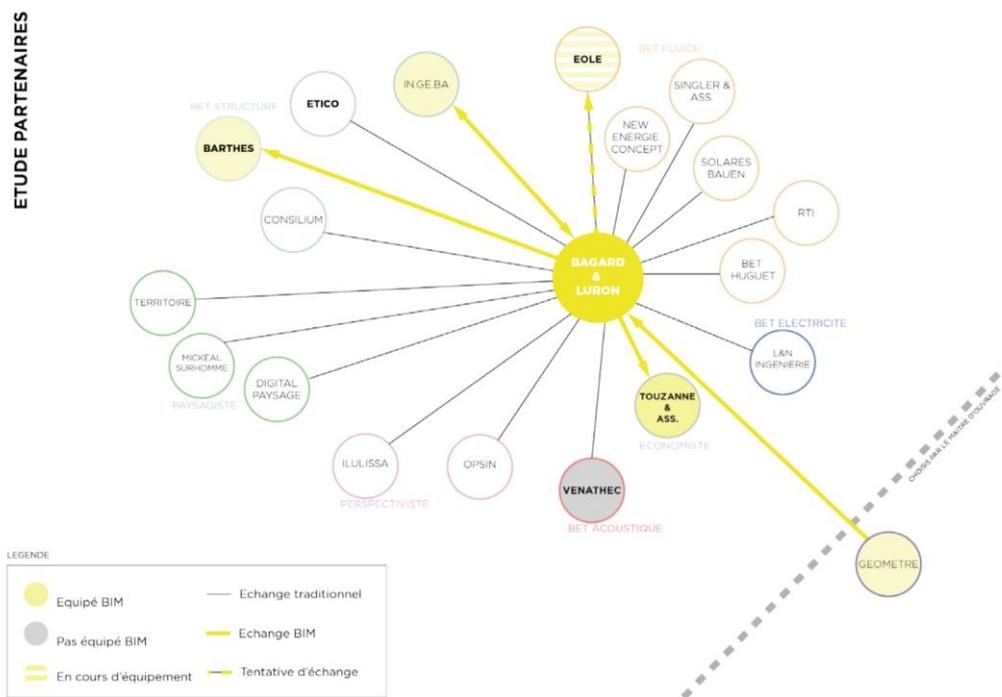


Figure 115. Diagramme représentant les partenaires habituels de l'agence ainsi que les possibilités d'échanges BIM avec eux.
Source : (Guillaumond 2018)

Cette analyse et ces divers documents doivent permettre d'identifier les risques liés à l'implémentation. Du point de vue **ressources humaines**, les pratiques BIM n'étaient dans l'ensemble pas particulièrement bien accueillies en dehors du *BIM champion* junior, du stagiaire et des dirigeants (qui restaient néanmoins assez critiques vis-à-vis d'ArchiCAD). De plus, une personne en congé maternité était absente au démarrage de l'expérimentation : nous savions que la transition pouvait être difficile pour elle à son retour, car des choses ont évolué pendant son absence sans qu'elle ait pu être intégrée au démarrage de ce processus. Nous savions qu'il serait possible de s'appuyer sur le *BIM champion* pour l'implémentation.

¹⁹⁹ La modélisation d'entreprise consiste à étudier et représenter les composantes d'une organisation en vue d'analyser d'intervenir sur son fonctionnement (Pourcel, Gourc 2005).

Les éléments de gabarit à mettre en place ont été priorisés puis positionnés sur le planning. La formation a été prévue sur l'utilisation du gabarit : elle intervient donc vers la fin du stage de l'étudiant.

8.2.5.4 Exécution

Au cours de la phase d'exécution, l'étudiant a réalisé le plan d'implémentation. L'étudiant a pu travailler en étroite collaboration avec le *BIM champion*. Une très grande partie de son travail au cours du stage a concerné la mise en place d'un gabarit simplifié, adapté aux pratiques habituelles de l'agence.

Au cours de cette phase de développement, l'étudiant a été encadré au quotidien par le *BIM champion* ainsi que la collaboratrice revenue de congé maternité. Cette étape s'est réalisée dans une bonne ambiance et la prise en compte des besoins et considérations de chacun a été effective. Les échanges avec les dirigeants ont été plus rares, et ces derniers ont pris de la distance au cours des temps de formation.

Les formations ont été réalisées par sessions d'une journée à la fois, espacées d'une ou deux semaines. Dès les premières phases de formation, la collaboratrice revenue de congé maternité a récupéré un projet commencé sur ArchiCAD. Les sessions de formation n'étaient alors pas encore terminées. Cette phase a été relativement difficile, car elle a subi la perte de productivité liée à l'appropriation d'un nouvel outil sur un projet qui présentait des dates de rendu assez proches.

8.2.5.5 Ancrage

L'étudiant a réalisé des « fiches mémo » à destination des architectes de l'agence pour expliquer le gabarit et son fonctionnement. Les fiches portent alors deux objectifs : l'explication du fonctionnement du logiciel, et la description des processus et gabarits de travail développés. On retrouve deux exemples ci-dessous (**Figure 117** et **Figure 118**).

GÉNÉRALITÉS :

FAVORIS
Dans plusieurs éléments de construction se trouve des favoris déjà paramétré par rapport aux attentes de l'agence.

Eléments récurrents et éléments de zoning nécessaire au moment de l'esquisse.

JEU DE CALQUES
Ce sont des combinaisons de cliques qui permettent de gérer l'affichage ou non de certain calque automatiquement.

JEU DE STYLOS
Permet la gestion des épaisseurs de traits et la couleur.
Ici, un jeu de travail qui est coloré en fonction du type d'élément, un jeu de rendu qui est paramétré pour correspondre aux souhait de l'agence et un jeu de 3D pour un affichage confortable en 3D.

COMBINAISONS D'OPTION
A chaque phase il faut choisir la combinaison d'option adaptée. Cela permet d'avoir un rendu graphique adapté à la phase de rendu. Plus on avance plus le niveau de détail devient important.

SUBSTITUTIONS GRAPHIQUE
Cela permet de changer le graphisme de certain éléments. Par exemple, si l'on choisit //B&L-POCHE-NOIR, tout les plans et coupes se retrouveront poché en noir. On est sur un changement uniquement graphique, cela ne change en aucun cas la structure même de l'élément.

Figure 117. Fiche mémo positionnant les différents éléments de gabarit développés (bibliothèque d'objets, matériaux, jeux de stylos, jeux de calques, etc.). Source : (Guillaumond 2018)

INFORMATION PROJET :

Ici il est possible de rentrer les informations liées à la fois au projet mais aussi à la maîtrise d'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre.

Informations Projet

Détails de Projet

Code de Projet

Mots clés

Remarques

Personnalisé 1

Personnalisé 2

Personnalisé Brevet

At. sur mer (255.00 voir Préférence projet)

ID du projet -

N° parcelle 1278

Numéro du projet 18.

Date d'édition DATE

Description de Projet Description Projet

Nom du projet NOM DU PROJET

Etat du projet PHASE

Détails de Site

Adresse complète du site Adresse VILLE CODE POSTAL FRANCE

Description de Site

ID du site

Nom de Site

Personnalisé Site

Périmètre brut du site

Superficie brute du site

Détails de Bâtiment

Nom de Bâtiment

Description de Bâtiment

ID du bâtiment

Personnalisé Bâtiment

Détails de Contact

Nom entier de Contact

ID de Contact

Rôle de Contact

Département de Contact

Nom entier de Dessinateur-projeteur Prénom NOM

Société de Contact BAGARD & LURON Architectes

Code de société de Contact

Adresse complète de Contact 45 rue du Faubourg des 3 Maisons Nancy 54000

Courriel de Contact contact@bagard-luron.com

Numéro de téléphone de Contact 03.83.39.07.55

Télécopie de Contact

Site Web de Contact

Personnalisé Contact

Détails Client

Nom entier de Client Prénom NOM

Société du client

Adresse complète du client Adresse client Ville Code postal

Courriel client @Mail

Numéro téléphone client Tél client

Télécopie client

Personnalisé client

Ajouter Effacer

Annuler OK

Fig.1

Figure 118. Fiche mémo relative au renseignement des informations du projet. Les informations encadrées en rouge se retrouvent alors automatiquement sur les mises en page pré-réglées. Source : (Guillaumond 2018)

L'étudiant a été embauché au sein de l'agence à la fin de son stage, assurant par la même occasion l'utilisation et la mise à jour des gabarits et processus de travail développés par ses soins.

8.2.5.6 Bilan

L'implémentation a été réussie et l'agence travaille maintenant principalement sur ArchiCAD. On note que le déploiement d'un outil comme ArchiCAD demande un travail très conséquent : l'étudiant a ici travaillé à l'agence à mi-temps pendant une période de six mois.

Cette expérimentation nous a également permis d'observer une situation difficile : l'arrivée d'un projet à réaliser sur ArchiCAD par une personne qui ne l'a jamais utilisé avant alors que la formation n'est pas terminée. Cet événement a été source de stress et de découragement, comme nous l'avions anticipé. Ce type d'événement fait partie des risques de l'implémentation qui sont difficiles à prévenir.

La mise en retrait des dirigeants au cours des formations et du développement du gabarit nous a interpellés. Elle peut s'expliquer par la conjoncture de plusieurs éléments. D'une part, les dirigeants ont toujours été assez réservés sur l'utilisation des outils comme ArchiCAD, même s'ils ont permis leur mise en place au sein de leur agence. Ils ont pu se sentir affectés par l'aisance du *BIM champion* et de l'étudiant sur cet outil qui est nouveau pour eux. D'autre part, ils suivent généralement leurs propres projets du début à la fin et de façon individuelle : pour eux, l'utilisation du même outil que les autres personnes de l'agence n'est peut-être pas vécue comme une nécessité absolue. Enfin, leur agence était sur le point de fêter ses dix ans d'existence : elle a progressivement travaillé sur des projets de plus en plus grands, et a embauché de plus en plus de collaborateurs. Si l'on suit l'évolution classique des agences sur l'ESÉAA, il est courant que les dirigeants prennent de la distance avec la production graphique de l'agence à ce stade.

8.2.6 Conclusion transversale des études de cas

La **phase de validation** varie beaucoup d'une agence à l'autre mais on retrouve certaines constantes. Il y a, comme nous l'avons montré au travers du questionnaire et des entretiens, souvent une évolution lente de l'agence dont les dirigeants ont pris conscience, combinée à un événement déclencheur, qui est souvent lié à une initiative d'un collaborateur.

Ces expérimentations ont montré que l'implémentation des pratiques BIM n'était pas linéaire. Les agences connaissent souvent une période au cours de laquelle une personne volontaire et compétente expérimente des échanges ou un outil, alors que le reste de l'agence travaille en niveau de maturité BIM 0. **Ces initiatives sont parfois simplement tolérées mais elles peuvent aussi être encouragées, même lorsque les dirigeants ne sont pas convaincus par les pratiques BIM.** C'est parfois le point de départ vers la généralisation des pratiques et une

politique d'implémentation portée par les dirigeants (cas n°4). Ce sont d'ailleurs également ces initiatives qui définissent l'outil implémenté. **La question du choix de l'outil se pose rarement, il s'impose souvent comme une évidence en fonction des compétences déjà présentes dans les agences.**

On note également que les motivations des agences que nous avons suivies sur la période 2015-2018 portent principalement sur l'amélioration des processus de travail internes, sans que les dirigeants soient particulièrement portés sur les nouvelles technologies. Ces agences n'ont pas le profil d'« *early adopters* », elles sont déjà dans une logique correspondant plutôt au début de la « première majorité » des adoptants de Rogers. Elles n'évoquaient pas ou très peu les pressions de maîtres d'ouvrage, alors que cette dimension était déjà plus présente dans le questionnaire envoyé en 2019.

L'identification d'acteurs clés et l'anticipation de risques est une étape importante pour la planification et le déroulement de l'implémentation. Dans une agence de petite taille, un diagnostic aussi formel et structuré que celui réalisé pour les cas n°3 et 4 n'est pas forcément nécessaire et difficile à réaliser, car il prend du temps. Il nous a cependant permis d'identifier certaines « myopies » des dirigeants : on nous a indiqué à plusieurs reprises que le turnover était très faible à l'agence alors que l'analyse du renouvellement des collaborateurs a parfois montré le contraire, sans que les dirigeants en aient conscience.

La planification doit intégrer la formation (qui est préférablement étalée dans le temps), et le rythme de travail de l'agence. Malgré la prise en compte de ces contraintes, le projet d'implémentation peut être perturbé par certains événements parfois difficiles à anticiper (départ d'un collaborateur).

La majeure partie de **l'exécution du plan d'implémentation** concerne le développement de gabarits et processus de travail, pour l'implémentation du niveau 1 comme du niveau 2. Cette opération est particulièrement chronophage et nécessite des compétences spécifiques ainsi qu'une bonne compréhension du fonctionnement de l'agence. **Dans les années à venir, on peut imaginer que l'amélioration de l'interopérabilité technique entre les logiciels rendra plus facile la transition vers le niveau de maturité 2, en revanche cela ne changera rien à la nécessité pour les agences de développer leurs propres fichiers types de travail pour implémenter le niveau 1.**

Lorsqu'une agence n'a pas parmi ses employés une personne compétente et capable de développer les processus et gabarits pour l'implémentation, il est difficile pour elle de réaliser une transition. La situation expérimentale qui implique un stagiaire produit une situation difficilement reproductible hors expérimentation. Les agences peuvent embaucher un

architecte ou spécialiste en CDD mais les profils d'architectes (polyvalents) et suffisamment compétents pour porter un projet d'implémentation sont rares. Ces profils se tournent d'ailleurs davantage vers des grandes agences, notamment à l'étranger où les salaires sont plus élevés et où leurs compétences sont plus facilement valorisables. À titre d'exemple, une importante proportion des anciens étudiants du master AME travaillent dans des agences au Luxembourg en tant que spécialiste BIM. Nous avons également observé au sein du master AME une augmentation de stages liés à l'implémentation de pratiques BIM au cours de la période 2015-2020. Les agences qui implémentent des pratiques BIM sont de plus en plus nombreuses et s'appuient de plus en plus sur les jeunes diplômés pour leur transition.

Les **différentes configurations de stage testées** nous ont permis d'étudier l'impact de la place de la personne en charge du développement des gabarits et processus. Lorsqu'elle est intégrée à l'agence, elle est souvent sollicitée pour participer à la production courante. Cela peut être un avantage lorsque la personne est nouvelle dans l'entreprise, car cela lui permet de pratiquer les processus de travail. Mais lorsqu'il s'agit d'un architecte qui connaît ces processus et qui a un rôle d'architecte, alors il est généralement difficile pour lui de dégager du temps à consacrer à l'implémentation. Lorsqu'il est externe à l'agence, il lui est parfois difficile de bien comprendre le fonctionnement interne. La combinaison de deux personnes interne-externe fonctionne bien également et permet de transférer de la compétence au sein de l'agence.

L'ancrage des pratiques après l'exécution du plan d'implémentation passe souvent par la rédaction de fiches-mémo, et le recrutement de la personne en charge. Le cas n°2 a démontré que lorsque les pratiques restent maîtrisées par une seule personne, elles ne s'ancrent pas dans les pratiques de l'agence. C'est un apprentissage opérationnel maîtrisé par une personne qui ne franchit pas la barrière de l'apprentissage organisationnel partagé au sein de l'organisation.

Ces différents cas d'étude nous ont permis d'identifier des situations particulières et les réponses à adapter en fonction d'elles. **Les stratégies à mettre en place pour implémenter des pratiques BIM au sein d'une agence dépendent principalement de sa taille, des types de projets qu'elle réalise ainsi que du niveau de maturité qu'elle souhaite implémenter.**

La durée des expérimentations a cependant été trop courte pour mettre en œuvre des indicateurs ou pour réaliser une évaluation mesurable des impacts de l'implémentation comme nous l'avions identifié dans les facteurs d'implémentation.

→ Ces différentes expérimentations nous ont permis de **décliner la proposition de méthode dans différentes situations** (notamment l'implémentation de différents niveaux de maturité), de **développer des outils** qui peuvent servir d'appui au cours de la transition

(modélisation d'entreprise par exemple), et **d'observer en situation les réactions et interactions** au sein des agences au cours de l'implémentation de pratiques BIM.

- ➔ Ces différentes expérimentations nous donnent des clés pour proposer des lignes directrices pour conduire l'implémentation de pratiques BIM dans les agences.

Une feuille de route pour l'implémentation des pratiques BIM dans les agences

« Il existe deux manières d'améliorer l'efficacité de l'implémentation d'une technologie : la première est d'identifier les variables qui impactent l'implémentation et la seconde est de développer des outils et procédures pour la faciliter » (Ginzberg 1981). Dans ce chapitre, nous nous appuyons sur l'ensemble des connaissances rassemblées dans ce travail de recherche (état de l'art, enquête par entretiens, enquête par questionnaire, recherche-action) pour proposer un ensemble de recommandations à destination des agences d'architecture qui implémentent des pratiques BIM. Ces recommandations sont organisées sous la forme d'une feuille de route. Celle-ci a fait l'objet du développement d'un prototype d'application, destiné à la valoriser de façon ludique auprès des agences.

9.1 Positionnement de la proposition

Dans cette partie, nous positionnons la proposition de feuille de route en nous appuyons sur les observations précédemment réalisées. Nous précisons également le public visé par cette feuille de route.

9.1.1 Un accompagnement qui concerne l'implémentation dans ses dimensions managériale et stratégique

Les observations réalisées au cours des entretiens et du questionnaire permettent de constituer un cahier des charges pour la proposition de feuille de route.

9.1.1.1 Les difficultés rencontrées pendant l'implémentation

Si dans de nombreux cas l'implémentation du BIM se passe bien, nous avons également relevé de nombreuses situations délicates qui mènent à son abandon. Nous avons également montré que de nombreuses agences ne savaient pas nécessairement comment **préparer l'implémentation** (par où commencer ? où trouver des ressources ?), ou comment **l'accompagner** (quelles stratégies mettre en œuvre ?). Les agences ont également parfois des difficultés à envisager et anticiper les **conséquences de l'implémentation** (baisse de productivité, difficultés économiques).

9.1.1.2 L'avis des architectes au sujet d'un éventuel guide d'aide à l'implémentation

À la fin du questionnaire, nous avons posé une question ouverte aux répondants pour leur demander s'ils pensaient qu'un guide pourrait être utile pour implémenter des pratiques BIM.

La plupart des répondants indiquent que oui, cela est indispensable²⁰¹. Il faut cependant qu'il soit **adapté aux petites agences**²⁰², **ne doit pas être proposé par un éditeur de logiciel**²⁰³ **ni être trop long** ou trop complexe²⁰⁴. Certains répondants évoquent une « **check-list** » de **risques à anticiper** basée sur une **démarche de conduite du changement**.

Les répondants ont également soulevé plusieurs difficultés liées à une proposition support d'aide à l'implémentation : un guide doit être adressé uniquement aux agences qui souhaitent mettre en

²⁰¹ Voir Annexe 16, Réponses à la question libre "pensez-vous qu'un guide pour aider les agences à mettre en place des pratiques BIM soit utile ?, p.420

²⁰² « Oui, il faudrait un guide mais il doit être adapté aux petites agences car concernant le BIM tout est centré sur les grandes agences », note un architecte. Voir Annexe 16, Réponses à la question libre "pensez-vous qu'un guide pour aider les agences à mettre en place des pratiques BIM soit utile ?, p.420

²⁰³ « Peut-être, si ce dernier est réalisé par des confrères et non financé par un organisme pro BIM ou éditeur de logiciel. Les lobbys du BIM sont lourds et agaçants », *Ibid.*

²⁰⁴ « Oui si pas trop long à lire et pas trop complexe à comprendre. Il faudrait pouvoir expliquer comment mettre en place progressivement le BIM car en une seule fois c'est trop lourd pour les agences moyennes et petites », *Ibid.*

œuvre des pratiques BIM, il **ne doit pas être destiné à convaincre**²⁰⁵, il **ne doit pas non plus être trop rigide**, car toutes les agences ont un fonctionnement différent²⁰⁶. Enfin, plusieurs architectes ont indiqué que la **documentation concernant la mise en œuvre du BIM était déjà trop abondante** et qu'il était déjà difficile de s'y retrouver²⁰⁷.

- La proposition doit donc permettre aux agences de préparer l'implémentation, la réaliser et anticiper ses conséquences.
- Elle doit être synthétique, ne pas être trop rigide pour concerner tous types d'agences, et ne doit pas alourdir la littérature déjà abondante sur le BIM.

9.1.1.3 Les guides existants et leurs lacunes

Il faut distinguer le moment particulier où une organisation **déploie et met en place** des processus BIM du moment où elle les **exploite**. Le nombre de guides à destination des architectes a considérablement augmenté en France, notamment depuis 2016. À titre d'exemple, la collection Blanche BTP de l'éditeur Eyrolles (Eyrolles 2021)²⁰⁸ compte de nombreux ouvrages sur différents aspects du BIM. Ces guides concernent cependant principalement **l'exploitation du BIM**, et non son **déploiement**.

Depuis 2019, le CNOA propose un portail dédié au BIM (CNOA 2018d)²⁰⁹ qui centralise des notes, guides, manuels et brochures rédigés par le CNOA ou d'autres. Certains documents permettent de **s'informer de façon générale sur le BIM** : « le B.A.-BA du BIM », « le BIM : un atout pour l'architecture », « qu'est-ce que le BIM ? ». D'autres sont plus **orientés vers la décision d'adopter des pratiques BIM et la préparation de l'implémentation** : « Le BIM, combien ça coûte ? », « les outils informatiques pour concevoir en BIM », « choisir la bonne formation ». Certaines ressources sont utiles à **l'exécution de processus BIM** avec par exemple une proposition de trame de convention BIM ou des contrats de missions BIM. BuildingSMART France propose également des fiches d'aide (buildingSMART France 2019)²¹⁰ : celles-ci se concentrent principalement sur des problématiques techniques.

²⁰⁵ « Tous les projets ne sont pas voués à être faits en BIM et toutes les agences ne sont pas destinées à travailler en BIM. Alors un guide pourrait être intéressant mais uniquement pour les agences désireuses d'évoluer ».

²⁰⁶ « Un guide semble difficile à mettre en place tant les fonctionnements sont différents d'une agence à l'autre » ; « si un tel guide existait, il pourrait donner l'impression d'une contrainte en imposant une marche à suivre » ; « il n'y a pas de recette miracle ».

²⁰⁷ « Le problème du BIM est plutôt l'excès et l'abondance de littérature » ; « de nombreux documents sont déjà disponibles à ce sujet ».

²⁰⁸ <https://www.eyrolles.com/BTP/Collection/3163/blanche-btp/>

²⁰⁹ <https://www.architectes.org/le-bim>

²¹⁰ <https://www.buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/memos-pratiques-BIM/>

Un manuel intitulé « premiers pas en BIM » à vocation pédagogique détaille des stratégies pour mettre en place son premier projet BIM (Maestri 2017). La majeure partie de l'ouvrage concerne cependant la compréhension des concepts de base du BIM relatifs aux niveaux de maturité, à la modélisation BIM, aux rôles, à la sémantisation de la maquette, aux protocoles d'échanges, etc. Ces éléments sont fondamentaux pour le développement de pratiques BIM, mais la dimension managériale et conduite du changement reste malgré tout effacée.

L'ensemble de ces ressources apportent des clés de compréhension indispensables et peuvent être un soutien technique précieux pour les agences. Mais cette littérature n'évoque pas (ou très peu) les **problématiques managériales et stratégiques liées à l'implémentation du BIM**.

- **La littérature existante permet d'apporter des clés de compréhension ou un soutien technique.** Elle est conséquente mais aborde peu les problématiques managériales et stratégiques liées à l'implémentation du BIM.
- **La proposition peut donc s'appuyer sur cette littérature** en orientant vers des guides existants dès que nécessaire. De cette manière, la proposition ne surcharge pas la littérature existante, mais peut au contraire lui donner une forme de cohérence tout en complétant une partie de ses lacunes.

9.1.1.4 *L'accompagnement de l'implémentation positionné sur le processus d'adoption*

Le processus d'adoption du BIM correspond aux différentes étapes par lesquelles passent les entreprises lorsqu'elles adoptent des pratiques BIM (de niveau 1 et/ou 2). Il couvre toutes les phases de l'adoption du BIM : de sa découverte à son intégration dans les pratiques de l'agence, en passant par son implémentation ²¹¹.

L'enquête que nous avons réalisée nous a montré que l'implémentation du BIM était une phase délicate pour de nombreuses agences. C'est cette phase que la proposition aborde. **L'implémentation** correspond à l'ensemble des activités qui sont entreprises pour déployer et pérenniser les outils, processus et méthodes de travail BIM au sein de l'agence : c'est un **projet managérial et stratégique de changement organisationnel**.

L'implémentation est impactée par les phases du processus d'adoption qui l'entourent : la validation (qui implique les motivations et objectifs de l'implémentation) et la phase de confirmation (qui est la continuité de l'implémentation) (voir **Figure 119**).

²¹¹ Voir Chapitre 4, « Un Modèle Unifié du Processus d'Adoption du BIM », p.107

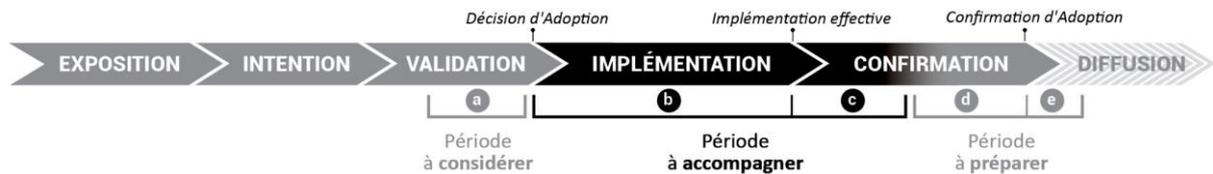


Figure 119. Processus d'adoption : les périodes à considérer, accompagner et préparer au cours de l'implémentation

Au cours de la phase de validation, et pour prendre sa décision, le dirigeant se projette dans l'implémentation : il évalue la faisabilité de l'implémentation et clarifie ses objectifs (a, **Figure 119**). L'objet de notre proposition n'est pas d'influencer la décision des adoptants : au cours de cette période, ils s'appuient sur la documentation déjà abondante qui leur est disponible. Cependant, la faisabilité et les objectifs définis au cours de cette période sont à prendre en compte au cours de l'implémentation et dans la proposition que nous allons faire.

Après que le dirigeant ait décidé d'engager son agence dans l'implémentation, l'agence entre dans l'implémentation (b, **Figure 119**), puis dans la confirmation de l'adoption (c, **Figure 119**). Ce sont les phases critiques du processus d'adoption que nous proposons d'accompagner. Cette phase de changement peut être assez radicale : l'état de l'agence après l'implémentation n'est pas toujours stable. Le changement opéré n'est parfois pas pérenne et un retour en arrière est possible. L'ancrage des pratiques dans le temps doit être anticipé dans la proposition (d, **Figure 119**). Enfin, après l'implémentation et la phase de confirmation, l'agence retrouve un rythme moins soutenu et les nouvelles pratiques sont normalement ancrées dans les pratiques courantes de l'agence. À ce stade, il est important d'enclencher le processus d'amélioration continue qui est nécessaire à l'agence pour perdurer (e, **Figure 119**).

→ La proposition doit donc **considérer la fin de la phase de validation, accompagner l'implémentation avec le début de la confirmation, et préparer l'ancrage et l'amélioration continue.**

9.1.2 Public ciblé par la proposition

Nous précisons ici les agences et les personnes au sein de ces agences qui sont concernées par la proposition.

9.1.2.1 Quelles agences sont concernées par la proposition ?

Toute agence qui souhaite mettre en place des pratiques BIM (de niveau 1 ou 2) quelles que soient ses pratiques numériques, et, quelle que soit sa taille. La proposition est plutôt centrée sur la phase de changement radical qui est difficile à appréhender par les agences.

9.1.2.2 *La direction de l'agence : un acteur incontournable de la transition*

Il arrive que le changement soit initié par les collaborateurs : on qualifie cette approche de « bottom-up », car elle émane du niveau opérationnel (Lupton 1991; Smeds, Haho, Alvesalo 2003). L'investissement du dirigeant dans le projet de transition est variable et dépend de sa sensibilité à l'innovation, de son caractère, de son expérience et de ses compétences. Son implication va de la simple réponse aux propositions des collaborateurs à l'organisation et la mise en œuvre complète de l'ensemble du projet de transition (Nam, Tatum 1997).

Mais **la transition ne peut pas être portée uniquement par les collaborateurs**. La direction joue un rôle important dans cette transition pour que des pratiques puissent être ancrées durablement dans l'organisation et de façon homogène. Elle seule peut investir dans un parc informatique, logiciel ou encore dans le recrutement (De Boissieu 2020).

La transition ne peut pas non plus reposer uniquement sur le dirigeant : elle doit pouvoir être appropriée par les collaborateurs, sans quoi aucun changement ne sera possible (Bernoux 2015). Lorsque la décision d'implémenter des pratiques BIM dans l'agence est prise par la direction, le format que prend le changement dépend alors à la fois du profil du dirigeant et de celui de ses collaborateurs. Les changements peuvent être de plusieurs natures : plutôt imposés et prescrits ou proposés et coconstruits (Autissier et al. 2014 ; Hargrave, Van de Ven 2006). Un changement coconstruit sera plus facilement accepté au sein de l'organisation, causera moins de stress aux collaborateurs et aura donc beaucoup plus de chances de perdurer.

Il est donc important pour le dirigeant d'identifier les profils au sein (et hors) de son organisation sur lesquels il peut s'appuyer pour la mise en œuvre du changement et l'implémentation de pratiques BIM. La méthode ici proposée s'adresse également à eux.

- ➔ La direction de l'agence est un acteur incontournable de la transition, que ce soit par son caractère décisionnel ou par les valeurs qu'elle transmet aux autres membres de l'organisation. La présente proposition s'adresse donc en premier lieu à elle.
- ➔ La proposition s'adresse également aux personnes sur lesquelles elle s'appuie pour préparer, mettre en œuvre et pérenniser le projet de transition, car sans elles le changement au sein de l'organisation serait impossible.

9.1.3 Une feuille de route

Il existe de nombreux types de documents et contenus qui ont vocation à faciliter la diffusion et l'adoption du BIM : les feuilles de route, les cadres, plans d'exécution, protocoles, procédures, bonnes pratiques, etc.

La taxonomie du contenu de la connaissance BIM (*BIM Knowledge Content Taxonomy*) (Kassem, Succar, Dawood 2015) en propose trois catégories : les **guides** qui sont descriptifs et optionnels, les **protocoles** qui sont prescriptifs et optionnels et les **mandats** qui sont prescriptifs et obligatoires. Les auteurs précisent par ailleurs que « de nombreuses publications suggèrent des feuilles de route pour une adoption à l'échelle du secteur, mais rares sont celles qui fournissent des **étapes de mise en œuvre ou des protocoles détaillés à suivre par les praticiens du secteur.** »²¹² (Kassem, Succar, Dawood 2015).

Nous nous inscrivons dans la catégorie des « protocoles » définie par (Kassem, Succar, Dawood 2015), puisque nous proposerons des recommandations qui sont optionnelles et destinées à des praticiens. La proposition doit permettre aux entreprises d'intégrer leur propre contexte. Notre proposition prendra donc la forme d'une **feuille de route** pour accompagner les architectes dans l'élaboration et la mise en œuvre de leur **plan d'implémentation**.

Un **plan** est un « document qui décrit les activités à réaliser, les ressources à utiliser et les étapes à atteindre dans un temps défini » (Kassem, Succar, Dawood 2015). Le **plan d'implémentation** diffère du **plan d'exécution BIM** : le plan d'exécution décrit les activités relatives à un projet de construction tandis que le **plan d'implémentation décrit les activités relatives au projet d'implémentation** (activités visant à déployer des pratiques BIM dans une entreprise).

²¹² Traduction depuis l'anglais réalisée par l'auteure.

9.2 Une feuille de route pour déployer des pratiques BIM

Nous nous appuyons sur l'état de l'art, les résultats des entretiens, du questionnaire, des expérimentations et sur la comparaison de méthodes d'implémentation pour proposer différents **points d'attention, concepts, outils** et **lignes directrices** qui ont vocation à accompagner les agences d'architecture dans l'implémentation de pratiques BIM. Ces éléments sont organisés dans une **feuille de route** permettant aux agences de mettre en place et de conduire leur **projet d'implémentation**.

9.2.1 Déroulement général de l'adoption et de l'implémentation

Cette partie constitue un rappel général sur le processus d'adoption et le déroulement de l'implémentation.

9.2.1.1 *Le processus d'adoption*

Le processus d'adoption n'a pas vocation à être prescriptif, il décrit simplement les phases par lesquelles passent tous les acteurs qui adoptent une innovation. Sa compréhension peut aider les adoptants à anticiper le changement et à se positionner. Expliciter ces étapes et permettre aux adoptants d'en prendre connaissance dès la phase de validation peut permettre de démystifier le changement à venir dans l'agence. Il peut servir également de support à l'équipe ou la personne qui pilote le projet d'implémentation BIM dans une agence pour communiquer avec les équipes.

Dès la phase de validation, l'unité décisionnelle qui envisage d'implémenter des pratiques BIM a besoin de ressources et de guidage, notamment pour étudier la faisabilité du projet d'implémentation. La feuille de route ici proposée compte donc la phase de validation, puis une phase de diagnostic, de planification, d'exécution et d'ancrage.

9.2.1.2 *Le projet d'implémentation*

L'implémentation de pratiques BIM, qu'elles soient de niveau 1 ou 2, est **un projet managérial et stratégique de changement organisationnel**. Comme tout projet, il correspond à un ensemble d'activités coordonnées qui visent à atteindre des objectifs fixés.

Le projet d'implémentation a un début et une fin, on peut identifier une personne ou une équipe en charge de son déroulement, on peut le planifier, gérer la qualité des résultats obtenus et les connaissances produites. La manière dont on l'organise et dont on l'encadre impacte son succès.

Enfin, comme toute opération qui peut apporter un bénéfice à l'organisation qui la porte, elle peut également présenter des inconvénients dont il convient d'être conscient avant de se lancer dans l'implémentation : il faut gérer les risques auxquels sont soumis le projet d'implémentation.

9.2.1.3 Réaction de l'agence au cours de l'adoption

Le déploiement de pratiques BIM de niveau 2 est généralement moins radical et impacte moins fortement les agences que le niveau 1. Nous avons pu observer à plusieurs reprises que le niveau 2 était initié de façon assez naturelle au sein des agences, généralement par une personne qui prend spontanément l'initiative de réaliser des tests avec des partenaires. C'est par ce biais qu'elles montent en compétence et que l'agence peut engager une transition généralisée de façon plus douce. La réponse à des projets BIM reste une décision du dirigeant, et elle impacte un projet à la fois. L'implémentation du niveau 1 est beaucoup plus radicale, car elle concerne l'ensemble de l'agence et n'est pas dépendante d'une opportunité sur un projet.

Au cours du processus d'adoption, l'agence développera ses connaissances BIM et va monter en compétence. Cependant, l'implémentation (en particulier pour les pratiques de niveau 1) va impacter sa productivité et risque de provoquer un important stress chez les collaborateurs. Toutes les agences ont une réaction différente au cours de l'adoption. Cette réaction dépend notamment de l'expérience et des compétences des collaborateurs. Mais nos expérimentations nous ont permis d'observer une forme de constance dans les différentes étapes traversées par les agences (voir **Figure 120**).

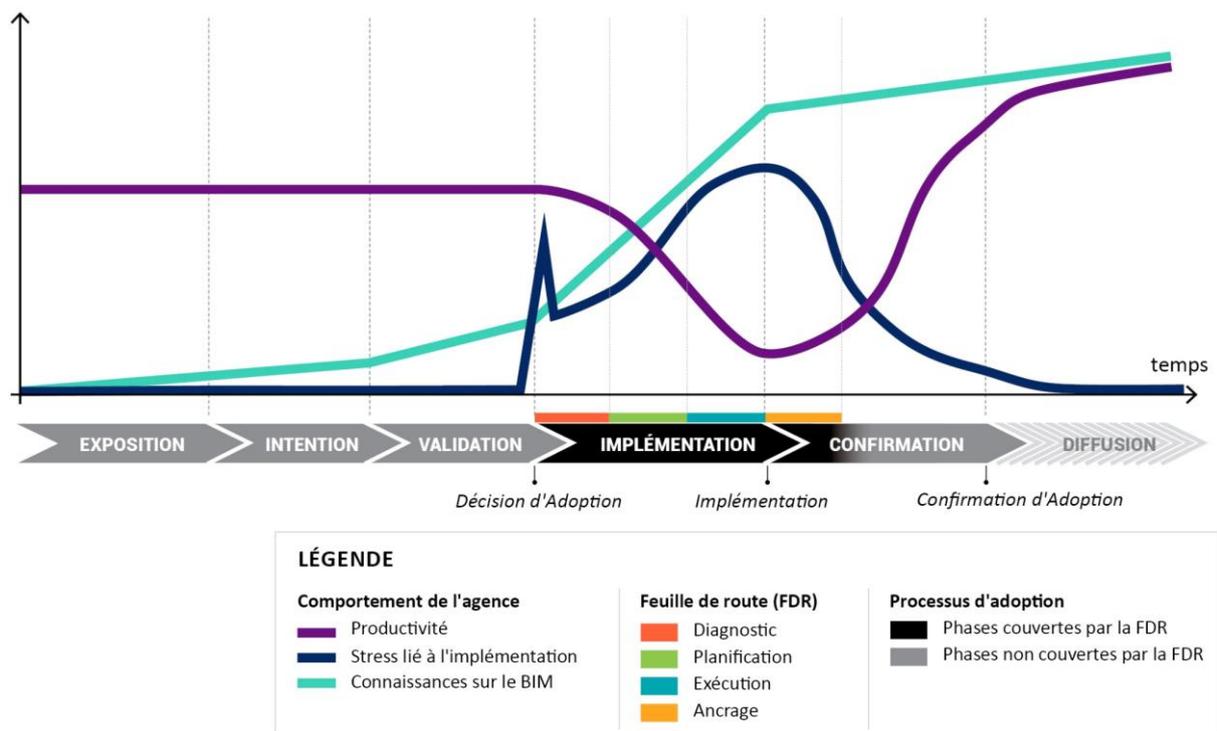


Figure 120. Réaction générale d'une agence d'architecture au cours de l'implémentation de pratiques BIM (en particulier pour le niveau 1).

Note : il ne s'agit pas ici de mesures prises, mais de la synthèse des observations que nous avons réalisées.

Après la phase de **validation**, le dirigeant annonce sa **décision d'implémenter des pratiques BIM** dans l'ensemble de l'agence. Cela provoque un **pic de stress** dans les équipes. Le **diagnostic**

de l'agence est lancé afin de pouvoir **planifier** l'implémentation. La **productivité**, impactée par le développement de gabarits et processus décline, les équipes réalisent que l'implémentation va réellement se produire et le niveau de stress augmente (**Figure 120**). Au cours de **l'exécution du plan d'implémentation**, les premiers essais BIM sont réalisés et les pratiques BIM sont déployées : le niveau de stress augmente et la productivité de l'agence décline à cause de la courbe d'apprentissage sur les nouvelles méthodes de travail. Si l'implémentation est réussie et que le changement **s'ancre** dans les pratiques de l'agence, le niveau de stress diminue et la productivité augmente pour dépasser celle qui était précédemment celle de l'agence.

La feuille de route proposée permet d'accompagner les agences dans la phase la plus difficile du processus d'adoption : l'implémentation. Elle donne des outils et lignes directrices pour conduire l'implémentation en tant que projet managérial et stratégique de changement organisationnel.

9.2.2 Validation

Au stade de la validation, le dirigeant n'a pas encore pris la décision d'implémenter des pratiques BIM. Il envisage l'implémentation et en vérifie les conditions de faisabilité. Avant d'engager des frais (embauche, achat de logiciel, etc.) et d'impliquer ses collaborateurs, il clarifie et identifie ses motivations, objectifs, la situation de l'agence et les ressources (personnes, documentation, matériel) à sa disposition pour ce projet.

9.2.2.1 Conjoncture et vision

Bien qu'il soit courant que l'introduction ou la proposition de pratiques BIM émane du niveau opérationnel, un projet de transition ne peut pas être porté uniquement par les collaborateurs, surtout si une généralisation et uniformisation des pratiques au sein de l'agence est envisagée.

La direction de l'agence est un acteur incontournable de la transition et son engagement dans le projet d'implémentation est indispensable. Elle est la seule à disposer de la légitimité suffisante pour porter un changement de grande ampleur et partagé par tous au sein de l'organisation. Son degré d'investissement dans la transition est cependant variable et elle peut s'appuyer sur une personne ou une équipe pour ce projet (Nam, Tatum 1997).

Il existe de multiples raisons qui peuvent amener un dirigeant à envisager de déployer et harmoniser des pratiques BIM au sein de son agence. Il s'agit généralement d'une conjoncture particulière qui implique **deux types d'éléments** : une **évolution progressive du contexte** (interne ou externe à l'agence), et/ou **la survenance d'un événement déclencheur**. Ces éléments créent une situation d'instabilité qui pousse l'unité décisionnelle à **repositionner la vision de l'agence. La vision est une image souhaitable de l'avenir qui permet de garder un cap ou donne une raison d'initier un changement** (Kotter 2015).

L'évolution de la **conjoncture** concerne bien sûr aujourd'hui le contexte externe de l'agence (la multiplication des exigences BIM), mais une évolution interne de celle-ci peut s'y ajouter (évolution progressive des types de projets réalisés, évolution de la taille de l'agence, etc.). En dehors de ces évolutions progressives, l'agence a peut-être connu un **événement déclencheur** qui amène le dirigeant à questionner les pratiques de son agence : l'arrivée d'un nouveau collaborateur qui propose de mettre en place des pratiques BIM, une opportunité BIM sur un projet, etc.

Avant d'envisager la transition de l'agence, il est important d'identifier les raisons qui sont à l'origine du questionnement du dirigeant. Les objectifs de l'implémentation doivent permettre d'y répondre.

La décision d'implémenter des pratiques BIM est très liée à la **vision** du dirigeant pour l'agence : comment sera-t-elle dans cinq ans ? Quels types de projets sont à développer ? Dans un contexte en évolution constante, il est difficile de répondre à ces questions. Néanmoins, si le dirigeant envisage de développer des pratiques BIM, c'est bien parce qu'il a une vision pour son agence et l'implémentation est un moyen de la réaliser. Clarifier et communiquer cette vision permettra d'amener les collaborateurs à agir dans la bonne direction, de coordonner les actions de personnes différentes et elle simplifie considérablement les décisions à prendre (Kotter 2015). Une vision efficace est imaginable, désirable, faisable, focalisée, souple et communicable (Kotter 2015).

- **Identifier les raisons qui ont enclenché la réflexion** sur l'implémentation du BIM (évolution conjoncturelle et/ou élément déclencheur) permet de construire un projet d'implémentation qui y répondra.
- **Clarifier et communiquer la vision** permettra de canaliser les efforts des collaborateurs dans la bonne direction et d'avoir un cap commun.

9.2.2.2 *Faisabilité*

À ce stade, l'évaluation de la faisabilité du projet d'implémentation reste très sommaire. Elle consiste principalement à envisager des objectifs à atteindre qui découlent de la vision, une échéance, ainsi que les ressources à allouer à l'implémentation et la capacité de l'agence à disposer de ces ressources.

L'évaluation de la faisabilité de l'implémentation de pratiques BIM dans une agence repose sur une **compréhension rationnelle de l'agence et du marché environnant** ainsi qu'une compréhension **des implications de l'implémentation**.

L'implémentation a vocation à fournir à l'agence des **avantages** (retours sur investissement, gains de productivité, accès à certains marchés, etc.) mais elle nécessite également un important **investissement**. Celui-ci se décline en deux principales composantes : **l'investissement financier** (coût du parc informatique, coût des logiciels, coût des formations) ²¹³, et **l'investissement temporel** (suivi de formations, temps de développement des nouvelles méthodes de travail, temps d'appropriation des outils et méthodes de travail).

L'investissement temporel est souvent sous-évalué, ce qui est la principale cause d'échec de l'implémentation dans les agences. Cet investissement est très dépendant des compétences présentes dans l'organisation : plus les collaborateurs ont déjà une compétence BIM et/ou une capacité à mener un projet d'implémentation, plus il sera facile d'opérer la transition.

Il faut savoir également que des pratiques BIM sont plus difficiles à installer dans les agences qui ont un fort roulement de personnel : les formations sont inefficaces et l'apprentissage organisationnel n'a pas l'occasion de s'enclencher.

- L'évaluation de la faisabilité de l'implémentation doit tenir compte des **investissements** (économiques et temporels) et des **retours sur investissement**, qui dépendent tous deux de l'état de l'agence²¹⁴.
- Elle doit également intégrer le niveau de renouvellement des collaborateurs : un turnover élevé rend difficile l'ancrage de nouvelles pratiques.

9.2.2.1 Les acteurs de la transition : sur qui s'appuyer pour mener la transition ?

La transition est-elle possible suite à une formation de 6 jours dans une agence dans laquelle personne ne maîtrise des pratiques BIM et sans accompagnement sur le long terme ? Peut-être, mais cela reste difficile. Dans toutes les agences que nous avons pu suivre, une personne ou une équipe « pilote du projet BIM » a mené le projet d'implémentation et a assuré l'ancrage des pratiques au sein de l'agence. Lorsque cet acteur n'était pas présent au sein de l'agence, ou l'a quittée après les phases de formation, les pratiques n'ont pas pu être ancrées et l'agence a abandonné l'implémentation.

²¹³ Le CNOA propose par ailleurs une fiche pour évaluer les coûts de la transition : <https://www.architectes.org/actualites/le-bim-combien-ca-coute> (CNOA 2018e). Il propose également un guide qui présente les différents dispositifs qui permettent de financer la formation des salariés et des libéraux (CNOA 2020).

²¹⁴ Sur ce point, nous avons remarqué lors d'expérimentations d'implémentation en agence que les dirigeants n'avaient pas toujours une vision rationnelle de certains aspects de leur agence. Ils peuvent sous-estimer le turnover ou surestimer la capacité de travail général. Il est possible pour cela de prendre conseil auprès d'un expert externe.

Quel est le rôle de cet acteur ? Quelles sont ses interactions avec la direction et les autres collaborateurs ? Comment savoir si une personne dans l'agence peut endosser ce rôle ? Comment faire si personne ne le peut au sein de l'agence ?

Le **rôle** de *BIM champion* (« chef de file BIM » en français) désigne **un individu ou une équipe** qui **mène le changement technologique** dans une organisation (Nam, Tatum 1997). Dans les grandes agences, ce sont généralement les BIM managers ou BIM coordinateurs qui endossent le rôle de *BIM champion* (De Boissieu 2020). Mais les petites agences n'ont pas la possibilité d'embaucher un spécialiste dédié à des tâches BIM, elles s'appuient généralement sur des architectes polyvalents, à condition qu'ils présentent certaines compétences nécessaires pour endosser le rôle de *BIM champion*.

Les individus qui peuvent prendre le rôle de *BIM champion* sont **capables de déconstruire les pratiques établies** et reconstruire des pratiques et processus pour l'organisation (Tatum 2009). Généralement férus de nouvelles technologies, ils ont également développé une vision critique de leur utilisation. Ils ont des compétences et un champ de vision vaste incluant la stratégie, structure, culture, et les processus de l'organisation.

Il existe **trois composantes ou types complémentaires de *BIM champion*** (Nam, Tatum 1997). Le ***technical champion*** effectue des tests techniques et développe les processus efficaces (recommandations techniques, choix de la technologie, développement et identification des « bonnes pratiques ») ; le ***business champion*** développe le cadre organisationnel propice à la mise en œuvre des processus techniques (recherche de formation, vérification du budget à bloquer pour la transition, etc.) ; et l'***executive champion*** dispose de l'autorité et la légitimité nécessaires pour faire appliquer ces processus (il a la confiance de la direction et apparaît comme légitime auprès des autres collaborateurs). Lorsqu'il n'y a pas un individu qui regroupe toutes ces compétences, il est possible de constituer une équipe de pilotage du projet d'implémentation qui présente les caractéristiques des « *BIM champions* ». On retrouve d'ailleurs ce type de répartition des rôles dans les méthodes de gestion de projet SCRUM (Bibik 2018).

Lorsqu'un seul et même individu compte les dimensions ***technical*** et ***business champion***, on parle de « *superuser* » ou « super-utilisateur » : c'est un « acteur expert des technologies numériques de la conception en général [qui] se définit par ses compétences, ses savoir-faire et savoir-être » (De Boissieu 2020). Dans les petites agences d'architecture qui implémentent des pratiques BIM, il est courant qu'un jeune architecte au profil de *superuser* (*business* et *technical champion*) travaille avec le dirigeant qui a le rôle d'*executive champion*. L'erreur courante dans cette configuration est de penser que le *superuser* se suffit à lui-même pour porter

l'implémentation : ce n'est généralement pas le cas. L'expérience et la légitimité lui font souvent défaut.

Les *superusers* sont souvent des jeunes architectes qui ont orienté leur profil professionnel sur la composante numérique. De manière générale, les jeunes sont souvent plus enclins à rechercher de la nouveauté et à déconstruire les pratiques existantes pour en développer de nouvelles, car leur position dans l'organisation n'est pas encore établie (Venkatesh, Thong, Xu 2012). C'est un moyen pour eux de s'épanouir au travail, de construire leur place et de gagner la confiance de leurs collègues et du dirigeant. Les plus anciens au contraire ont tendance à s'appuyer sur leur expérience et défendre les processus en place. Ils peuvent se sentir menacés par un *superuser*, en particulier s'ils sont eux-mêmes peu à l'aise avec les outils numériques. La présence de *superusers* et d'architectes expérimentés dans la même agence peut créer des tensions au sein de l'agence au moment de l'implémentation. Le manager et/ou du dirigeant doit pouvoir détecter ces situations afin de les apaiser. Il est nécessaire d'affirmer la position et valoriser l'expérience des plus anciens tout en laissant au *superuser* la marge de manœuvre nécessaire à la mise en place du changement. Il arrive également que le dirigeant se sente lui-même « menacé » par un *superuser* : il pourra alors être tenté de prendre de la distance avec la production de l'agence et avec la formation BIM.

Selon que le dirigeant soit à l'origine de l'impulsion de l'implémentation, qu'il s'appuie sur des collaborateurs proactifs qui ont initié la transition de l'agence, ou qu'il ait composé lui-même une équipe de pilotage du projet d'implémentation, il devra s'assurer que les différentes composantes du *BIM champion* soient présentes pour que l'implémentation soit faisable et stable.

Dans le cas où certaines composantes du BIM champion manqueraient au sein de l'agence, il peut envisager un **recrutement**. En dernier recours, il peut **faire appel à un externe** pour une mission ponctuelle. Mais une **compétence interne est préférable pour assurer la pérennité du changement** : la fin de la mission du consultant est un moment délicat et peut être source de perte de compétence et d'abandon de l'implémentation.

9.2.2.2 Décision d'adopter des pratiques BIM et démarrage de l'implémentation

Si les conditions favorables pour l'implémentation peuvent être réunies, le dirigeant peut lancer le projet d'implémentation. Il va pouvoir commencer à communiquer sa **vision**. C'est sur cette dernière qu'il faudra s'appuyer pour définir les **stratégies** mises en œuvre. Ces stratégies intègrent les risques de l'implémentation au niveau stratégique. Il pourra éventuellement constituer une équipe de pilotage de la transition qui sera chargée d'élaborer et d'exécuter le **plan** d'implémentation, en tenant compte de risques qui se situent plutôt au niveau opérationnel (voir **Figure 121**).

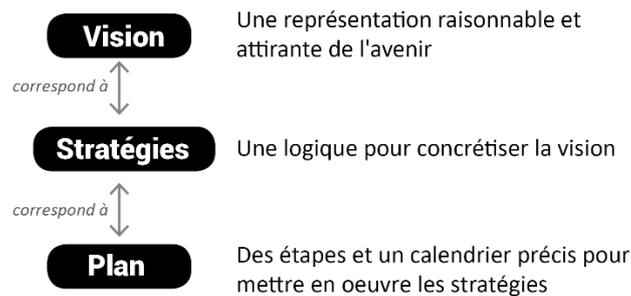


Figure 121. Relation entre la vision, les stratégies et le plan. Adapté de (Kotter 2015)

9.2.3 Diagnostic

L'étape de diagnostic consiste à **observer** et **analyser** les **pratiques** au sein de l'organisation en vue de proposer un **plan d'implémentation** qui prend en compte les caractéristiques de l'agence et qui anticipe les risques.

9.2.3.1 Cadre du diagnostic pré-implémentation

Le déroulement du diagnostic dépend principalement de la taille de l'agence concernée. Plus une agence est grande, plus son dirigeant est éloigné du niveau opérationnel et plus il est difficile d'avoir une connaissance explicite et efficace sans avoir recours à un audit. L'audit est également particulièrement recommandé lorsqu'une personne extérieure intervient (formateur, consultant) : ces professionnels ne peuvent accompagner l'agence sans en comprendre le fonctionnement.

Quelle que soit la taille de l'agence, il sera généralement nécessaire de préparer les nouveaux processus (gabarits de travail, fichiers type, procédure d'export, etc.) afin de limiter la perte de productivité sur les premiers projets réalisés avec les nouvelles méthodes de travail. Il est pour cela nécessaire de réaliser un diagnostic pour lister les éléments à développer.

Les objectifs associés au diagnostic sont variés. Il permet :

- D'identifier les possibilités d'amélioration des processus en place
- D'identifier les compétences à acquérir
- De comprendre les pratiques et usages de l'agence en vue de développer des gabarits de travail à mettre en place
- De comprendre les pratiques et usages de l'agence en vue de sélectionner un outil adapté
- D'identifier les risques de l'implémentation pour l'agence

9.2.3.2 Conduite d'un audit

Le tableau ci-dessous (Tableau 34) présente les composantes de l'organisation qui peuvent influencer l'implémentation. Il peut servir d'appui pour la conduite d'un audit, même si tous les points ne sont pas pertinents pour toutes les agences.

Tableau 34. Composantes de l'organisation et trame pour l'audit

<i>Composante de l'agence</i>	<i>Élément à prendre en compte</i>	<i>Question à se poser</i>
Culture	Stratégie, valeurs	La vision développée pour l'implémentation est-elle cohérente avec les valeurs de l'organisation ? La stratégie d'implémentation est-elle réalisable ?
	Efficacité	Sur quoi reposent l'efficacité et la productivité dans l'agence ?
	Innovation	Comment s'est faite l'amélioration de l'efficacité des processus par le passé ? Qui était en charge ?
	Projets	Quels sont les différents types de projets de l'agence ? Impliquent-ils une charte graphique ou des processus de travail différents ?
Interactions	Partenaires	L'agence a-t-elle des partenaires qui sont prêts à travailler en BIM ? quels sont-ils ?
	Distribution du pouvoir Collaboration	Qui dispose de l'autorité pour faire appliquer les nouveaux processus ? Comment est organisée la collaboration au sein de l'agence ? Quels sont les modes de communication ?
Systèmes	Processus	Quels sont les processus de travail et workflow courants au sein de l'agence ? ces processus sont-ils efficaces ? peuvent-ils être adaptés au cours de l'implémentation ?
	Matériel	L'agence dispose-t-elle d'un serveur ? Quelles sont les configurations des postes de travail ? La configuration du serveur et des postes de travail est-elle suffisante pour l'implémentation ?
	Logiciels	Quels sont les logiciels utilisés au sein de l'agence ? Un logiciel BIM a-t-il déjà été mis en œuvre ? Quels sont les outils qui sont maîtrisés par les collaborateurs en dehors des outils de l'agence ?
Individus	Décideurs	Quel est l'investissement du dirigeant dans l'implémentation ? participe-t-il à la production graphique ? va-t-il être impacté par l'implémentation ?
	Individus	Quelles sont les compétences des collaborateurs ? Y a-t-il un <i>superuser</i> ou un groupe de personnes à intégrer à l'équipe de pilotage de l'implémentation ? Y a-t-il des collaborateurs susceptibles de mal réagir à l'implémentation ?

Il existe plusieurs méthodes pour acquérir des informations sur le fonctionnement de l'organisation : on peut réaliser des **entretiens**, réaliser une **analyse documentaire** (consulter les documents de travail de l'agence), avoir des **temps d'observation** et, dans le cas d'une grande entreprise, envisager un **questionnaire**.

Les entretiens sont les plus courants, ils sont une manière de commencer à échanger autour du sujet de l'implémentation et de prendre en compte les craintes et remarques des collaborateurs.

9.2.3.3 Mise en forme des résultats de l'audit et de l'analyse

La restitution et communication des conclusions de l'audit peuvent éventuellement prendre la forme de représentations graphiques. Il est alors possible de s'appuyer sur le domaine de la modélisation d'entreprise (Pourcel, Gourc 2005) qui consiste à étudier et représenter les composantes d'une organisation en vue de l'analyser et d'intervenir sur son fonctionnement (organigramme hiérarchique, processus internes, etc.).

Spécificités pour l'implémentation du niveau de maturité 1

Dans le cas du déploiement d'un outil BIM pour l'architecture, il est nécessaire d'identifier les éléments à mettre en place pour permettre le travail efficace dès les premiers projets. Les outils BIM nécessitent un paramétrage de lancement pour être adaptés aux besoins de l'agence.

L'abandon de l'implémentation est souvent causé par la perte de productivité ressentie au moment du lancement de l'outil sur un projet. Outre la courbe d'apprentissage importante sur les

outils BIM, la perte de toutes les habitudes de travail et des éléments qui permettaient d'assurer la productivité (mise en page paramétrée, bibliothèque de composants, etc.) peut avoir un effet désastreux sur la productivité et sur le premier projet travaillé en BIM. Cela peut complètement décourager les collaborateurs. Il faut donc paramétrer l'outil afin que la productivité puisse être retrouvée le plus rapidement possible.

Mais ce paramétrage ne peut consister uniquement à retrouver les outils et usages précédents dans le nouvel outil. Les méthodes de travail que l'agence va implémenter permettent d'explorer de nouvelles possibilités qu'il est important d'exploiter dès le début afin qu'elles puissent être ancrées. D'après les résultats de notre enquête, environ une agence sur 2 qui est au niveau de maturité 1 n'exploite pas les possibilités d'automatisation et de gain de temps proposées par les outils BIM. Souvent, cela est dû au défaut de paramétrage des outils au lancement et au manque de connaissances/compétences associées.

Au moment de la transition et du paramétrage du nouvel outil et de la définition des nouveaux processus de travail, certains usages seront **supprimés, modifiés**, ou éventuellement **identiques** (voir **Figure 122**). Les nouveaux outils et nouvelles méthodes de travail permettront d'introduire des **nouveaux usages**.

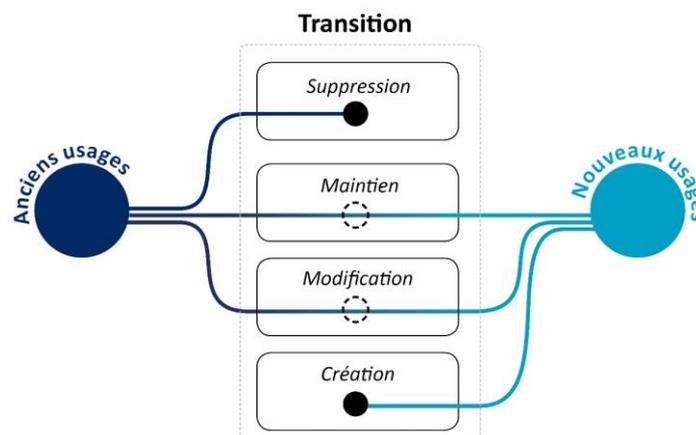


Figure 122. Transformation des usages liés à l'utilisation de nouveaux outils et nouvelles méthodes de travail

Il est tentant de conserver au maximum les usages précédents et de détourner les nouveaux outils pour pouvoir retrouver au plus vite ses habitudes. Cela produit des processus de travail généralement peu efficaces. Parmi les trois opérations que subissent les usages lorsque la transition de l'agence (suppression, modification, création : **Figure 122**), nous avons pu observer que ce sont les usages modifiés et supprimés qui posent le plus de problèmes aux adoptants. Ce phénomène s'intitule la « dépendance au sentier » (Liebowitz, Margolis 1995; Garud, Kumaraswamy, Karnøe 2010). Ainsi, l'introduction d'usages peu efficaces sur le nouvel outil dès

la transition va ancrer de mauvaises pratiques dès l'implémentation. Il est important d'ancrer les bons **usages** dans les nouvelles **pratiques** de travail de l'agence dès le changement **d'outil**.

Les paramétrages à réaliser pour permettre le bon usage des outils dépendent largement des pratiques de l'agence. Ils concernent généralement :

- **Les mises en page** : différents formats de mise en page (avec les cartouches automatisés, le logotype de l'agence, etc.) accompagnés de la procédure à suivre pour entrer les données du projet référencées dans ces documents (adresse du projet, nom du projet, etc.)
- **Les vues du projet** : préparation des plans, coupes, plans de masse, vues 3D avec réglages associés (échelle, niveau de détail en fonction de la phase de projet concernée, jeux de stylos, etc.).
- **La structure du fichier type** : les dessins préparamétrés, les dossiers de phase, etc. Il peut tout à fait y avoir plusieurs fichiers types différents, si l'agence a des projets très différents qui nécessitent des dispositions particulières.
- **La bibliothèque** : les objets de mobilier par exemple couramment utilisés par l'agence, les matériaux ou compositions de mur couramment utilisés par l'agence, etc.
- La **documentation du projet** : tableaux de surface automatisés, carnets de menuiseries, liste des cloisons, tout quantitatif nécessaire, ainsi que les bonnes pratiques de modélisation associées (nommage des objets, positionnement sur les calques).
- La **préparation des rendus 3D** : préparation des bibliothèques pour l'imagerie (interne) : préparation de matériaux pour le rendu, de processus de rendu, préparation des caméras, etc.
- Les **configurations et procédures d'export** vers d'autres outils.

Parmi ces éléments, tous ne sont pas prioritaires et certains seront développés au fil de l'eau. Il faut identifier ceux qui sont nécessaires au lancement d'un projet. Ils seront eux-mêmes améliorés progressivement. Les cartes heuristiques constituent un bon outil pour le référencement et le travail sur cette partie (voir **Figure 123**).

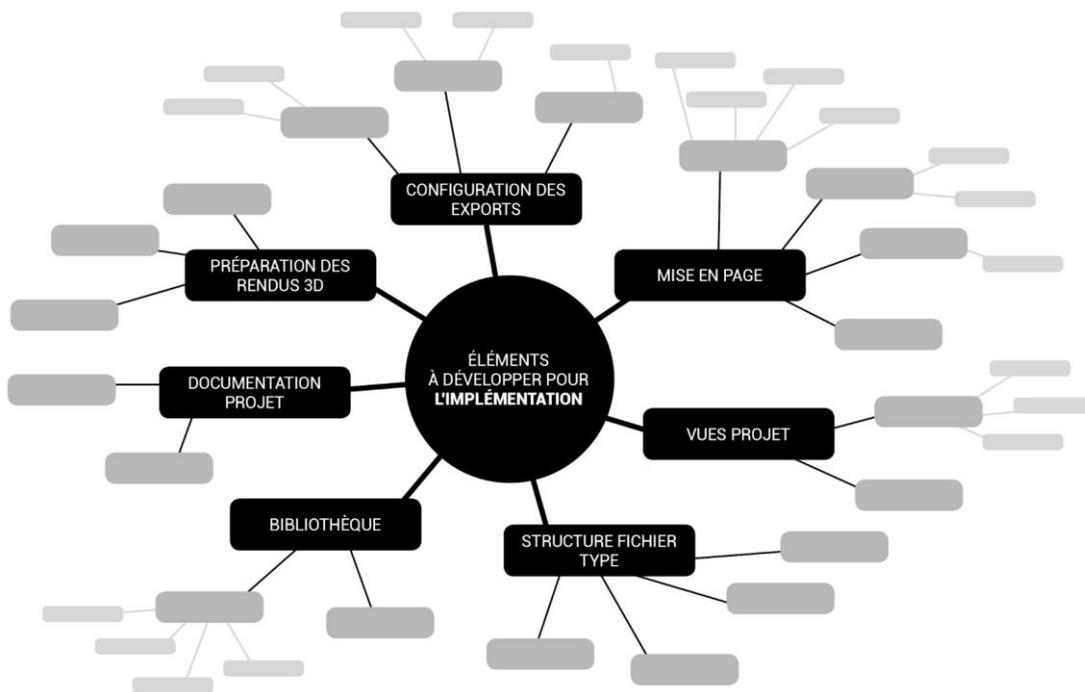


Figure 123. Exemple de mise en forme du référencement des éléments à développer (non exhaustif)

Cette notation est suffisamment flexible pour servir de support de travail et il existe aujourd'hui de nombreuses applications qui permettent de produire ce type de représentation très facilement et de façon collaborative²¹⁵.

Spécificités pour l'implémentation du niveau 2

L'agence qui implémente des pratiques BIM de niveau 2 peut être principalement dans deux situations :

- Répondre à des marchés en BIM.
- Développer des échanges avec ses partenaires habituels de façon spontanée et plus informelle.

Dans la **première situation**, le développement des éléments à mettre en place pour le déroulement d'un projet BIM sort de notre cadre de travail : il s'agit de l'échelle meso. Ce n'est alors généralement pas l'agence qui définira les usages BIM du projet, à moins qu'elle n'ait la mission de BIM management sur le projet.

Le maître d'ouvrage établit une charte BIM²¹⁶ générale (et non spécifique à un projet) dont découle son cahier des charges BIM (qui indique les objectifs BIM à atteindre pour un projet

²¹⁵ On pense notamment à draw.io, lucidchart, mindmeister et tous leurs équivalents.

²¹⁶ 3f construction propose par exemple une trame de charte BIM (3f construction 2021)

donné). Le BIM management établit alors la convention BIM²¹⁷ qui décrit les usages BIM du projet qui sont à développer. Le plan d'exécution BIM décrit alors la manière dont l'entreprise répond de façon opérationnelle à la convention BIM en exploitant les protocoles BIM. L'élaboration de ces éléments est par ailleurs très bien documentée.

Ce que nous entendons ici par la mise en place de pratiques BIM de niveau 2 concerne l'acquisition des compétences pour répondre à des marchés BIM. Pour cette phase de diagnostic, l'agence qui souhaite mettre en place des pratiques de niveau 2 afin de répondre à des marchés BIM pourra dans un premier temps consulter les différentes exigences BIM nécessaires à la réalisation d'un projet BIM en consultant les offres et concours en marchés publics. Cela lui permettra **d'identifier les compétences à développer**.

L'agence peut également définir des objectifs en termes d'**usages à maîtriser**. Elle peut s'appuyer sur le cadre de référence *BIM for Value* ou « B4V » proposé en 2019 (B4V 2019). Celui-ci intègre une liste de cas d'usage pour les phases de **programmation, conception, construction** et **exploitation/maintenance**. Il permet de décrire les exigences, moyens nécessaires et modes de preuves pour la mise en œuvre d'une démarche BIM. L'outil qui a été développé (sur un tableur, voir **Figure 124**) propose aux utilisateurs de définir la valeur attendue (1 sur **Figure 124**) cela affiche les bénéfices potentiels attendus que l'agence peut sélectionner (2 sur **Figure 124**) ; et propose une série d'usages à développer (3 sur **Figure 124**) .

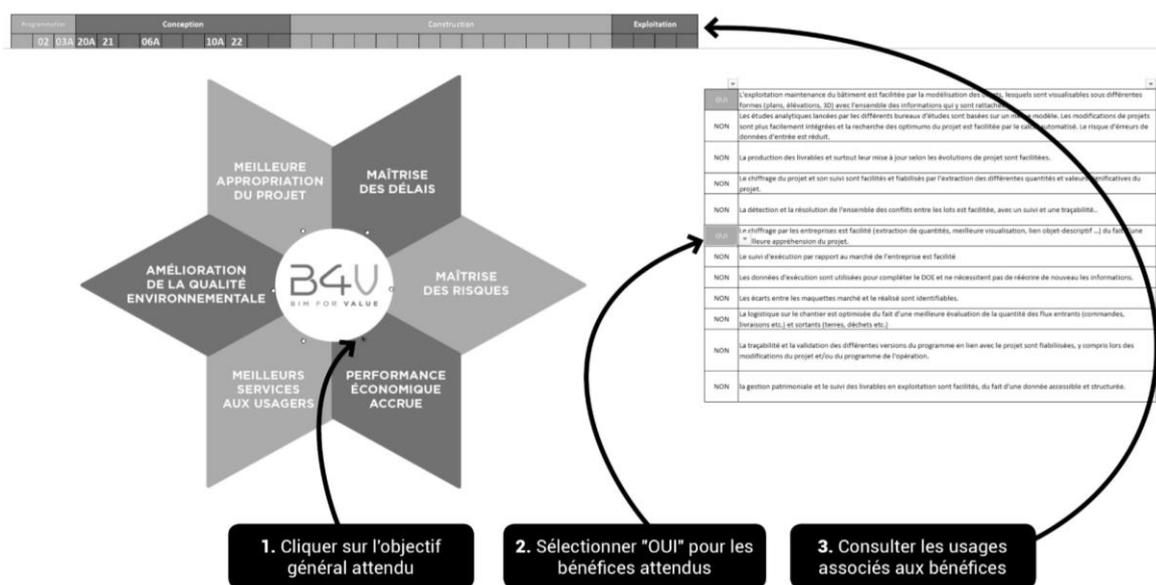


Figure 124. Visualisation de l'outil B4V (BIM for Value)

²¹⁷ Le CNOA propose par ailleurs une trame de convention BIM (CNOA 2018b)

Dans la **seconde situation**, qui est par ailleurs une bonne introduction aux missions BIM, c'est l'agence qui développe spontanément avec ses partenaires des processus BIM. L'enquête que nous avons réalisée a par ailleurs montré que les pratiques BIM de niveau 2 étaient peu répandues, en partie parce que les agences n'ont pas de partenaires ou bureaux d'étude prêts à travailler en BIM.

Dans ce cas, pour la phase de diagnostic, on peut commencer par identifier de façon méthodique les partenaires courants de l'agence, et voir s'il est possible de commencer à échanger avec eux (voir **Figure 125**).

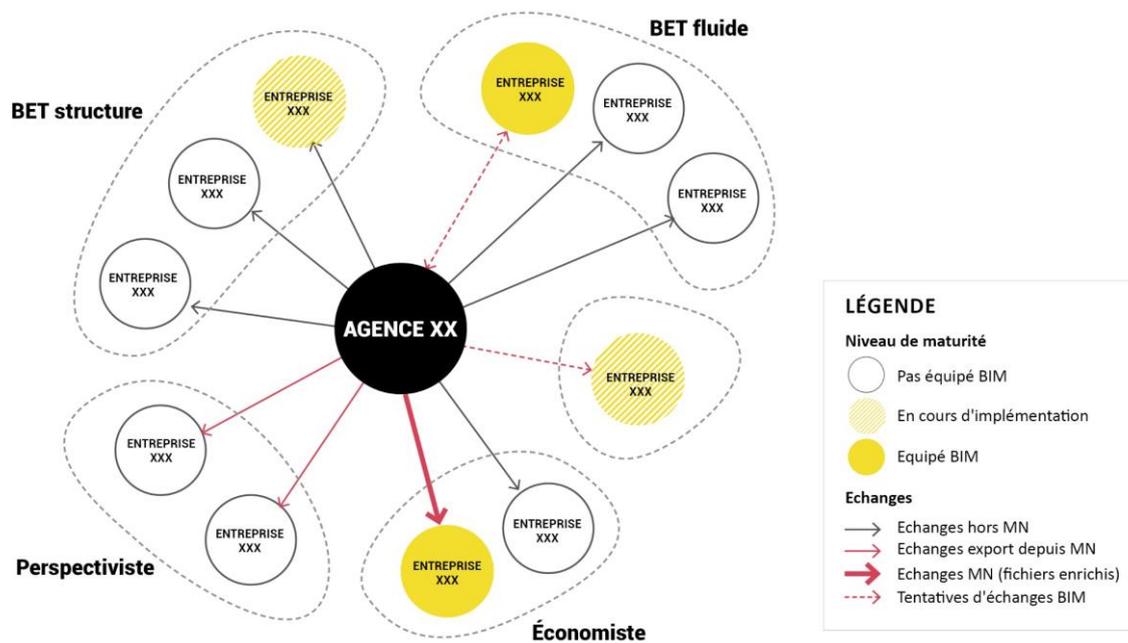


Figure 125. Proposition de représentation de la maturité et de l'état des échanges avec les partenaires habituels d'une agence

Si les échanges à développer sont relativement complexes, il est possible de dessiner les processus de travail et d'échange tels qu'ils existent (« *as is* ») afin de proposer par la suite des processus à mettre en place (« *to be* »). Les processus peuvent se noter grâce au BPMN (*Business Process Modeling Notation*: notation pour la modélisation des processus métier).

9.2.3.4 Identification et gestion des risques de l'implémentation

Toute opération qui produit des **effets positifs** est également susceptible de produire des **effets négatifs** (Al-Bahar, Crandall 1990). Il est donc nécessaire d'intégrer et d'anticiper les **risques que l'implémentation peut faire encourir à l'agence** ainsi que ceux qui peuvent peser sur le projet d'implémentation lui-même.

Le **risque** est défini comme « ce qui peut arriver au détriment ou en faveur d'un projet » (Al-Bahar, Crandall 1990). De manière plus générale, un risque correspond à « l'effet de l'incertitude sur les **objectifs** » (ISO 2018). Les objectifs généraux liés à l'**implémentation du BIM** sont de **déployer**

les outils et pratiques BIM souhaités, de façon pérenne, dans un délai donné, et en préservant l'intégrité de l'organisation.

De nombreuses études ont référencé les risques qui pouvaient affecter le bon **déroulement d'un projet BIM** (problèmes de collaboration, problèmes techniques notamment liés à l'interopérabilité, difficultés de mise en place de la convention BIM, etc.). Nous nous intéressons ici plutôt aux risques qui affectent le **projet d'implémentation**²¹⁸.

L'enquête que nous avons réalisée a permis de mettre en évidence des situations dans lesquelles ces objectifs n'ont pas pu être atteints. Le principal facteur d'échec est la mauvaise évaluation du temps lié à l'appropriation des outils et méthodes BIM (qui implique une chute de productivité importante) ainsi que les implications économiques de l'implémentation.

Nous nous appuyons ici sur la norme ISO 21000 : 2018 (ISO 2018) ainsi que sur les conclusions de notre enquête pour proposer une méthode d'analyse des risques spécifique aux agences d'architecture qui implémentent des pratiques BIM.

Les incertitudes à identifier peuvent être liées à différentes sources tangibles ou intangibles, à des événements, menaces, vulnérabilités ou capacités, changements dans le contexte interne ou externe, des limitations des connaissances ou à la fiabilité des informations, des facteurs temporels, aux biais et convictions personnelles ainsi qu'aux valeurs des actifs et ressources (ISO 2018). Un risque est généralement exprimé *via* quatre concepts (ISO 2018) : **les événements potentiels** (occurrence ou changement d'un ensemble de circonstances), **les conséquences des événements** (effet d'un événement qui affecte les objectifs), **la ou les sources de risque** (élément qui peut engendrer un risque), **la vraisemblance** (probabilité que le risque se produise).

L'état de l'art et l'enquête ont permis d'identifier des **événements** potentiels susceptibles d'avoir des **conséquences négatives** sur le **projet d'implémentation et l'agence (Tableau 35)**.

Tableau 35. Principaux risques du projet d'implémentation du BIM identifiés (non exhaustif)

Événement	Conséquences
Baisse de productivité après l'implémentation	Surmenage et découragement des équipes, turnover, abandon de l'implémentation
Apparition d'un pic d'activité inattendu pendant l'implémentation	Retour aux processus et outils précédents pour regagner la productivité, et abandon de l'implémentation
Inadéquation de la formation avec les besoins de l'agence	Difficultés de mise en œuvre des pratiques après la formation sur un projet, courbe d'apprentissage longue
Départ de personnel après l'implémentation	Instabilité des pratiques dans l'organisation, impossibilité d'ancrage des pratiques, abandon de l'implémentation

²¹⁸ De la même manière que dans l'étude des facteurs qui influencent l'implémentation du BIM nous n'avons pas étudié les facteurs qui influencent l'utilisation du BIM, mais ceux qui impactent son déploiement.

Démotivation des équipes	Résistance au changement, dégradation de la qualité de travail, départ de collaborateurs, abandon de l'implémentation
Refus du changement par une ou plusieurs personnes dans l'agence	Diffusion de la résistance au changement dans l'agence, impossibilité du changement
Inadéquation entre la culture de l'entreprise et le changement souhaité	Résistance au changement, impossibilité d'ancrage des pratiques
Problèmes de trésorerie liée au coût de l'implémentation	Abandon de l'implémentation
Désorganisation du travail	Baisse de productivité, baisse de motivation, retour aux pratiques précédentes
Difficultés techniques au cours de l'implémentation	Mauvaise expérience du BIM, non-conformité des livrables avec les exigences des maîtres d'ouvrage
Objectifs d'implémentation non réalistes	Découragement des collaborateurs, abandon de l'implémentation, dégradation de la qualité des livrables, mauvaise expérience du BIM par les collaborateurs, résistance au changement, départ de collaborateurs
Absence du sentiment d'urgence au sein de l'agence pour le changement	Allongement de la durée du changement, démotivation, impossibilité d'ancrage des pratiques
Non-conformité des livrables aux exigences de qualité interne	Perte de confiance dans la fiabilité processus BIM, découragement
Non-conformité des livrables aux exigences de qualité externe	Perte de crédibilité de l'agence

Une fois les risques du projet d'implémentation identifiés, on évalue la gravité de leurs conséquences (**impact**) et leur **probabilité** (voir **Figure 126**). On envisage alors en priorité des stratégies pour traiter ceux qui sont les plus probables qui ont les conséquences les plus néfastes (quadrant en haut à droite). On couvre également les risques qui se situent vers le centre de la figure.

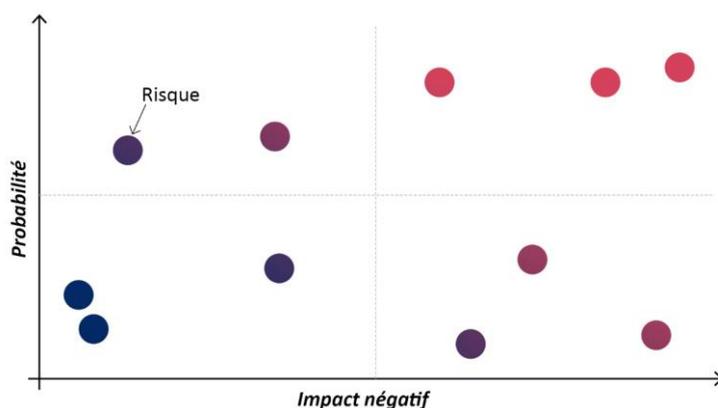


Figure 126. Matrice simplifiée de probabilités et d'impacts des risques. D'après (PMI 2017)

Ces stratégies sont à intégrer au moment de planification de l'implémentation ainsi que lors de son déroulement. Il existe plusieurs manières de traiter un risque : on peut l'éviter, le prévenir, le retenir, le transférer ou l'assurer (Al-Bahar, Crandall 1990). Dans le cas d'implémentation de pratiques BIM, les principales stratégies dont on dispose pour traiter les risques consisteront à tenter de les éviter, les prévenir et les retenir s'ils surviennent.

9.2.4 Planification : élaborer un calendrier de transition

Le calendrier de transition intègre principalement deux phases : la **préparation des processus** de travail, puis la **mise en pratique sur un projet**.

Sur le calendrier de transition, on pourra donc retrouver : le **développement des gabarits et processus de travail**, la **formation**, les **achats et déploiements** de matériel, le **projet pilote** ou projet démonstrateur ainsi que **la première mise en pratique** hors projet pilote. Son élaboration doit tenir compte de l'activité passée et à venir de l'agence. Cette phase est également l'occasion de commencer à communiquer sur la vision de la direction et à proposer des moments d'échange autour du projet d'implémentation. Plus la vision est claire, plus l'implémentation sera bien acceptée au sein de l'agence.

Seuls 10 % des agences qui ont mis en place des pratiques BIM de niveau 2 (et 4 % des agences qui ont déployé des pratiques de niveau 1) ont élaboré un calendrier de transition²¹⁹. Pourtant, la plupart des échecs d'implémentation sont dus à un manque d'anticipation.

9.2.4.1 Prioriser les éléments à développer (gabarits, processus)

Les éléments de gabarits ou processus à développer qui ont été identifiés précédemment (mise en page, fichier type, bibliothèques d'objets...) sont à positionner sur le planning. Cette période de développement peut être longue et nécessite des compétences particulières.

Tous les éléments ne seront pas développés dès le départ, il est important de les prioriser et de développer en premier lieu ceux qui seront utiles à la mise en route du projet pilote s'il y en a un.

9.2.4.1 Planifier la formation

Il est extrêmement courant que les agences mettent en œuvre des pratiques BIM sur des projets avant qu'une formation n'ait pu être réalisée, ou en même temps que le premier projet BIM ne commence²²⁰. Si la personne en charge du projet BIM est déjà formée sur les outils et processus, cela pose un problème limité mais expose l'agence à un risque. Si cette personne décide de partir alors que c'est elle qui détenait la connaissance et les compétences nécessaires au déroulement du projet, le déroulement du projet et l'ancrage du changement peuvent être compromis.

Commencer l'exploitation de pratiques BIM à l'agence avant que les équipes n'aient pu réaliser une formation expose les collaborateurs à une situation de stress. Cela augmente considérablement le risque d'erreurs et le temps de mise en place de gabarits de travail est alors

²¹⁹ Voir partie 7.5.2.1, « Stratégies mises en œuvre pour l'implémentation », p.242

²²⁰ 29 % des agences commencent à travailler sur des outils BIM avant d'avoir réalisé une formation, 27 % réalisent une formation pendant le premier projet BIM. Voir partie 7.5.2.2, « Un point sur la formation professionnelle », p.244

impossible à dégager. C'est dans cette situation que les mauvaises habitudes sont prises sur les outils. Toutes ces conditions, même si elles sont courantes, sont peu enviables, car elles exposent l'agence à des risques. La planification de la formation doit prendre en compte l'activité à venir de l'agence. Elle sera plus efficace si elle n'intervient pas au cours d'une période de forte activité.

Le contenu et la planification de la formation peuvent varier en fonction des rôles attribués aux personnes de l'agence : les personnes en charge de la transition peuvent être amenées à réaliser des formations plus complètes en amont de la formation classique. Cela leur permet de développer au mieux les processus de travail, les gabarits et le paramétrage des outils.

Si des gabarits et processus sont développés pour l'agence, il est possible d'échanger avec le formateur pour envisager de les intégrer à la formation. L'agence peut également envisager une formation interne (réalisée par les porteurs du projet d'implémentation) dédiée à l'utilisation du gabarit. Celle-ci est complémentaire à la formation générale. Intégrer les gabarits à la formation permet de diminuer le temps d'appropriation et de mise en route sur les premiers projets concernés.

La formation peut être échelonnée **en plusieurs sessions** d'une journée pour permettre l'assimilation des concepts entre chaque session. L'échelonnage permet également de positionner la formation plus facilement sur le planning, car l'agence n'est pas mobilisée entièrement pendant plusieurs jours. La mobilisation complète de l'agence sur plusieurs jours est d'ailleurs impossible, et la plupart du temps les architectes continuent à recevoir et passer des appels, envoyer des e-mails, voire se rendre sur des chantiers pendant les temps de formation, surtout si ceux-ci sont trop longs. La formation échelonnée permet de gagner en compétence plus efficacement, de façon plus ciblée, et plus confortable.

Peu d'agences organisent des **rappels de formation ou des approfondissements**. Cela est pourtant utile en cours de transition en particulier si la première formation et la première mise en pratique sont trop éloignées dans le temps.

Un tiers des agences réalisent entre 4 à 6 journées de formation au total lors de leur intégration de pratiques BIM ; 25 % réalisent entre 1 et 4 journées de formation²²¹. L'enquête que nous avons réalisée a montré que 6 journées de formation n'étaient pas suffisantes, surtout si la formation n'est pas ciblée sur les besoins de l'agence.

²²¹ Voir partie 7.5.2.2, « Un point sur la formation professionnelle », p.244

9.2.4.2 Choisir les outils de travail

Le CNOA propose un guide des « outils informatiques pour concevoir en BIM » (CNOA 2018c). Différents types de logiciels, standards, plateformes et bibliothèques d'objets y sont présentés. Ce type de référencement peut être utilisé par les architectes pour sélectionner leurs outils de travail.

Cependant un comparatif des outils de modélisation BIM est rarement réalisé par les agences pour l'implémentation de pratiques BIM de niveau 1. La plupart du temps, l'outil à implémenter est identifié comme une évidence, soit par l'introduction sauvage de l'outil par des collaborateurs, soit par infusion des agences aux alentours et de l'enseignement dans les écoles d'architecture les plus proches.

Dans l'ensemble, les outils BIM se valent même si certaines options proposées peuvent légèrement différer d'un outil à l'autre. Les outils Autodesk semblent être préférés pour leur très bonne interopérabilité en particulier en *closed BIM*, tandis qu'ArchiCAD par exemple est apprécié pour la flexibilité qu'il permet dans le dessin.

La répartition des outils BIM est très inégale en France : en région Île-de-France, la plupart des agences qui utilisent un outil BIM travaillent avec Revit. C'est ArchiCAD qui est préféré dans le reste de la France. Il est probable que les agences parisiennes soient plus influencées par le contexte international qui favorise généralement les outils Autodesk.

Comment sélectionner les outils adaptés à son agence ? Les besoins de l'agence et surtout les compétences et préférences des collaborateurs jouent un rôle important dans cette décision. Quel outil est déjà maîtrisé par les collaborateurs ? l'agence a-t-elle un besoin très spécifique auquel certains outils ne peuvent pas répondre ? Quel outil est le plus répandu auprès des confrères proches ? Ces différentes questions permettent d'orienter le choix des outils de travail.

9.2.4.3 Choisir les projets sur lesquels se lancer

Il est sécurisant pour l'agence de lancer quelques projets tests, dont les résultats sont surveillés de près, avant de généraliser des pratiques nouvelles.

Les projets démonstrateur permettent à la fois de développer les nouvelles méthodes dans un environnement sécurisé, et de montrer les résultats qui peuvent servir de référence au cours de l'implémentation. Il s'agit de projets de l'agence qui sont terminés et utilisés au cours de l'implémentation comme base de test pour l'élaboration des nouvelles méthodes de travail. Ils permettent une comparaison entre les précédentes pratiques et celles que l'on met en place notamment en termes de résultats (qualité graphique, qualité du fichier d'export, etc.). Le recours à un projet démonstrateur permet de vérifier la faisabilité des nouvelles méthodes dans un environnement sécurisé (une *sandbox* au sens d'environnement test). La réussite du projet

démonstrateur n'est pas un enjeu puisqu'il n'engage pas l'agence sur des résultats. Il sert également d'outil de démonstration et de communication envers le reste de l'agence. La documentation des projets démonstrateurs peut servir de base pour d'autres projets. Leur développement est néanmoins particulièrement chronophage, d'autant plus qu'il ne participe pas directement à la production de l'agence. Ce temps de développement est généralement particulièrement difficile à trouver pour une agence.

Un projet pilote est un projet réalisé en situation réelle sur lequel des pratiques sont expérimentées avant d'être généralisées au sein de l'agence. Contrairement aux projets démonstrateurs, le projet pilote constitue un enjeu important pour l'agence qui s'est par ailleurs engagée sur des objectifs. Au cours de ce projet, on teste et évalue des pratiques avant de les généraliser. Le projet pilote permet également aux personnes impliquées de gagner en compétence et d'en faire par la suite bénéficier le reste de l'agence (c'est un apprentissage par la pratique. voir Figure 104, p.263). Les projets pilotes constituent néanmoins un risque et nécessitent des ressources particulières pour qu'ils se passent bien et pour qu'on puisse en tirer les enseignements nécessaires. Entre 43 et 46 % des agences qui mettent en place des pratiques BIM ont recours à un projet pilote ²²².

Comment choisir le projet pilote et le projet démonstrateur ? Tous deux doivent dépendre des pratiques habituelles de l'agence. Si l'agence réalise différents types de projets qui impliquent des pratiques différentes (par exemple des projets d'aménagement intérieur ou des projets de locaux industriels), alors il sera peut-être nécessaire d'avoir un projet pilote ou un projet démonstrateur pour chacun de ces types. Ils doivent permettre de tester des pratiques courantes de l'agence (matériaux couramment utilisés, charte graphique, etc.) pour donner des résultats exploitables. Le projet pilote est préférablement de petite taille et de courte durée, car cela permettra à l'agence de voir rapidement les effets de la transition tout en limitant ses risques puisqu'il constitue un engagement de sa part.

L'avantage des projets pilotes est qu'ils créent un sentiment d'urgence qui est un très fort moteur du changement et généralement un facteur de succès de l'implémentation (Kotter 2015). Cependant, ce type de projet expose l'agence à des risques comme la non-conformité des livrables, ou une forte augmentation du stress des collaborateurs. Les projets démonstrateurs sont plus confortables : ils permettent de développer des pratiques dans un environnement sécurisées, mais ne créent pas ce sentiment d'urgence et nécessitent un temps de développement très important.

²²² Voir partie 7.5.2.1, « Stratégies mises en œuvre pour l'implémentation », p.242

De manière plus générale, le choix des projets sur lesquels l'agence déploie des pratiques BIM revient à poser la question : quel type de changement souhaite-t-on mettre en œuvre ? Quelle stratégie générale est adoptée ?

Si le **changement doit être rapide et généralisé**, alors l'agence peut opter pour un projet pilote puis une généralisation assez rapide et radicale des pratiques. Si le **changement doit être radical mais sa préparation peut être permise sur plusieurs mois pour limiter les risques** du déploiement, alors un projet démonstrateur est une option acceptable.

Si l'agence **n'envisage pas de généraliser les pratiques tout de suite** et que l'implémentation s'inscrit sur un temps long, alors le développement de plusieurs projets pilotes qui permettent à chaque fois d'améliorer les pratiques est une option envisageable. Cette dernière est néanmoins difficile à mettre en œuvre pour l'implémentation de pratiques de niveau 1, car elle suppose de conserver plusieurs outils et processus en même temps au sein de l'agence.

La phase de transition est particulièrement délicate. Très peu d'agences décident de passer leurs projets sur un nouvel outil ou sur une nouvelle méthode de travail sur un temps très court (et surtout pas les projets en cours). Les agences laissent généralement les projets en cours se terminer sur les précédentes méthodes de travail et commencent les nouveaux projets sur la nouvelle méthode. Cela a l'avantage d'étaler dans le temps la perte de productivité liée à l'implémentation. Et, même si cela éloigne dans le temps la formation et la première mise en pratique, cette option reste avantageuse.

9.2.4.4 Préparer des indicateurs

Le temps de la planification est également l'occasion de préparer des indicateurs afin d'évaluer l'impact (bon ou mauvais) de l'implémentation. Cette pratique est très peu répandue chez les agences : 1 % d'entre elles y ont recours au cours de l'implémentation²²³. Cependant, elle peut être mise en œuvre même dans les agences les plus petites pour surveiller l'impact (notamment économique) de la transition.

Un indicateur doit être **significatif** (donne-t-il une indication pertinente?), **mesurable**, et **accessible** (le temps nécessaire à sa mesure est-il acceptable?) (Coates et al. 2010). On pourra regarder par exemple si le temps passé sur la partie modélisation diminue au fil du temps, si le nombre d'erreurs reportées a diminué, etc. Les indicateurs doivent être élaborés au cas par cas en fonction des besoins des agences. (Barlsh, Sullivan 2012) proposent une série d'indicateurs pour mesurer l'impact de l'implémentation de pratiques BIM.

²²³ Voir partie 7.5.2.1, « Stratégies mises en œuvre pour l'implémentation », p.242

Les indicateurs mesurables sont parfois très difficiles à mettre en œuvre. Par exemple évaluer le temps de travail sur un projet peut rapidement devenir fastidieux. S'il n'est pas possible de mettre en œuvre un indicateur mesurable, il est important de prendre le temps après les premiers projets réalisés en BIM pour en faire un bilan collectif sur les plans opérationnel et stratégique. C'est aussi une manière de diffuser les connaissances acquises par les personnes qui ont géré ce projet à l'ensemble de l'agence (passage de l'apprentissage opérationnel à l'apprentissage organisationnel).

9.2.5 Exécution : la partie la plus difficile de l'implémentation

Au cours de la phase d'exécution, le planning de transition est suivi. Les technologies sont déployées, les processus de travail sont développés, la formation a lieu et les pratiques sont mises en œuvre sur les premiers projets de l'agence.

9.2.5.1 Serveur, plateformes et postes de travail

Au début de l'exécution du projet d'implémentation, il sera nécessaire de déployer les outils nécessaires à l'implémentation.

L'achat et la mise en route de matériel physique (serveur, postes de travail) sont réalisés, et les logiciels dédiés aux pratiques BIM sont installés. Si cela n'est pas encore fait, un espace de stockage pour la gestion des connaissances du projet est dédié au projet d'implémentation sur les serveurs de l'agence (planning, documents tests, documentation, etc.).

Il est possible également d'adopter et de déployer des outils de communication et coordination pour l'équipe de pilotage du projet d'implémentation et pour la communication avec les autres personnes de l'agence. Il existe des outils de gestion de projet gratuits qui proposent des fonctionnalités comme le calendrier collaboratif, un tableau de tâches ou encore des espaces de discussion (Trello, Slack, etc.).

Il est important à ce stade d'investir les moyens de communication habituels de l'agence (réunions périodiques, outils de communication en ligne, etc.) ou de trouver de nouveaux moments de communication pour commencer à échanger autour de l'implémentation avec l'ensemble des collaborateurs afin qu'ils visualisent l'implémentation.

9.2.5.2 Développement des gabarits et processus de travail spécifiques à l'agence

Les éléments à développer ont été identifiés et planifiés. Il s'agit à cette étape de s'assurer que l'équipe qui est chargée du développement ait les ressources nécessaires pour mener cette phase d'expérimentation (outils, temps).

Les expérimentations ont montré que lorsque **la personne en charge de ces développements** était **interne** à l'agence et participait à la production de celle-ci, il lui était parfois difficile de trouver du temps à consacrer au projet d'implémentation²²⁴. La plupart du temps, le planning de la personne concernée n'est pas allégé et les dirigeants restent en retrait par rapport à cette situation.

Lorsqu'il s'agissait d'une personne **externe** (ce qui est également une option), sa difficulté était de ne pas avoir suffisamment accès à l'agence pour en comprendre le fonctionnement. La personne qui est chargée des développements doit pouvoir échanger facilement avec ses collègues.

Cette phase peut être couplée avec une formation spécifique pour les personnes chargées du développement des gabarits et processus de l'agence.

9.2.5.3 Déroulement de la formation

Quel est l'objet de la formation et quelles sont les compétences que nous devons acquérir ? Où se déroule la formation ? Qui réalise la formation ? Quand se déroule la formation ?

Le CNOA propose un guide pour choisir ses formations (CNOA 2017), ainsi qu'un catalogue en ligne (CNOA 2021). Mais il ne propose que peu d'éléments sur le déroulement de la formation.

À ce stade de l'implémentation, la formation est déjà positionnée sur le planning. Elle peut tout à fait se dérouler au sein de l'agence, sur les postes de travail habituels et dans leur configuration préparée sur les gabarits. Ces modalités se discutent avec le formateur ou l'organisme de formation. Les formations en agence ont l'avantage d'être confortables pour les architectes, mais les téléphones et boîtes e-mail ne sont jamais très loin et il est parfois difficile de garder l'ensemble des collaborateurs focalisés sur la formation dans cette configuration.

Il est possible également d'organiser des formations internes, lorsqu'un expert (ou *superuser*) est présent à l'agence. Ce format est délicat, car il faut que cette personne soit légitime aux yeux de ses collègues (sans quoi cela peut créer des tensions). Cette formation sera également difficile à réaliser, car les « distractions » courantes de l'agence (téléphone, mails) seront d'autant plus prises en compte qu'il s'agit d'un formateur interne et non d'un formateur venu spécialement pour la formation.

²²⁴ Comme nous l'avons montré lors des expérimentations.

9.2.5.4 L'acceptation du changement et l'implication dans le projet d'implémentation

Faire changer une organisation demande « beaucoup de **coopération**, d'esprit **d'initiative** et de **sacrifices** acceptés » (Kotter 2015). Comment créer les conditions qui rendent cela possible ? ²²⁵.

Il y a deux angles principaux et complémentaires pour traiter cette question : on peut limiter les forces inhibitrices et/ou augmenter les forces motrices du changement. Le changement doit avant tout être perçu comme utile et compatible avec la pratique et l'organisation. « Les gens trouveront mille moyens astucieux pour refuser leur coopération à un processus qu'ils pensent sincèrement inutile ou inopportun ». Notre enquête par questionnaire a par ailleurs montré que les agences au niveau de maturité le moins élevé perçoivent les pratiques BIM comme étant beaucoup plus difficiles à mettre en œuvre, plus incompatibles avec le métier d'architecte, et beaucoup plus inutiles²²⁶ que les autres agences. La vision du dirigeant doit donc rendre le changement et l'intégration de pratiques BIM nécessaires (et mieux encore : souhaitables) s'il souhaite provoquer la coopération pour l'implémentation. Cela nécessite beaucoup de communication et médiation, notamment sur la vision.

Le sentiment d'urgence (Kotter 2015) est également un puissant moteur du changement : il rend la situation « actuelle » inconfortable. Cela permet d'entamer la déconstruction de la situation (« dégel » (Lewin 1947 ; Burnes 2004)) et d'envisager la construction de la situation nouvelle.

La mise en pratique sur les premiers projets (qu'il s'agisse du projet pilote ou non) est un moment important et délicat. Il est possible que les collaborateurs n'aient pas réalisé l'impact que l'implémentation allait avoir sur leur travail avant la phase d'exécution du plan d'implémentation. D'un point de vue individuel, ils traverseront une forme de processus de deuil caractérisé par une phase de choc, de résistance, d'exploration puis d'implication (Bareil, Savoie 1999). La phase de résistance (qui se produira certainement au moment de la mise en pratique sur les premiers projets de l'agence) vise à protéger les acquis : c'est à cette étape que les **routines défensives** vont être les plus marquées. Elles sont constituées d'un ensemble d'action, de pratiques et de règles qui permettent aux individus de rester dans leur zone de confort et d'éviter l'embarras (Argyris 1994). Cette phase de résistance est source de peur et d'anxiété pour les individus (Bareil, Savoie 1999) ; elle est suivie de la phase d'exploration (déconstruction des anciennes routines) et d'implication.

²²⁵ Voir partie 3.2.2.3, « Vecteurs de changement et acceptation des technologies », p.87

²²⁶ Voir partie 7.4.2.4, « Niveau de maturité et perception du BIM », p.227. Note : notre enquête a principalement associé la vision du BIM du dirigeant avec le niveau de maturité de l'agence. Ici, nous parlons principalement de la vision des collaborateurs.

De manière générale c'est au cours de cette phase que le pilotage et l'encadrement du projet de transition sont très importants.

La stratégie de gestion et traitement des risques est ici mise en œuvre. Il faut être attentif à garder les équipes motivées sans pour autant les surcharger, les encourager et être exigeant tout en intégrant le fait que l'appropriation des pratiques BIM prend du temps. Il est nécessaire d'identifier au plus tôt et gérer les résistances au changement, les tensions qui ont pu naître entre les différents collaborateurs, veiller à un maintien de la qualité des livrables, et surveiller les indicateurs sélectionnés.

9.2.6 Ancrage : pérenniser les changements et enclencher l'amélioration continue

Après ces différentes étapes d'implémentation, l'agence entre dans un processus long d'amélioration continue qui va lui permettre d'ancrer ces changements dans le temps. L'engouement suite au succès d'un projet pilote ou de l'implémentation peut amener à relâcher les efforts trop tôt. Différentes formes de « myopies » peuvent amener à privilégier les effets visibles ou de court-terme ou à minimiser les échecs (March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

9.2.6.1 Enclencher l'implication

Si une phase de résistance s'est manifestée au cours du déploiement de pratiques BIM, il est important pour l'ancrage du changement que l'ensemble de l'agence puisse entrer dans la phase d'exploration (qui consiste à déconstruire et rejeter les anciennes pratiques) ; puis dans une phase d'implication (construction des nouvelles pratiques) (Bareil, Savoie 1999). L'amélioration continue des pratiques implémentées doit pouvoir dépasser le groupe de personnes qui a participé au déploiement des pratiques. La situation de résistance n'est pas tenable dans la durée parce qu'elle implique à la fois une situation émotionnelle difficile des collaborateurs et impacte l'ancrage du projet de transition.

9.2.6.2 Fragilité du changement, culture d'entreprise et culture professionnelle

« Tant que les changements ne sont pas profondément intégrés dans la culture de l'entreprise, (...) les nouvelles méthodes sont fragiles et susceptibles de régresser » (Kotter 2015). Nous avons pu observer un abandon des nouvelles pratiques dans plusieurs agences au cours des entretiens et expérimentations que nous avons réalisés. Ce dernier est généralement dû à l'effort à consacrer à l'implémentation lors de la première mise en pratique sur un projet de l'agence. Parfois, cela peut également être lié à une incompatibilité entre la culture de l'agence et le changement opéré.

Au-delà de la **culture de l'agence concernée**, on observe que les pratiques BIM semblent en fort décalage avec la **culture professionnelle** des architectes : l'architecte est historiquement

« maître de l'œuvre » alors que le BIM porte une dimension fondamentalement collaborative, l'architecte s'est construit sur une formation héritée des beaux-arts alors que le BIM est orienté principalement sur la dimension technique du projet, et la profession d'architecte est ancrée dans une culture libérale alors que le BIM est ancré dans une culture industrielle et économique.

Même si certaines agences ont depuis longtemps intégré la mise en commun des ressources, l'optimisation des processus de travail et la gestion de projet, de nombreuses agences ne se reconnaissent pas dans ces pratiques. Le déploiement des pratiques BIM dans les agences dépasse l'échelle des individus et des entreprises : il implique la vision que les architectes ont de leur profession. Des changements culturels et organisationnels profonds sont nécessaires pour mettre en œuvre des pratiques BIM (Lindblad, Vass 2015; Naville, Rajeb 2016; Poirier, Staub-French, Forgues 2015b).

9.2.6.3 *Passer de l'apprentissage opérationnel à l'apprentissage organisationnel*

Au cours du projet pilote, le développement des pratiques se fait sur le mode de **l'apprentissage opérationnel** (Kim 1998). Il est issu du terrain et circonscrit à seulement quelques personnes de l'agence. **L'apprentissage organisationnel** (que l'on souhaite ici enclencher) consiste à développer la capacité collective de tous les membres de l'agence à adopter des stratégies d'action qui sont cohérentes avec la vision et le changement opéré (Argyris, Schön 1978). Il s'agit d'un ensemble de pratiques et d'usages qui sont entrés dans la pratique courante des collaborateurs et qui peut être appliqué à d'autres situations.

Comment passer de l'apprentissage opérationnel à l'apprentissage organisationnel ? ²²⁷

Il existe différents types de connaissances : la connaissance **tacite** (difficile à expliciter, issue de l'expérience) et **explicite** (exprimée, représentée) (Nonaka 1994). Les individus qui ont contribué à **l'apprentissage opérationnel** jouent un rôle clé dans l'ancrage des pratiques au sein de l'organisation et peuvent transmettre les connaissances (tacites et explicites) accumulées aux autres membres de l'agence. Ils peuvent décrire les processus et gabarits développés sur des fiches-mémo. Ils peuvent également être intégrés aux équipes de projet pour assurer un transfert de connaissance tacite à connaissance tacite²²⁸. Plus ce transfert sera important, plus les acteurs de l'organisation auront développé des stratégies d'action, plus l'organisation et le changement seront stables (Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014).

²²⁷ Voir partie 3.3.1.3, « Le déroulement du changement : un apprentissage à l'échelle de l'organisation », p.92

²²⁸ *Ibid.*

9.2.6.4 Continuer à investir

Dans les agences que nous avons suivies²²⁹, un des facteurs clés du succès de l'implémentation a été l'embauche des personnes qui ont participé à sa mise en œuvre. En effet, le départ prématuré d'un collaborateur qui a piloté le projet d'implémentation peut annihiler tous les efforts réalisés jusque-là.

L'embauche est une bonne manière de conserver les compétences au sein de l'agence. Mais les architectes formés en BIM ont de nombreuses opportunités professionnelles notamment à l'étranger où les salaires sont souvent plus attractifs. Les petites agences françaises ont beaucoup de difficultés à les recruter. De plus, la formation et l'expérience réalisée en BIM peuvent pousser des collaborateurs qui ont développé leurs compétences au cours de l'implémentation à chercher d'autres opportunités professionnelles pour valoriser leur montée en compétences.

Enfin, même si l'agence a réalisé une formation, de nouveaux besoins vont émerger et nécessiter une montée en compétence continue. Des rappels de formation et des compléments de formation seront nécessaires dans les mois et années qui suivent l'implémentation pour ancrer le changement durablement.

9.2.7 Synthèse

Nous avons proposé des recommandations à destination des dirigeants et des personnes qui interviennent dans l'implémentation de pratiques BIM dans les agences. Ces recommandations sont organisées sous forme **de feuille de route en quatre étapes, précédées de la phase de validation** du processus d'adoption (voir figure ci-dessous).

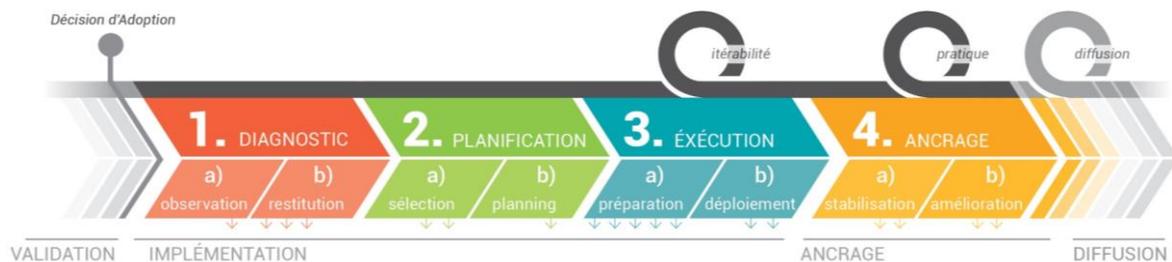


Figure 127. Synthèse des différentes étapes de la feuille de route

Le Tableau 36 présente une synthèse de ces différentes étapes.

²²⁹ Voir Chapitre 8, « **Expérimentation avec quatre agences d'architecture** », p.255

Tableau 36. Synthèse de la feuille de route proposée

<i>Étape</i>	<i>Sous-étape</i>	<i>Description</i>	<i>Données de sortie</i>
1. Diagnostic	a) observation	Observer et analyser les pratiques de l'agence, ainsi que ses usages des outils. Identifier les possibilités d'amélioration, les compétences à acquérir et les risques potentiels de l'implémentation	Résultats des observations.
	b) restitution	Présenter les résultats de l'analyse en utilisant éventuellement la modélisation d'entreprise. Identifier les outils et pratiques à mettre en œuvre	Restitution (écrite et/ou orale).
2. Planification	a) sélection	Prioriser des outils et pratiques à mettre en œuvre, identifier les éléments à prendre en compte pour la planification	Éléments à planifier, contraintes à respecter.
	b) planification	Réaliser un calendrier de transition et formaliser le plan d'implémentation	Plan et calendrier d'implémentation.
3. Exécution	a) préparation	Achat du matériel, installation des outils de travail, développement et documentation des méthodes de travail.	Documentation sur les méthodes.
	b) déploiement	Déployer les méthodes développées sur des projets de l'agence et évaluer les résultats. Réaliser la formation	Retours d'expérience.
4. Ancrage	a) stabilisation	Exploiter les nouveaux processus, développer des stratégies pour conserver les personnes formées au sein de l'agence	Projets réalisés avec les nouvelles méthodes.
	b) amélioration	Développer les processus de travail à chaque nouveau projet réalisé, mettre à jour les standards internes développés et investir de nouveaux usages.	Documentation des méthodes, montée en compétence régulière.

Chaque étape de la feuille de route a été décrite du point de vue stratégique et opérationnel. Les réactions habituelles de l'agence au cours du déroulement de l'implémentation, au regard de nos observations et de la littérature scientifique, ont également été présentées.

La phase de validation permet de clarifier les raisons qui motivent le changement. Elle initie la phase d'implémentation. Après avoir identifié les possibilités pour l'implémentation (**diagnostic**), et proposé un calendrier d'implémentation (**planification**), l'agence s'engage dans le développer et le déploiement de nouvelles méthodes de travail (**exécution**). Cette étape est itérative et comporte un aller-retour entre les besoins identifiés, le développement d'usages, et une validation (**Figure 127**, Tableau 36). Après avoir déployé les méthodes développées, l'agence passe dans la phase **d'ancrage** des pratiques : elle stabilise les nouveaux usages, et continue à les améliorer progressivement à chaque nouveau projet réalisé (**Figure 127**, Tableau 36).

9.3 Une application web comme support de la feuille de route proposée

Nous avons proposé et développé un prototype d'application web destinée à centraliser et organiser des ressources d'aide à l'implémentation.

9.3.1 Pourquoi une application ?

9.3.1.1 *Le besoin d'une information synthétique*

La proposition de feuille de route décrite en partie précédente intègre des lignes directrices qui ont vocation à accompagner les agences dans leur transition BIM. Elle clarifie les étapes générales du processus d'adoption leur permet de s'y positionner : elles peuvent ainsi visualiser les étapes par lesquelles elles vont probablement passer.

Cependant, la quantité d'information à afficher pour chaque étape est conséquente, et les recommandations ne sont pas spécifiques aux différentes agences. Nous avons souhaité tester une forme et un support plus **synthétique, accessible** et éventuellement **ludique**.

9.3.1.2 *L'abondance de la littérature sur le BIM*

La plupart des ressources disponibles sur l'implémentation du BIM se concentrent sur un point très spécifique (par exemple la recherche de formation ou le calcul d'indicateurs). Bien que complémentaires, la dispersion de ces ressources pose problème. De plus, elles n'intègrent généralement pas la dimension managériale et stratégique de l'implémentation et permettent rarement au lecteur de se positionner sur ce processus.

Le processus d'adoption et la feuille de route proposés apportent une cohérence entre ces différentes ressources aujourd'hui nombreuses²³⁰. Elle s'y réfère à différentes étapes.

Cependant, les ressources documentaires sur l'implémentation du BIM évoluent très vite. Chaque année, de nouveaux contenus sont produits et les précédents sont rapidement obsolètes. Un support d'accompagnement à l'implémentation devrait pouvoir être tenu à jour régulièrement.

- Le format d'application doit permettre de passer très rapidement d'une vision globale du processus d'adoption à des informations plus spécifiques sur une de ses phases
- Elle doit également présenter les informations de façon très synthétique tout en renvoyant vers des ressources documentaires externes qui sont la plupart du temps en ligne

²³⁰ Voir partie 9.1.1, « Un accompagnement qui concerne l'implémentation dans ses dimensions managériale et stratégique », p.295

9.3.2 Développement de l'application

9.3.2.1 Définition générale de l'application

L'application permet à l'utilisateur de naviguer dans le processus d'adoption avec ses différents jalons et de découvrir les étapes de la feuille de route proposée. Arrivé à un certain niveau de détail dans la description des étapes, on lui propose de remplir un formulaire simple pour afficher des stratégies d'implémentation spécifiques aux caractéristiques de son agence. L'application, comme la feuille de route, intègre les niveaux stratégique et opérationnel de l'implémentation.

9.3.2.1 Développement

L'application a fait l'objet d'un développement en collaboration avec une stagiaire informaticienne du laboratoire MAP-CRAI (Rondeaux 2019). Le stage a permis de développer une version prototype : toutes les fonctionnalités n'ont pas été implémentées mais la présentation de l'application a pu être testée auprès d'architectes.

Dans un premier temps, nous avons défini le fonctionnement de l'application et son comportement graphique (visuels et transitions). Les technologies adaptées ont ensuite été sélectionnées pour que l'application puisse être développée. Enfin, nous avons réalisé un test utilisateur avec d'évaluer la pertinence de la proposition et du format d'application.

9.3.3 Description du fonctionnement de l'application

9.3.3.1 Trois niveaux de frise

L'application permet de naviguer du processus d'adoption vers les étapes de la feuille de route. Elle est composée de trois niveaux de frise représentant : le processus d'adoption (**Figure 128**), les étapes de la feuille de route (**Figure 130**), des détails sur le déroulement de la feuille de route. Un titre s'affiche au-dessus de chacune de ces frises pour faciliter la compréhension de l'utilisateur.

9.3.3.2 Première frise

Le processus d'adoption (**Figure 128**) est représenté avec ses **phases** (noir et gris), **jalons** (rose) et **possibilités de sorties** (flèches vertes).

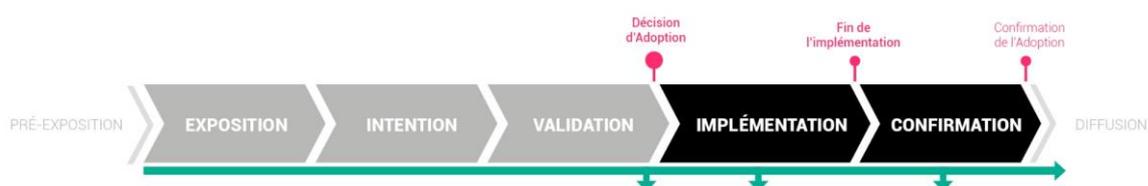


Figure 128. Première frise de l'application

Lorsque l'utilisateur survole l'un des éléments composant le processus, une bulle d'information apparaît : elle présente de façon synthétique la phase ou l'élément concerné (voir **Figure 129**).

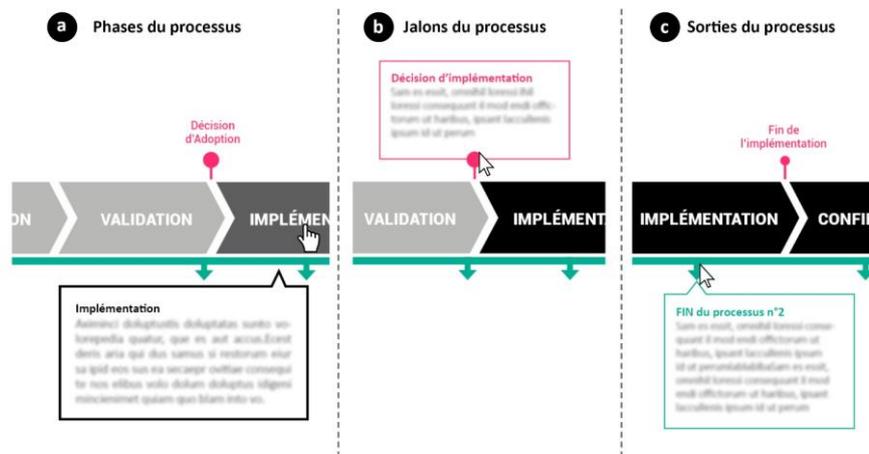


Figure 129. Aperçu du survol de la première frise pour les phases (a), jalons (b), et sorties (c) du processus d'adoption.

9.3.3.3 Seconde frise

Le survol des deux phases « Implémentation » et « Confirmation » font apparaître ces deux phases en surbrillance gris foncé, et le curseur change pour inviter au clic (voir **Figure 129**). Au moment où l'utilisateur clique sur « implémentation » ou « Confirmation », les flèches vertes disparaissent, la première frise (en gris et noir) se réduit, et la seconde frise apparaît (**Figure 130**).



Figure 130. Aperçu de la seconde frise présentant la feuille de route.

Sur cette seconde frise, il est également possible d'avoir des informations supplémentaires en survolant les différentes étapes de la feuille de route. L'étape est alors en surbrillance claire et invite au clic (**Figure 131**). Un clic sur la frise représentant le processus d'adoption (en noir et gris) permet de revenir en arrière.



Figure 131. Aperçu du survol sur la seconde frise

9.3.3.4 Troisième frise

Lorsque l'utilisateur clique sur l'une des étapes de la feuille de route, un niveau de détail supplémentaire s'affiche et laisse apparaître la troisième frise de l'application (Figure 132). La première frise (processus d'adoption) reste visible mais le texte de chaque phase disparaît pour alléger le document.



Figure 132. Aperçu de la troisième frise de l'application

De la même manière que pour les frises précédentes, le survol de cette troisième frise fait apparaître des informations spécifiques à ces différentes étapes.

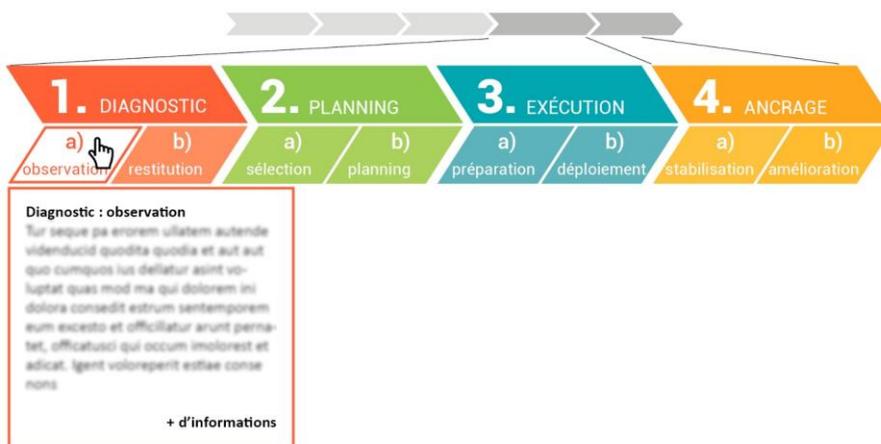
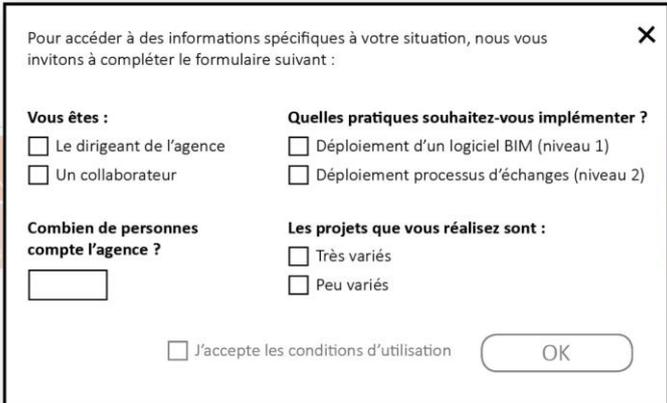


Figure 133. Aperçu du survol sur la troisième frise

À ce stade, de nombreuses informations ont déjà pu être affichées, mais le format d'application web rend la navigation relativement ludique et permet de n'afficher qu'une petite quantité d'informations à chaque bulle.

9.3.3.5 Des informations plus détaillées et ciblées

Une fois arrivé à la troisième frise, l'utilisateur a la possibilité d'aller plus loin. Cette fois, les informations affichées seront plus détaillées, renverront à des ressources spécifiques et ciblées sur les caractéristiques de son agence. Si l'utilisateur clique sur une des bulles de la troisième frise, un formulaire s'affiche pour lui demander de renseigner sa situation (**Figure 134**).



The image shows a modal window titled "1. DIAGNOSTIC" with a close button (X) in the top right corner. The text inside the window reads: "Pour accéder à des informations spécifiques à votre situation, nous vous invitons à compléter le formulaire suivant :". The form contains several sections with checkboxes and a text input field:

- Vous êtes :**
 - Le dirigeant de l'agence
 - Un collaborateur
- Combien de personnes compte l'agence ?**
- Quelles pratiques souhaitez-vous implémenter ?**
 - Déploiement d'un logiciel BIM (niveau 1)
 - Déploiement processus d'échanges (niveau 2)
- Les projets que vous réalisez sont :**
 - Très variés
 - Peu variés
- J'accepte les conditions d'utilisation
-

The form is overlaid on a background with orange arrows pointing right. The left arrow is labeled "1. DIAGNOSTIC" and "a) observation res". The right arrow is labeled "ANCRAGE" and "b) amélioration".

Figure 134. Visualisation du questionnaire affiché pour profiler les utilisateurs

Les stratégies à mettre en œuvre et à afficher à l'utilisateur pour implémenter des pratiques BIM dépendent de sa **position dans l'agence**, des **pratiques que l'agence souhaite mettre en place**, **la taille de l'agence** et des **types de projets qu'elle réalise**²³¹. Le profilage des utilisateurs permet ainsi d'afficher des informations synthétiques et ciblées. La figure ci-dessous (**Figure 135**) représente l'affichage hypothétique d'une page d'information spécifique à un utilisateur. Cette fonctionnalité n'a pas été implémentée dans la version prototype de l'application.

Cette page intègre des informations beaucoup plus détaillées, des figures, des liens vers des ressources externes et la possibilité de télécharger une ressource complémentaire le cas échéant.

²³¹ Voir partie 8.2.6, « Conclusion transversale des études de cas », p.290

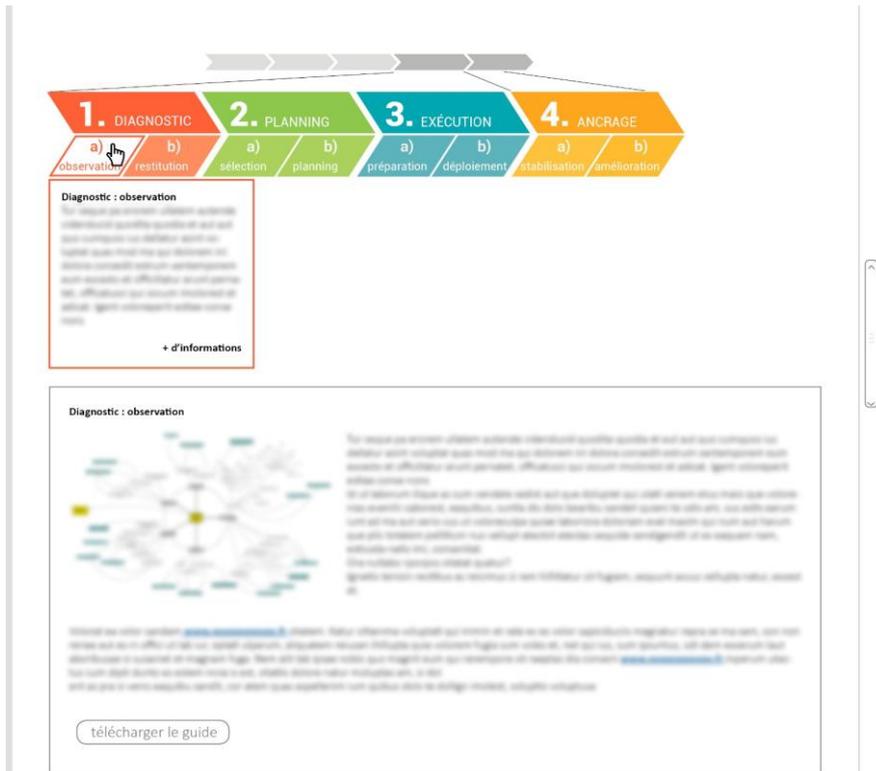


Figure 135. Aperçu de la page information profilée

9.3.3.1 Environnement de l'application

L'application est déployée sur le site internet du MAP-CRAI. Il s'agit d'une page autonome qui reprend la mise en page générale du site internet du laboratoire.



Figure 136. Premier visual de l'environnement de l'application lors du développement.

Le prototype de l'application est disponible sur www.crai.archi.fr/BIM : nous nous sommes appuyés sur ce dernier pour effectuer les tests utilisateur.

9.3.3.2 Alimentation des informations de l'application

Nous avons envisagé que les textes (en particulier les pages HTML détaillées) puissent être enrichis par des experts qui peuvent ajouter une ressource externe et un commentaire sur les différentes phases (voir **Figure 137**).

Initialement, nous avons envisagé que les internautes eux-mêmes puissent poster un commentaire pour partager leur expérience d'implémentation, mais la nature des réponses reçues dans les espaces libres du questionnaire nous a fait réviser cette option.

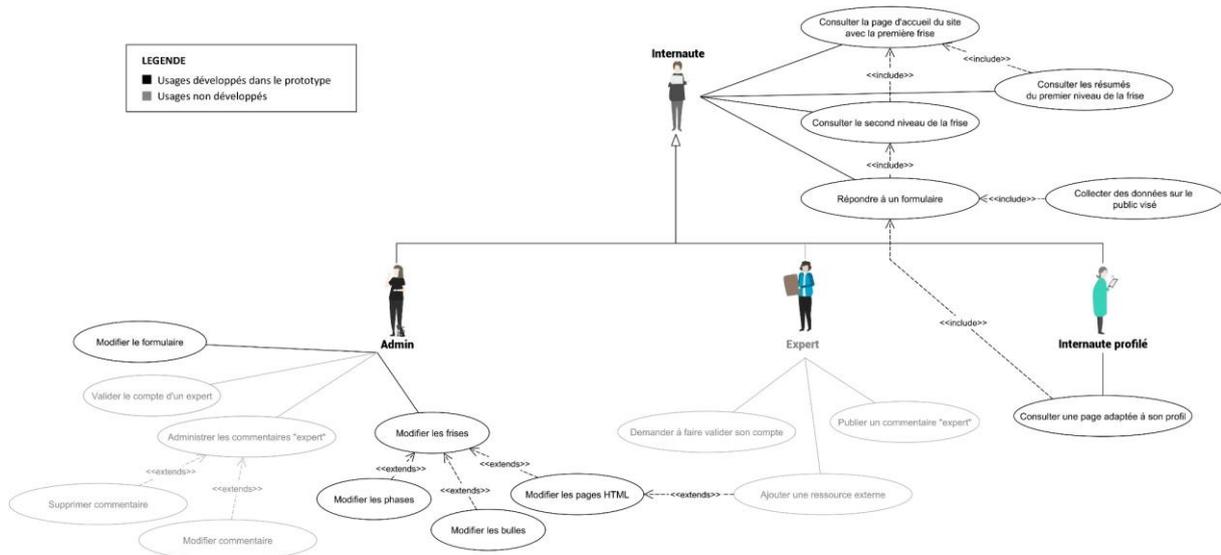


Figure 137. Diagramme de cas d'utilisation (use case diagram) de l'application (Annexe 20, p.428)

L'administrateur peut quant à lui modifier les frises de l'application (et le questionnaire), et valider le compte d'un expert afin qu'il ait accès à l'édition des pages (voir **Figure 137**).

L'intervention des experts a vocation à permettre la mise à jour régulière du contenu. Elle a également vocation à présenter une diversité de points de vue et d'expériences sur l'implémentation de pratiques BIM.

9.3.4 Test utilisateur, conclusion et perspectives

9.3.4.1 Test utilisateur réalisé sur le prototype d'application

Le prototype développé intègre les trois frises avec les bulles d'information. Il permet également de répondre au formulaire mais il n'affiche pas les pages personnalisées associées. Cette partie n'a pas été implémentée, tout comme le système de compte d'expert.

Les tests utilisateur se sont déroulés au laboratoire avec six architectes qui ont complété un questionnaire après avoir testé l'application pendant une vingtaine de minutes. Ces tests ont montré que le format d'application était intéressant. Sa dimension ludique plaît et la navigation

libre entre les différentes phases est également appréciée. La présentation du processus d'adoption ainsi que le positionnement de la feuille de route sur celui-ci ont été bien compris et la clarté de la présentation est reconnue. Les testeurs ont cependant noté un manque de fluidité du prototype, ainsi que le faible niveau d'information présent pour l'instant.

L'objet du prototype était de tester le principe d'une application d'aide à l'implémentation. Ce principe est validé.

9.3.4.1 Conclusion et perspectives sur l'application

La feuille de route proposée en partie précédente a été proposée dans une version interactive via une application web pour permettre l'accès et le recoupement faciles de sources d'informations complémentaires sur l'implémentation de pratiques BIM. Le prototype alors réalisé a permis de montrer l'intérêt de développer ce type d'application.

Ce prototype s'inscrit dans une démarche plutôt de valorisation de la recherche effectuée que dans une démarche de recherche scientifique, car le développement de l'application en soi ne présente aucun défi scientifique.

Conclusion

De la partie

La feuille de route présentée dans cette partie a été alimentée par les différentes parties de notre travail de recherche (voir **Figure 138**). L'**approche de terrain** (entretiens, questionnaire et recherche-action) nous ont permis d'améliorer progressivement notre **connaissance du terrain**. La **recherche-action** a permis de développer la feuille de route de façon itérative. Celle-ci a été alimentée par un **état de l'art** intégrant des méthodes de gestion de changement, de gestion de projet et l'analyse de propositions de feuilles de routes. Le **cadre de recherche** proposé en Partie 2 de ce manuscrit a permis de structurer cette proposition de feuille de route. L'ensemble de ces connaissances de nature diverses et développées tout au long du travail de recherche ont été utilisées pour constituer des recommandations à destination des agences qui implémentent des pratiques BIM.

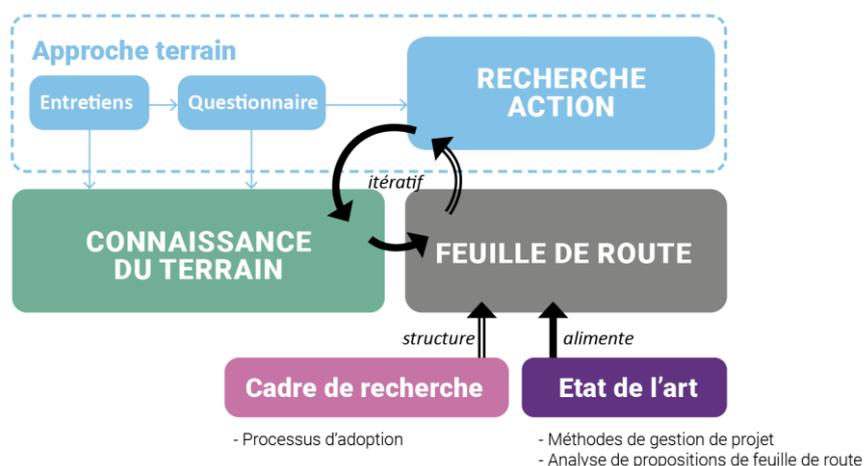


Figure 138. Méthode pour le développement de la feuille de route

La feuille de route développée est basée des méthodes de gestion de projet. Elle organise un ensemble de recommandations et permet de centraliser et positionner différentes ressources documentaires déjà disponibles au sujet de l'implémentation de pratiques BIM. Dans une perspective de valorisation, la feuille de route proposée a fait l'objet du développement d'un prototype d'application pour en proposer une version interactive, synthétique et ludique. D'autres pistes peuvent être envisagées pour outiller l'implémentation comme des supports de gestion du projet (tableaux de tâches liées à l'implémentation sur Trello par exemple).

Les deux principaux objectifs de notre travail de recherche étaient de constituer un socle de connaissances sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation du BIM dans les agences, et de proposer des solutions pour en faciliter l'implémentation. Les nombreuses lacunes dans la littérature sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture (peu de baromètres fiables, peu de cadres théoriques, faible compréhension des mécanismes liés à l'implémentation) ont orienté une grande partie de notre recherche sur la constitution de ces bases nécessaires à l'élaboration d'outils adaptés. **Les outils que nous proposons sont donc pour l'instant lacunaires, mais la connaissance que nous avons constituée sur la diffusion, l'adoption, et l'implémentation du BIM dans les agences d'architecture françaises est un support qui peut être utilisé pour leur développement futur.**

Conclusion générale

Ce travail de recherche porte deux **objectifs** principaux. Le premier est d'améliorer l'état des connaissances sur la diffusion et l'adoption du BIM dans les agences d'architecture françaises ainsi que la manière dont elles l'implémentent. Le second est de proposer des outils permettant de faciliter l'implémentation de pratiques BIM dans ces mêmes agences (voir **Figure 139**). Nous avons développé un **cadre de recherche** des outils méthodologiques permettant d'étudier l'adoption du BIM dans les organisations. Ce **cadre a structuré** notre recueil d'indices composé principalement par une enquête par entretiens et une enquête par questionnaire à destination des architectes. Nous avons complété nos observations notamment sur l'implémentation du BIM en suivant quatre agences d'architecture en recherche-action. Les résultats de notre enquête, de la recherche-action réalisée ainsi que d'un état de l'art s'appuyant sur le champ d'étude de la gestion du changement nous ont permis de proposer des recommandations à destination des agences pour faciliter l'implémentation de pratiques BIM. Celles-ci ont été présentées sous la forme d'une feuille de route elle aussi structurée grâce à notre cadre de recherche. La nature originale de ce travail réside dans la complémentarité des approches et des échelles d'étude ici traitées.

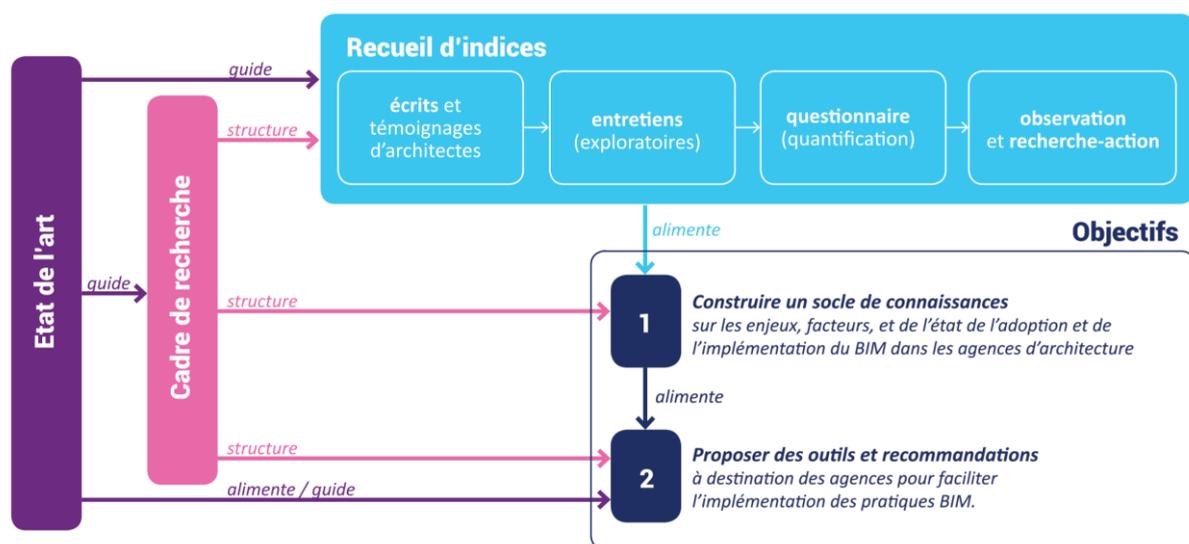


Figure 139. Une approche qui prend appui sur le terrain

Des outils méthodologiques pour analyser l'état de la diffusion de l'adoption du BIM.

Le processus d'adoption

Le modèle du processus d'adoption des innovations proposé par Rogers dès les années 60 décrit les phases par lesquelles passent des adoptants (organisations, individus) lorsqu'ils sont confrontés à une innovation qu'ils finissent par intégrer dans leurs pratiques. Il comporte cependant des lacunes, car il est très centré sur la décision d'adopter l'innovation, omettant ainsi les échecs possibles du processus. Le **Modèle Unifié du Processus d'Adoption des Innovations** que nous avons proposé permet de lever cette lacune. Il permet de positionner les principaux jalons du processus d'adoption, ses possibles arrêts, ainsi que les facteurs qui l'influencent.

Ce modèle a montré sa pertinence comme cadre **pour étudier les facteurs qui influencent le processus d'adoption** en permettant notamment la distinction entre les facteurs qui influencent la décision d'adopter une innovation et ceux qui influencent le succès de l'implémentation. Nous l'avons également **exploité dans le cadre de notre enquête par questionnaire pour positionner les pratiques des adoptants** : le modèle a alors permis de cartographier l'état de l'adoption des pratiques BIM des agences d'architecture. Ce modèle a permis de réaliser des observations cohérentes et a permis de présenter les résultats de façon très intelligible. Enfin, ce modèle a également servi d'appui pour le **positionnement** et la **valorisation** d'une proposition de feuille de route destinée aux agences d'architecture.

Le Modèle Unifié du Processus d'Adoption des Innovations a donc montré sa robustesse dans différentes situations. Il peut tout à fait être exploité dans d'autres contextes que celui du BIM et dans d'autres domaines que celui de la construction.

La taxonomie des facteurs d'adoption

La **taxonomie des facteurs qui influencent l'adoption du BIM** que nous avons proposée intègre quatre domaines de facteurs qui peuvent influencer l'adoption du BIM : le contexte externe d'une organisation, ses caractéristiques internes, les caractéristiques de l'innovation ainsi que les caractéristiques du changement. Ce dernier domaine est un apport de notre travail par rapport à la littérature scientifique sur l'adoption des innovations qui ne considère aujourd'hui pas le changement (et sa perception par les adoptants) comme domaine d'influence sur l'adoption.

Nous avons exploité la **taxonomie des facteurs d'adoption** ainsi que le **cadre** permettant de la positionner dans notre recherche. Nous avons utilisé la liste des **facteurs de décision et d'implémentation** pour construire notre enquête par questionnaire. Les facteurs ainsi mesurés dans notre enquête sont des marqueurs de l'état d'avancement de la diffusion du BIM dans les agences. Les **facteurs d'implémentation** (qui influencent l'implémentation du BIM) ont été utilisés pour développer une feuille de route : tous les éléments qui influencent le succès de

l'implémentation peuvent être pris en compte lors de l'élaboration d'une stratégie d'implémentation de pratiques BIM dans une agence.

La taxonomie que nous avons proposée ne couvre qu'une petite partie du disque PEFA-BIM (Disque de Positionnement des Études sur les Facteurs d'Adoption du BIM). Nous n'avons travaillé que sur les facteurs qui influencent les organisations à adopter le BIM (échelle *micro*). Le référencement des facteurs qui influencent l'adoption du BIM aux échelles *meso* et *macro* sur le cadre proposé porte un fort potentiel pour des recherches à venir.

Les contradictions entre le BIM et la culture professionnelle des architectes sont nombreuses

L'état de l'art sur l'évolution de la **profession d'architecte** d'une part et le **développement des technologies de l'information et de la communication** d'autre part a révélé des antagonismes entre la nature du BIM et la culture professionnelle des architectes. Ces antagonismes expliquent en partie les réactions vives que nous avons pu observer chez certains architectes au sujet du BIM.

La dimension collaborative du BIM et « l'architecte maître de l'œuvre ».

La constitution et la reconnaissance très tardive des modes d'exercice salarié et associé a eu pour conséquence d'ancrer la pratique en indépendant chez les architectes, formant aujourd'hui un secteur principalement composé de très petites entreprises (même si le secteur évolue largement vers le mode d'associé, préféré par les jeunes architectes). Ainsi, ce n'est que très récemment (et pour une petite partie seulement des agences) que les questions d'organisation réfléchie et rationnelle du travail ont commencé à se poser. En ce sens, le discours sur les pratiques BIM construit principalement sur la rationalisation du travail et des échanges ainsi que sur la collaboration ne concerne que très peu les architectes et peine à susciter leur intérêt. Cela correspond à nos observations lors de notre enquête par questionnaire : les pratiques BIM de niveau 1 (relatives à la meilleure gestion des informations de l'ouvrage en interne de l'entreprise) suscitaient moins l'intérêt des agences que les pratiques de niveau 2 (très plébiscitées).

Tandis que l'on reconnaît à l'architecte la « propriété intellectuelle » de l'œuvre architecturale depuis qu'il a acquis un statut d'artiste (Carvais 2018a), l'implication de nombreux acteurs sur le projet de construction (et maintenant jusque sur la maquette numérique), questionne ce droit. Pour les architectes, la diffusion des pratiques BIM est donc loin de n'être qu'une question de traçabilité de la responsabilité des erreurs : c'est la paternité de l'œuvre qui se joue.

La maîtrise d'œuvre pluridisciplinaire que l'on connaît aujourd'hui s'est construite en réaction au développement des contraintes techniques du projet. Elle est issue de la spécialisation des missions qui étaient auparavant attribuées principalement à l'architecte. Le développement des pratiques BIM et notamment les niveaux avancés qui sont associés à une forme d'ingénierie concourante²³² s'inscrivent dans la continuité de la diversification des contraintes et des acteurs de la conception. Celle-ci est souvent vécue par les architectes comme la déchéance de leur statut au sein de la maîtrise d'œuvre. C'est pour cette raison que de nombreux architectes voient dans la

²³² prise en compte accrue des contraintes aval (gestion-exploitation-maintenance ou GEM) au cours de la conception

diffusion du BIM une énième manière d'affaiblir le rôle de l'architecte et sa place dans l'équipe de maîtrise d'œuvre.

La dimension technique du BIM et le statut d'artiste des architectes

Les problématiques auxquelles répond la technologie BIM sont principalement techniques et concernent peu (voire pas du tout) les dimensions sociales et sensibles de l'architecture qui sont au cœur des préoccupations des architectes. Certains architectes craignent donc que le développement du BIM amène à la prévalence systématique des questions techniques dans les projets au détriment de la qualité architecturale.

Le BIM concerne des activités et thématiques dont les architectes se sont progressivement détournés ; d'abord en se constituant une identité d'artiste, et, plus récemment, en délaissant progressivement les missions liées au suivi du chantier. Ils ont donc réduit leur champ d'action sur le cycle de vie de l'ouvrage tandis que les pratiques BIM tendent à impliquer les contraintes de l'ensemble du cycle de vie, notamment au moment de la conception.

La culture libérale de la profession et la dimension économique, rationnelle et industrielle du BIM

Le statut d'artiste de l'architecte a souvent été évoqué comme principale source de rejet de la rationalisation du travail car l'optimisation du processus créatif est souvent considérée comme difficile. Pourtant, il semble que l'ancrage libéral de la profession et plus particulièrement du caractère d'intérêt public de l'architecture entre fortement en conflit avec la rationalisation.

Le rôle de l'architecte (désintéressé, qui perçoit des bénéfices non commerciaux) a été dès le début de l'institutionnalisation de la profession fortement détaché de celui d'entrepreneur (qui a vocation à s'enrichir). La rationalisation du travail est donc souvent vue comme une recherche d'économie ou d'enrichissement du maître d'ouvrage, qui est source d'appauvrissement de la proposition architecturale. La dimension rationnelle du BIM entre donc en conflit avec la culture libérale de la profession d'architecte dans le sens où elle nuirait à sa mission d'intérêt général.

C'est également cette culture libérale et d'intérêt public qui explique en partie la méfiance envers les éditeurs de logiciels que nous avons observée tout au long de notre enquête. Ces derniers n'œuvrent pas dans le même but que les architectes (ils ont une activité à but lucratif) : cela attise la méfiance de nombreux architectes.

Le caractère innovant du BIM et l'inertie de l'enseignement et de la recherche en architecture

Les jeunes architectes sont un des principaux moteurs de la transition des agences vers des pratiques BIM. Même si la formation continue permet aux professionnels de monter en

compétence, ce sont souvent de jeunes diplômés aux profils de « *superusers* » qui sont à l'origine des importants changements dans les agences.

Cependant, les ENSA peinent à intégrer des enseignements BIM. L'actualisation du contenu pédagogique, principalement permis dans les universités et les écoles d'ingénieur par la forte présence de chercheurs à la pointe dans leur domaine fait pour l'instant défaut dans les écoles d'architecture. Une réforme des ENSA est en cours pour développer la recherche mais celle-ci va prendre du temps à se mettre en place et suscite de vives réactions dans la profession.

L'enseignement de la CAO concerne aujourd'hui principalement uniquement l'utilisation des outils mais n'est presque jamais relié aux problématiques de conception ou de collaboration dans le projet. Les ateliers de projet sont restés d'importants vecteurs de traditions et sont pour l'instant encore assez peu perméables aux sujets portés par la recherche universitaire. Leur capacité à préparer la transition à venir d'équipes de maîtrise d'œuvre encore plus diversifiées est faible.

L'état de l'adoption des pratiques BIM dans les agences françaises

Une profession qui évolue

Au moment de notre enquête, en 2019, environ un tiers des agences d'architecture en France utilisent de façon généralisée un outil BIM dit « de modélisation » (niveau 1) ; une partie d'entre elles exploitent cet outil depuis longtemps. 12 % environ ont mis en place des pratiques BIM plus avancées de niveau 2. Les pratiques BIM bénéficient dans l'ensemble d'une image plutôt positive auprès des architectes mais un quart d'entre eux sont particulièrement défavorables à sa diffusion. Cette proportion d'architectes défavorables au BIM peut sembler importante. Mais, compte tenu des contradictions que nous avons pu relever entre la nature (collaborative, économique, technique et innovante) du BIM et la pratique (historiquement solitaire, libérale, artistique et traditionnelle) des architectes, elle est finalement assez faible. Elle pourrait même être le marqueur d'un important changement de culture professionnelle des architectes.

La résilience des petites agences et l'inertie des plus grandes

L'utilisation d'outils BIM dits « de modélisation » est répartie de façon très homogène au sein de la population des agences, et ce indépendamment de leur taille ou du type de projets qu'elles réalisent. On note même que les grandes agences utilisent moins souvent ces outils que les plus petites d'entre elles, probablement à cause de l'inertie qu'elles rencontrent et qui limite leur capacité de changement. La thèse et la croyance très répandue que les outils BIM sont inaccessibles pour les petites agences car leur coût est trop élevé est donc à nuancer, même si la

proportion de logiciels « piratés » (et donc non coûteux) est certainement plus élevée et non négligeable au sein de ces petites agences.

Les pratiques BIM avancées (niveau 2) ne sont pas réservées aux très grandes agences : elles sont plus présentes au sein des agences de taille moyenne au moment de notre enquête. Ce sont pourtant les agences les plus grandes qui sont les plus soumises aux pressions contextuelles qui les poussent vers des pratiques BIM. Il est tout à fait possible que ces pressions les incitent dans les années à venir à implémenter plus largement les pratiques BIM, rattrapant ainsi leur « retard ».

Les petites et moyennes agences se montrent très résilientes, malgré leur plus faible capacité d'investissement et leur manque d'attractivité pour les profils d'architectes spécialisés en BIM. C'est notamment grâce à l'impulsion des jeunes diplômés qui y trouvent une marge de manœuvre plus importante que dans les grandes agences pour y proposer et développer des pratiques BIM. Le développement d'enseignements spécialisés BIM dans les ENSA permettra (s'il a lieu) en partie d'absorber les transformations au sein des petites et moyennes agences. Nous avons montré que les agences ont tendance à s'agrandir au fil des années : le recrutement d'un nouveau collaborateur est alors un moment stratégique de la vie d'une petite agence car il lui permet de faire face aux changements du secteur. Les agences les plus grandes mettront quant à elle en place des pratiques BIM sous l'impulsion des pressions externes et de façon beaucoup plus lente que les petites agences.

Les pratiques de niveau 1 et de niveau 2 : des enjeux différents

Les pratiques BIM de niveau 2 sont plus attractives et mieux connues des agences que les celles de niveau 1, même si leur diffusion est limitée par le faible avancement du secteur de la construction dans son ensemble. L'implémentation des pratiques de niveau 1 est alors pour l'instant vue principalement comme un tremplin vers le niveau 2 qui permet de s'assurer une place sur le marché.

On observe que **l'adoption des pratiques de niveau 1 suscite des réactions plus marquées et négatives que celles du niveau 2**. L'implémentation du niveau 1 est également beaucoup plus radicale pour une agence que la mise en place du niveau 2, qui se fait relativement progressivement et de façon souvent assez naturelle dans les agences surtout dans la période actuelle au cours de laquelle ces pratiques avancées ne sont pas encore très cadrées.

L'implémentation du niveau 1 concerne quant à elle à l'outil de production principal des architectes, qu'ils considèrent généralement comme indissociable du processus de conception. Ainsi, en changeant d'outil, ils craignent de voir leur production architecturale dénaturée. La mise en place du niveau 1 entraîne donc généralement un questionnement profond sur l'identité de l'agence et celle de sa production.

Au travers de la difficulté de l'implémentation du niveau 1 transparaît également la difficulté des agences à intégrer une vision rationnelle de leur travail. Si le niveau 2 concerne la rationalisation des informations et des échanges tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, le niveau 1 est quant à lui centré sur les problématiques et optimisations internes que les agences n'ont jamais mises en œuvre. Notre enquête par questionnaire illustre bien ce phénomène : parmi les agences qui travaillent en niveau 1 au moment de l'enquête (30 % environ), seule la moitié d'entre elles exploite les outils d'automatisation permettant un gain de temps considérable comme la création automatisée de tableaux de surface des pièces.

Dans les années 1990-2000, lorsque les agences se sont équipées d'ordinateurs, elles ont généralement préféré les outils de dessin 2D aux outils de modélisation 3D sémantique. Les principaux outils BIM de modélisation que l'on connaît aujourd'hui étaient pourtant déjà sur le marché. Les outils 2D ont été préférés car ils sont plus proches du dessin à la main (on appelle bien AutoCAD la « table à dessin numérique ») que la modélisation 3D orientée objet. Ce « choix », réalisé il y a vingt ans a pourtant engagé les agences dans une direction qui leur rend aujourd'hui l'implémentation de pratiques BIM bien plus complexe. C'est pour cette raison que le BIM apparaît « disruptif » aujourd'hui alors que ses prémisses (et ses outils) existaient déjà au cours des années 2000 et même quelques années auparavant.

Les évolutions en cours

L'accès à la commande était déjà affecté par le développement des exigences BIM dans les projets au moment où nous avons réalisé notre enquête (2019). Les agences de toutes tailles réalisent des projets susceptibles d'être concernés par des exigences et livrables BIM. Nous avons cependant observé des stratégies d'évitement qu'elles mettent en œuvre pour ne pas avoir à implémenter des pratiques BIM. Cela peut entraîner à moyen terme une redistribution des missions et types de projets dans la population d'agences. L'impact et la nouvelle répartition de ces projets dépendront certainement des types de projets et programmes qui seront en premier proposés principalement en BIM. Cela donne des pistes d'enquêtes futures pour étudier l'évolution du secteur.

Le développement des pratiques BIM commence à se traduire par **un passage accéléré de génération d'architecte** : tandis que les plus expérimentés regrettent généralement la disparition de l'organisation du travail telle qu'ils l'ont connue au début de leur carrière, les jeunes diplômés profitent de cette transition pour évoluer assez rapidement au sein des agences. À travers eux apparaît l'impact de la mise à jour des programmes des ENSA sur la profession, et les porosités entre recherche, enseignement et milieu professionnel.

Enfin, l'ensemble des éléments ici présentés sont très liés au contexte de l'année 2019. Si ce dernier a certainement déjà un peu évolué entre le moment de l'enquête (2019) et le moment de la rédaction de ces lignes (2021), il est susceptible de changer assez fortement dans les cinq à dix années à venir. La période concernée par l'enquête (2015-2021) a l'avantage de capturer une situation à un moment clé de la transition. Nous avons notamment pu observer un basculement au cours de cette période entre les profils d'adoptants. Plutôt férues de nouvelles technologies avant 2015, les agences qui adoptent des pratiques BIM aujourd'hui sont principalement centrées sur des préoccupations liées à l'évolution du marché. Ce sont des agences plus sensibles aux risques d'implémentation que les premiers adoptants : ils seront donc d'autant plus réceptifs à la documentation qui vise à les accompagner dans l'implémentation.

Notre enquête reste cependant relativement restreinte dans la durée, en particulier l'enquête par questionnaire qui devrait être reconduite régulièrement pour affiner et vérifier les résultats ici présentés. Une étude longitudinale²³³ permettrait d'évaluer l'impact des politiques incitatives sur la population d'agences et sur le secteur de la construction.

L'implémentation des pratiques BIM et ses difficultés

Les difficultés de l'implémentation

L'implémentation des pratiques BIM est un moment assez difficile pour beaucoup d'agences, en particulier lorsqu'il s'agit du niveau 1. Il arrive que l'implémentation ne fonctionne pas, malgré l'achat des outils et la réalisation de formations. Cet échec peut même mettre les agences dans une situation économique très délicate.

Même lorsqu'elle se passe bien, l'implémentation nécessite un important investissement en temps et en argent. Cela entraîne généralement une baisse de productivité au cours de l'implémentation qui nécessite d'être anticipée. Peu d'agences développent des stratégies pour traiter ces difficultés. C'est pour cette raison que nous avons proposé des recommandations et une feuille de route qui permettent aux agences d'anticiper et de faire face à ces difficultés.

Une proposition de feuille de route pour accompagner les agences

Nous nous sommes appuyés sur les résultats de notre enquête, sur le suivi de plusieurs agences ainsi que sur le domaine de la gestion du changement pour proposer des recommandations aux agences qui souhaitent implémenter des pratiques BIM. Ces recommandations ont pris la forme d'une feuille de route en quatre étapes, qui intègrent de nombreuses dimensions de la gestion de projet (identification des besoins, planification, gestion des risques, etc.) et les principes de la

²³³ suivi d'une population dans le temps

gestion du changement. Dans une perspective de valorisation, la feuille de route proposée a fait l'objet du développement d'un prototype d'application pour en proposer une version interactive, synthétique et ludique.

Notre travail portait deux principaux objectifs : de construire un socle de connaissance sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation du BIM dans les agences ; et de proposer des outils pour en faciliter l'implémentation. Une grande partie de notre recherche s'est orientée sur le premier objectif, car le socle de connaissances à constituer était conséquent. Nous avons identifié de nombreuses lacunes dans la littérature sur l'adoption du BIM que nous avons tenté de combler. Les outils que nous proposons sont pour l'instant lacunaires, mais la connaissance que nous avons constituée sur la diffusion, l'adoption et l'implémentation du BIM permettra d'alimenter de futures recherches et de formaliser des propositions et outils à destination des agences.

Enfin, notons que la proposition d'une feuille de route est une réponse très partielle aux difficultés que les agences rencontrent pour implémenter des pratiques BIM. En effet, nous avons abordé principalement des problématiques organisationnelles du changement. Mais nous avons vu également que la culture professionnelle des architectes, qui a impacté la structure, culture, et les pratiques des agences portait en elle des contradictions avec les pratiques BIM que les agences tentent aujourd'hui d'implémenter. C'est pour cette raison que la problématique de diffusion, d'adoption (et même d'implémentation) du BIM dans les agences ne peut être dissociée de l'impact de cette culture professionnelle aujourd'hui en évolution.

Perspectives

Le développement des pratiques BIM et les politiques incitatives ont accéléré l'évolution de l'organisation de la maîtrise d'œuvre. Celles-ci vont certainement faire évoluer la loi MOP qui ne permet pour l'instant pas réellement un fonctionnement en mode concourant. Le positionnement des architectes vis-à-vis des missions BIM est certainement déterminant et impactera l'orientation des réglementations futures.

La notion de « profession libérale » des architectes entre aujourd'hui en contradiction avec une maîtrise d'œuvre toujours plus diversifiée et qui n'est ni soumise à une mission d'intérêt général ni à une déontologie professionnelle. Dans la continuité de l'évolution de la maîtrise d'œuvre, la notion de « profession libérale », réservée aux architectes aujourd'hui pourrait évoluer vers des « activités libérales » ou « groupements momentanés d'entreprises libérales » (Chesneau 2018a) qui concerneraient l'ensemble de la maîtrise d'œuvre.

Dans tous les domaines, le *cloud computing* commence à externaliser la puissance de calcul hors des entreprises. Les logiciels migrent progressivement vers des services et applications web. Pour

l'architecture et la construction, cela se manifeste par la diffusion des licences par abonnement qui intègrent désormais des services (espace de stockage, puissance de calcul), avec les avantages et les inconvénients que cela comporte. De nombreux livrables et démarches administratives comme des demandes d'autorisation d'urbanisme ou des permis de construire sont progressivement dématérialisés, comme cela est envisagé dans le plan BIM 2022. Dans ce cadre, le développement de standards ouverts et d'une réglementation des logiciels sera incontournable pour garantir l'intérêt commun et le respect des données personnelles.

Notre travail de recherche a donc permis de dresser un panorama et une photographie de l'état de la diffusion du BIM au cours d'une période charnière. Il permet d'en comprendre les ressorts culturels en France et d'envisager son impact sur la population des agences françaises. La dimension internationale de la diffusion des pratiques BIM appelle des études conduites à des échelles plus importantes que celle de la France et dépassant très largement la seule profession d'architecte. Les pistes de recherche concernant la thématique du BIM sont très nombreuses car il reste de nombreuses problématiques techniques, humaines et éthiques à investir dans ce domaine pour permettre une gestion efficace et souhaitable des informations du bâtiment.

Enfin, alors qu'il intervient dans un contexte de réforme des ENSA, ce travail a souligné l'impact des programmes pédagogiques des écoles d'architecture sur le secteur de l'architecture. Le développement de la recherche permet en effet l'anticipation des transformations de la société, nécessaire à l'exercice de la profession et à son évolution.

Bibliographie

3F CONSTRUCTION, 2021. Le cahier des charges BIM de 3F pour la construction. [en ligne]. 2021. [Consulté le 18 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.groupe3f.fr/3f/achats/notre-cahier-des-charges-bim>

ABSIL, Fabrice, DE BOISSIEU, Aurélie, DAHER, Elie, FERRIÈS, Bernard, GOULETTE, Jean-Pierre, GUERRIERO, Annie, KUBICKI, Sylvain, MARQUES, Sandra et REITER, Sandrine, 2015. Méthode BIMetric, Grille 1. [en ligne]. 2015. [Consulté le 15 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : <http://bimetric.list.lu/>

ABUBAKAR, Mu'awiya, IBRAHIM, Yahaya Makarfi, KADO, D. et BALA, K., 2014. Contractors' Perception of the Factors Affecting Building Information Modelling (BIM) Adoption in the Nigerian Construction Industry. In : *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*. Orlando, Florida, United States : American Society of Civil Engineers. 17 juin 2014. pp. 167-178. ISBN 978-0-7844-1361-6.

ABUELMAATTI, Aisha A., AHMED, Van S. et BABAN, Heveine S., 2014. Collaborative technologies for small and medium-sized architecture, engineering and construction enterprises: implementation survey. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2014. Vol. 19, n° 12, pp. 210-224.

ACQUAH, Richard, EYIAH, Alex K. et OTENG, Daniel, 2018. Acceptance of Building Information Modelling: a survey of professionals in the construction industry in Ghana. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 3 avril 2018. Vol. 23, n° 4, pp. 75-91.

ADNC, 2017. ADN Construction - Site officiel. [en ligne]. 2017. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.adnconstruction.org/>

AGIRACHMAN, Fauzan Alfi, PUTRA, Ilham Fajar et ANGKAWIJAYA, Adam, 2018. Initial Study on Building Information Modeling Adoption Urgency for Architecture Engineering and Construction Industry in Indonesia. In : *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences. 2018. pp. 06002.

AHMED, Ahmed L., 2019. *Development of Conceptual Constructs for Organisational BIM Adoption and their Systematic Application within the UK Architecture Sector*. PhD Thesis. University of Sheffield.

AHMED, Ahmed L. et KASSEM, Mohamad, 2018. A unified BIM adoption taxonomy: Conceptual development, empirical validation and application. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 96, pp. 103-127. DOI 10.1016/j.autcon.2018.08.017.

AHMED, Ahmed L. et KASSEM, Mohamad, 2019. Micro BIM Adoption: Identifying Cause and Effect Factors and Analysing their Inter-dependencies using a Fuzzy DEMATEL Approach. In : *Creative Construction Conference*. Budapest, Hungary. 2019.

AHMED, Ahmed L., KAWALEK, John P. et KASSEM, Mohamad, 2017. A Comprehensive Identification and Categorisation of Drivers, Factors, and Determinants for BIM Adoption: A Systematic Literature Review. In : *ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2017*. 2017.

AHMED, Ahmed L., KAWALEK, Paul et KASSEM, Mohamad, 2017. A Conceptual Model for Investigating BIM Adoption by Organisations. In : *Proceedings of the Joint Conference on Computing in Construction (JC3)*. Heraklion, Greece. juillet 2017. pp. 447-455.

AHUJA, Ritu, SAWHNEY, Anil, JAIN, Megha, ARIF, Mohammed et RAKSHIT, Samya, 2018. Factors influencing BIM adoption in emerging markets—the case of India. *International Journal of Construction Management*. 2018. pp. 1-12. DOI 10.1080/15623599.2018.1462445.

AIBINU, Ajibade et VENKATESH, Sudha, 2014. Status of BIM Adoption and the BIM Experience of Cost Consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. juillet 2014. Vol. 140, n° 3, pp. 04013021. DOI 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193.

AISH, Robert, 1986. Building modelling: the key to integrated construction CAD. In : *CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*. 1986. pp. 7-9.

AJZEN, Icek, 1991. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*. 1991. Vol. 50, n° 2, pp. 179-211. DOI 10.1016/0749-5978(91)90020-T.

AL-BAHAR, Jamal F. et CRANDALL, Keith C., 1990. Systematic risk management approach for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1990. Vol. 116, n° 3, pp. 533-546. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(1990)116%3A3(533).

ALDEBERT, Bénédicte et ROUZIES, Audrey, 2011. L'utilisation des méthodes mixtes dans la recherche française en stratégie: constats et pistes d'amélioration. In : *20ème colloque de l'AIMS*. 2011.

ALHUMAYN, Saud, CHINYIO, Ezekiel et NDEKUGRI, Issak, 2017. The barriers and strategies of implementing BIM in Saudi Arabia. *WIT Transactions on The Built Environment*. 2017. Vol. 169, pp. 55-67. DOI 10.2495/BIM170061.

ALLAIRE, Yan et FIRSIROTU, Michaela E., 1988. Révolutions culturelles dans les grandes organisations: la gestion des stratégies radicales. *La culture organisationnelle aspects théoriques pratiques et méthodologiques*. 1988. pp. 197-226.

ALLPLAN, 2020. Allplan - Du pionnier de la CAO à la plate-forme BIM. [en ligne]. 2020. [Consulté le 3 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.allplan.com/fr/company/histoire/>

ALMUNTASER, Taqiadden, SANANI-ANIBIRE, Muizz O. et HASSANAIN, Mohammad A., 2018. Adoption and implementation of BIM—case study of a Saudi Arabian AEC firm. *International Journal of Managing Projects in Business*. 2018. Vol. 11, n° 3, pp. 608-624. DOI 10.1108/IJMPB-05-2017-0046.

ALRESHIDI, Eissa, MOURSHED, Monjur et REZGUI, Yacine, 2017. Factors for effective BIM governance. *Journal of Building Engineering*. 2017. Vol. 10, pp. 89-101. DOI 10.1016/j.jobbe.2017.02.006.

ALTER, Norbert, 2015a. *L'innovation ordinaire*. Presses Universitaires de France. ISBN 978-2-13-074132-9.

ALTER, Norbert, 2015b. L'organisation en mouvement. In : *L'innovation ordinaire*. Presses Universitaires de France. ISBN 978-2-13-074132-9.

ALVESSON, Mats et WILLMOTT, Hugh, 2012. *Making Sense of Management: A Critical Introduction*. SAGE. ISBN 978-1-4462-6388-4.

AMC, 2020. Cessons d'opposer théoriciens et praticiens, réponse collective à la SFA. *AMC Archi* [en ligne]. 2020. [Consulté le 9 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.amc-archi.com/article/point-de-vue,11581>

AMRHEIN, Valentin, GREENLAND, Sander et MCSHANE, Blake, 2019. Scientists rise up against statistical significance. *Nature*. mars 2019. Vol. 567, n° 7748, pp. 305-307. DOI 10.1038/d41586-019-00857-9.

ARAYICI, Yusuf, COATES, Paul, KOSKELA, Lauri, KAGIOGLOU, Mike, USHER, Colin et O'REILLY, Karen, 2011a. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*. 2011. Vol. 20, n° 2, pp. 189-195. DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.016.

ARAYICI, Yusuf, COATES, Paul, KOSKELA, Lauri, KAGIOGLOU, Mike, USHER, Colin et O'REILLY, Karen, 2011b. BIM adoption and implementation for architectural practices. *Structural survey*. 2011. Vol. 29, n° 1, pp. 7-25. DOI 10.1108/02630801111118377.

ARENE, Olivier, 2015. Le BIM est la dernière chance des architectes de re-devenir les maîtres d'œuvre qu'ils ont cessé d'être. *AMC Archi* [en ligne]. 2015. [Consulté le 24 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.amc-archi.com/article/le-bim-est-la-derniere-chance-des-architectes-de-re-devenir-les-maitres-d-uvre-qu-ils-ont-cesse-d-etre-par-olivier-arene-architecte,1552>

ARGYRIS, Chris, 1994. Good communication that blocks learning. *Harvard Business Review*. 1994. Vol. 72, n° 4, pp. 77-85.

ARGYRIS, Chris et SCHÖN, Donald A., 1978. *Organizational learning*. Reading, Mass : Addison-Wesley Pub. Co. Addison-Wesley OD series. ISBN 978-0-201-00174-7. HD58.8 .A75

ARTHUR, W. Brian, 1989. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The economic journal*. 1989. Vol. 99, n° 394, pp. 116-131. DOI 10.2307/2234208.

ARUNKUMAR, SivaKumar, SUVEETHA, V. et RAMESH, Aishwarya, 2018. A feasibility study on the implementation of building information modeling (BIM): from the architects' & engineers' perspective. *Asian Journal of Civil Engineering*. février 2018. Vol. 19, n° 2, pp. 239-247. DOI 10.1007/s42107-018-0020-9.

ATKIN, Brian et BROOKS, Adrian, 2015. *Total facility management*. Fourth edition. Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom : Wiley-Blackwell. ISBN 978-1-118-65545-0.

AUTISSIER, David, VANDANGEON-DERUMEZ, Isabelle et VAS, Alain, 2014. *Conduite du changement, concepts clés: 50 ans de pratiques issues des travaux des auteurs fondateurs*. Paris : Dunod. ISBN 978-2-10-070574-0.

AUTODESK, 2019. *Maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage en pleine révolution BIM - état des lieux, perceptions et axes de développement* [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.autodesk.fr/solutions/bim/explore-building-design/bim-study>

AZHAR, Salman, AHMAD, Irtishad et SEIN, Maung K., 2009. Action research as a proactive research method for construction engineering and management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009. Vol. 136, n° 1, pp. 87-98. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000081.

B4V, 2019. Cadre de référence B4V. *Smart Buildings Alliance* [en ligne]. 2019. [Consulté le 20 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.smartbuildingsalliance.org/project/cadre-de-reference-b4v>

BABIČ, Nenad Čuš et REBOLJ, Danijel, 2016. Culture change in construction industry: from 2D toward BIM based construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2016. Vol. 21, n° 6, pp. 86-99.

BAGOZZI, Richard P., DAVIS, Fred D. et WARSHAW, Paul R., 1992. Development and test of a theory of technological learning and usage. *Human relations*. 1992. Vol. 45, n° 7, pp. 659-686.

BAILLET, Etienne, 2018. Les organisations et les structures contractuelles de la maîtrise d'oeuvre. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 211-224. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

BAREIL, Céline et SAVOIE, André, 1999. Comprendre et mieux gérer les individus en situation de changement organisationnel. *Management*. 1999. Vol. 24, pp. 86-95.

BARISON, Maria Bernardete et SANTOS, Eduardo Toledo, 2011. The competencies of BIM specialists: a comparative analysis of the literature review and job ad descriptions. In : *Conference: International Workshop on Computing in Civil Engineering*. 2011. pp. 594-602.

BARLISH, Kristen et SULLIVAN, Kenneth, 2012. How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction*. 1 juillet 2012. Vol. 24, pp. 149-159. DOI 10.1016/j.autcon.2012.02.008.

BARTHE, Yannick, BLIC, Damien de, HEURTIN, Jean-Philippe, LAGNEAU, Éric, LEMIEUX, Cyril, LINHARDT, Dominique, BELLAING, Cédric Moreau de, RÉMY, Catherine et TROM, Danny, 2013. Sociologie pragmatique : mode d'emploi. *Politix*. 2013. Vol. N° 103, n° 3, pp. 175-204.

BATIACTU, 2017. Quatre organismes professionnels quittent Mediaconstruct. *Batiactu* [en ligne]. 13 avril 2017. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.batiactu.com/edito/quatre-organismes-professionnels-quittent-mediaconstruct-48761.php>

BATIACTU et PTNB, 2017. *Baromètre - Le BIM dans le secteur du BTP* [en ligne]. 2017. Disponible à l'adresse : <http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/PTNB%20-%20Barometre%20%20-%20Mars%202017%20-%20Rapport%20detaille.pdf>

BATTISTI, Giuliana et STONEMAN, Paul, 2005. The intra-firm diffusion of new process technologies. *International Journal of Industrial Organization*. 2005. Vol. 23, n° 1-2, pp. 1-22. DOI 10.1016/j.ijindorg.2004.12.002.

BEDRICK, Jim, 2008. Organizing the development of a building information model. *The American Institute of Architects*. 2008. Vol. 9.

BEIDELER, Julien et FRANQUEVILLE, Laurence, 2014. Logement : Cécile Duflot dévoile les premières mesures d'«Objectifs 500 000». [en ligne]. 18 mars 2014. [Consulté le 20 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.lemoniteur.fr/article/logement-cecile-duflot-devoile-les-premieres-mesures-d-objectifs-500-000.1326709>

BELLENGER, Anne-Marie, BLANDIN, Amélie et CELNIK, Olivier, 2016. *Le BIM sous l'angle du droit: pratiques contractuelles et responsabilités*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; CSTB éditions. ISBN 978-2-212-14381-2.

BERGÈRE, François, 2010. *Le Guide opérationnel des PPP: conditions du recours au partenariat public-privé, passation du contrat, risques et matrice des risques, questions fiscales et comptables*. Paris : Éditions du Moniteur. ISBN 978-2-281-12718-8.

BERNOUX, Philippe, 2015. *Sociologie du changement: dans les entreprises et les organisations*. Paris : Éditions Points. ISBN 978-2-7578-5423-5.

BERTRAND, Quentin, 2014. *Le BIM Manager, qui est-il?* [en ligne]. Mémoire de Séminaire. Toulouse. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01087767/document>

BIBIK, Ilya, 2018. *How to kill the scrum monster quick start to agile scrum methodology and the scrum master role*. Apress; 1st ed. édition (12 juin 2018). Springer. ISBN 978-1-4842-3690-1.

BIGNON, Jean-Claude, HALIN, Gilles, HANSER, Damien et MALCURAT, Olivier, 2000. CoCAO: Collecticiel à l'usage des métiers du bâtiment. In : *2ème conférence IBPSA'2002 : Modélisation et simulation des bâtiments*. 2000.

BIGNON, Jean-Claude, KUBICKI, Sylvain et HALIN, Gilles, 2009. Qualité et processus de mise en oeuvre du bâtiment. In : BIAU, Véronique et LAUTIER, François (éd.), *La qualité architecturale: acteurs et enjeux*. 1re éd. Paris : Editions de la Villette, RAMAU, PUCA. pp. 127-142. Cahiers Ramau, 5. ISBN 978-2-915456-47-9. NA2540 .Q33 2009

BIN ZAKARIA, Zahrizan, MOHAMED ALI, Nasly, TARMIZI HARON, Ahmad, MARSHALL-PONTING, Amanda et ABD HAMID, Zuhairi, 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*. août 2013. Vol. 2, pp. 384-395. DOI 10.15623/ijret.2013.0208060.

BLANCHET, Alain et GOTMAN, Anne, 2017. *L'entretien*. ISBN 978-2-200-60191-1.

BONANOMI, Marcella, PAGANIN, Giancarlo et TALAMO, Cinzia, 2016. BIM implementation in Design firms. Risk-response strategies to support change management. In : *41st IAHS WORLD CONGRESS. Sustainability and Innovation for the Future*. 13 septembre 2016. pp. 1-9.

BOTON, Conrad, 2013. *Conception de vues métiers dans les collecticiels orientés service. Vers des multi-vues adaptées pour la simulation collaborative 4D/nD de la construction* [en ligne]. These de doctorat. Université de Lorraine. [Consulté le 4 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2013LORR0014>

BOTON, Conrad, FORGUES, Daniel et HALIN, Gilles, 2017. Les enjeux liés à l'intégration de l'approche BIM de modélisation des données du bâtiment à l'enseignement universitaire : cas d'une école d'ingénierie. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*. 2017. Vol. 14, n° 2, pp. 5-23.

BOTON, Conrad et KUBICKI, Sylvain, 2014. Maturité des pratiques BIM: Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. In : *SCAN'14, 6ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique* [en ligne]. 2014. pp. 45-56. [Consulté le 22 août 2017]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01025675/>

BOTON, Conrad, RIVEST, Louis, FORGUES, Daniel et JUPP, Julie, 2016. Comparing PLM and BIM from the Product Structure Standpoint. In : HARIK, Ramy, RIVEST, Louis, BERNARD, Alain, EYNARD, Benoit et BOURAS, Abdelaziz (éd.), *Product Lifecycle Management for Digital Transformation of Industries*. Cham : Springer International Publishing. 2016. pp. 443-453. IFIP Advances in Information and Communication Technology. ISBN 978-3-319-54660-5.

BOURGAULT, Mario, DANJOU, Christophe, PELLERIN, Robert, PERRIER, Nathalie, BOTON, Conrad, FORGUES, Daniel, IORDANOVA, Ivanka, POIRIER, Erik, RIVEST, Louis et JOBLOT, Laurent, 2021. Transformer le secteur de la construction par le numérique : un chantier ambitieux et nécessaire. In : *Le Québec économique 9 : Perspectives et défis de la transformation numérique* [en ligne]. CIRANO. pp. 433-456. [Consulté le 4 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03124248>

BOURGEOIS, Catherine (éd.), 2009. *Dynamiques de la sociologie économique: concepts, controverses, chantiers*. Toulouse : Octarès. Le travail en débats. Entreprise, travail, emploi. ISBN 978-2-915346-71-8. HM548 .D95 2009

BRESSON, Jean-Yves, 2014. Les gains de l'opérabilité. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 45-47. ISBN 978-2-212-13836-8.

BREVIGLIERI, Marc et STAVO-DEBAUGE, Joan, 1999. Le geste pragmatique de la sociologie française. Autour des travaux de Luc Boltanski et Laurent Thévenot. *Anthropologica*. 1999. Vol. 7, pp. 7-22.

BUILDINGSMART FRANCE, 2019. Mémos pratiques pour mieux cerner et travailler en BIM | buildingSMART France, association des acteurs du BIM en France. [en ligne]. 26 mars 2019. [Consulté le 10 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/memos-pratiques-BIM/>

BURGELMAN, Robert A., 2002. Strategy as vector and the inertia of coevolutionary lock-in. *Administrative science quarterly*. 2002. Vol. 47, n° 2, pp. 325-357. DOI 10.2307/3094808.

BURNES, Bernard, 2004. Kurt Lewin and the planned approach to change: a re-appraisal. *Journal of Management studies*. 2004. Vol. 41, n° 6, pp. 977-1002. DOI 10.1111/j.1467-6486.2004.00463.x.

BURNS, Tom et STALKER, George M., 1981. The Management of Innovation. *Oxford University Press*. 1981. DOI 10.1093/acprof:oso/9780198288787.001.0001.

CAILLE, Emmanuel, 2017. Classement par chiffres d'affaires des 300 premières agences françaises. *D'Architectures*. décembre 2017. N° 259, pp. 166-180.

CAO, Dongping, LI, Heng et WANG, Guangbin, 2014. Impacts of Isomorphic Pressures on BIM Adoption in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1 décembre 2014. Vol. 140, n° 12, pp. 04014056. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000903.

CAO, Dongping, LI, Heng, WANG, Guangbin et HUANG, Ting, 2017. Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects: An empirical study in China. *International journal of project management*. 2017. Vol. 35, n° 4, pp. 658-669. DOI 10.1016/j.ijproman.2016.02.002.

CARVAIS, Robert, 2018a. L'histoire de la responsabilité des architectes. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 103-117. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

CARVAIS, Robert, 2018b. L'institutionnalisation de la profession d'architecte exprimée par un titre, XIXe-XXe siècles. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 87-91. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

CASTEL, Gabriel, 2015. L'humain est au cœur du processus BIM. *AMC Archi* [en ligne]. 2015. [Consulté le 24 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.amc-archi.com/article/l-humain-est-au-c-ur-du-processus-bim-par-gabriel-castel-bim-et-consulting-manager-nemetschek,1597>

CELNIK, Olivier, 2014a. Le BIM en questions. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. ISBN 978-2-212-13836-8.

CELNIK, Olivier, 2014b. BIM manager: nouveau métier ou nouvelle fonction ? In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 216. ISBN 978-2-212-13836-8.

CELNIK, Olivier, 2014c. Nouvelle donne dans l'enseignement et la formation. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 315-319. ISBN 978-2-212-13836-8.

CERVENY, Robert P. et SANDERS, G. Lawrence, 1986. Implementation and structural variables. *Information & Management*. 1986. Vol. 11, n° 4, pp. 191-198.

CHAMPY, Florent, 1995. *Commande publique d'architecture et marche du travail des architectes : la politique architecturale de l'assistance publique des hopitaux de paris* [en ligne]. These de doctorat. Paris, EHESS. [Consulté le 6 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.theses.fr/1995EHES0068>

CHAMPY, Florent, 2001. *Sociologie de l'architecture*. Paris : La Decouverte. Repères, 314. ISBN 978-2-7071-3470-7.

CHAN, Caroline TW, 2014. Barriers of implementing BIM in construction industry from the designers' perspective: A Hong Kong experience. *Journal of System and Management Sciences*. 2014. Vol. 4, n° 2, pp. 24-40.

CHARUE-DUBOC, Florence et MIDLER, Christophe, 2002. L'activité d'ingénierie et le modèle de projet concourant. *Sociologie du travail*. 2002. Vol. 44, n° 3, pp. 401-417. DOI 10.4000/sdt.33858.

CHESNEAU, Isabelle, 2018a. La profession libérale d'architecte. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 72-80. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

CHESNEAU, Isabelle, 2018b. Acquérie une identité d'architecte : Le projet professionnel. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 37-51. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

CHESNEAU, Isabelle, 2018c. Le conseil national de l'Ordre des architectes, les syndicats patronaux et les associations d'architectes. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 92-101. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

CIBOIS, Philippe et MERCKLÉ, Pierre, 2015. Chapitre IV : Les figures de l'analyse des correspondances. In : *Les méthodes d'analyse d'enquêtes*. Lyon : ENS éd. ISBN 978-2-84788-721-1.

CIC, 2010. *BIM project execution planning guide, version 2.0*. CIC Research Group, Pennsylvania State University.

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2015. *Archigraphie 1 - Chiffres et cartes de la profession d'architecte* [en ligne]. 2015. Observatoire de la profession d'architecte. Disponible à l'adresse : https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/archigraphie-light_1.pdf

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2016. *Archigraphie 2 - Sortir de la crise* [en ligne]. 2016. Observatoire de la profession d'architecte. Disponible à l'adresse : https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/archigraphie-coul-2016-web_0.pdf

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2017. BIM : choisir la bonne formation. *Ordre des architectes* [en ligne]. 27 octobre 2017. [Consulté le 18 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/actualites/bim-choisir-la-bonne-formation>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2018a. *Archigraphie 2018 (4) - Relever les défis à travers la collaboration* [en ligne]. 2018. Observatoire de la profession d'architecte. Disponible à l'adresse : https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/archigraphie-2018-web_0.pdf

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2018b. *Proposition de trame détaillée de convention BIM* [en ligne]. 30 août 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/bim-convention.pdf>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2018c. Les outils informatiques pour concevoir en BIM. *Ordre des architectes* [en ligne]. 12 juin 2018. [Consulté le 13 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/actualites/les-outils-informatiques-pour-concevoir-en-bim>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2018d. Le BIM. *Ordre des architectes* [en ligne]. 2018. [Consulté le 10 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/le-bim>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2018e. Le BIM, combien ça coûte ? *Ordre des architectes* [en ligne]. 2 mai 2018. [Consulté le 17 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/actualites/le-bim-combien-ca-coute>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2020. Le financement de la formation professionnelle. *Ordre des architectes* [en ligne]. 2020. [Consulté le 19 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/le-financement-de-la-formation-professionnelle>

CNOA, Conseil national de l'ordre des architectes (France), 2021. Page de recherche de formation. *Ordre des architectes* [en ligne]. 2021. [Consulté le 18 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/recherche-formation>

COATES, Paul, ARAYICI, Yusuf, KOSKELA, Lauri, KAGIOGLOU, Mike, USHER, Colin et O'REILLY, Karen, 2010. The key performance indicators of the BIM implementation process. In : *The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Nottingham, UK. 1 juillet 2010.

COCH, Lester et FRENCH JR, John RP, 1948. Overcoming resistance to change. *Human relations*. 1948. Vol. 1, n° 4, pp. 512-532. DOI 10.1177/001872674800100408.

CODE DE LA COMMANDE PUBLIQUE, 2019a. Code de la commande publique | Legifrance. [en ligne]. 2019. [Consulté le 7 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000037701019&dateTexte=20190409>

CODE DE LA COMMANDE PUBLIQUE, 2019b. *Article R2431-4* [en ligne]. 2019. [Consulté le 7 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000037728183/2019-04-01>

COLLAN, Mikael et TÉTARD, Franck, 2011. Lazy User Model: solution selection and discussion about switching costs. In : *Scandinavian Conference on Information Systems*. Springer. 2011. pp. 56-68.

COOPER, Randolph B. et ZMUD, Robert W., 1990. Information Technology Implementation Research: A Technological Diffusion Approach. *Management Science*. 1 février 1990. DOI 10.1287/mnsc.36.2.123. world

CÔTÉ, Jean-François, DORÉ, Sylvie et FORGUES, Daniel, 2019. Revenir aux fondamentaux du lean dans l'usage du pdvsm (Product Development Value Stream Mapping) en construction. In : *CSCE Annual Conference* [en ligne]. Montreal. juin 2019. Disponible à l'adresse : https://www.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2019/pdfs/PaperPDFversion_235_0603055437.pdf

COTTS, David G., ROPER, Kathy O. et PAYANT, Richard P., 2010. *The facility management handbook*. 3rd ed. New York : American Management Association. ISBN 978-0-8144-1380-7. HD1394 .C68 2010

COUR DES COMPTES EUROPÉENNE, 2018. *Les partenariats public-privé dans l'UE: de multiples insuffisances et des avantages limités* [en ligne]. Rapport spécial. Disponible à l'adresse : https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_09/SR_PPP_FR.pdf

CROIZER, Jacques, 2002. Géométrie dans l'espace social. *Revue internationale de philosophie*. 2002. Vol. n° 220, n° 2, pp. 195-225. DOI 10.3917/rip.220.0195.

CROSNIER, Isabelle, 2007. La Programmation au service de l'ambition architecturale. *Bulletin des bibliothèques de France*. 2007. N° 1, pp. 11-19.

CULOT, Maurice, PEYCERÉ, David et RAGOT, Gilles, 2000. *Les frères Perret: l'oeuvre complète: les archives d'Auguste Perret (1874-1954) et Gustave Perret (1876-1952): architectes-entrepreneurs*. Éd. Norma. ISBN 2-909283-33-X.

DAO, Lieu et FORGUES, Daniel, 2013. Transformer la gestion des équipements avec le BIM: une étude de cas. *GEN*. 2013. Vol. 223, pp. 1.

DAVIES, Kathryn, MCMEEL, Dermott et WILKINSON, Suzanne, 2015. Soft skills requirements in a BIM project team. In : *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference*. ndhoven, The Netherlands : International Council For Research And Innovation In Building And 2015.

DAVIS, Fred D., 1989. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*. 1989. Vol. 13, n° 3, pp. 319-340. DOI 10.2307/249008.

DE BOISSIEU, Aurélie, 2020. Super-utilisateurs ou super-spécialistes ? Cartographie des catalyseurs de la transformation numérique en agence d'architecture. *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère* [en ligne]. 28 décembre 2020. N° 9|10. [Consulté le 10 février 2021]. DOI 10.4000/craup.5551. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/craup/5551>

DE SINGLY, François, 2016. *Le questionnaire*. Paris : Armand Colin Paris. ISBN 978-2200613211.

DEBIZET, Gilles et HENRY, Eric, 2009. Qualités en conception, concourance et management de la qualité. In : BIAU, Véronique et LAUTIER, François (éd.), *La qualité architecturale: acteurs et enjeux*. 1re éd. Paris : Editions de la Villette. pp. 143-162. Cahiers Ramau, 5. ISBN 978-2-915456-47-9. NA2540 .Q33 2009

DECOMMER, Maxime, 2018a. L'institutionnalisation de la profession d'architecte exprimée par un titre, XIXe-XXe siècles. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 87-91. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

DECOMMER, Maxime, 2018b. L'entreprise libérale d'architecture. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 421-425. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

DELBOSC D'AUZON, Sophie et SAADA-GRANET, Axelle, 2001. Les marchés publics et privés en 15 étapes : Etape 4 La passation des marchés de maîtrise d'oeuvre. *LE MONITEUR* [en ligne]. 5 octobre 2001. [Consulté le 7 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.lemoniteur.fr/article/les-marches-publics-et-privés-en-15-etapes-etape-4-la-passation-des-marches-de-maitrise-d-oeuvre.277864>

DELCAMBRE, Bertrand, 2014. *Rapport Mission Numérique Bâtiment* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.batiment-numerique.fr/uploads/PDF/rapport-mission-numerique-batiment-vf.pdf>

DEUTSCH, Morton et GERARD, Harold B., 1955. A study of normative and informational social influences upon individual judgment. *The journal of abnormal and social psychology*. 1955. Vol. 51, n° 3, pp. 629.

DEWEY, John et DELEDALLE, Gérard, 1994. Logique. La théorie de l'enquête. *Revue Philosophique de la France Et de l.* 1994. Vol. 184, n° 4.

DIDELON, Valéry, 2014. L'empire du BIM. *Criticat*. 2014. N° 13, pp. 70-85.

DIMAGGIO, Paul J. et POWELL, Walter W., 1983. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American sociological review*. 1983. Vol. Vol. 48, No. 2 (Apr., 1983), pp. 147-160. DOI 10.2307/2095101.

DIMAGGIO, Paul J. et POWELL, Walter W., 2000. The iron cage revisited: institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *Economics Meets Sociology in Strategic Management*. 2000. pp. 143-166. DOI 10.1016/S0742-3322(00)17011-1.

DING, Zhikun, ZUO, Jian, WU, Jinchuang et WANG, J. Y., 2015. Key factors for the BIM adoption by architects: A China study. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 16 novembre 2015. Vol. 22, n° 6, pp. 732-748. DOI 10.1108/ECAM-04-2015-0053.

DOSSIER, Jean-Michel, 2014. Téléconférence, interactivité et maquette numérique communicante. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 82-84. ISBN 978-2-212-13836-8.

DU MERLE, Sébastien, 2014. BIM et plates-formes collaboratives : Les outils des échanges de fichiers. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 99-102. ISBN 978-2-212-13836-8.

DUVAL, Julien, 2013. L'analyse des correspondances et la construction des champs. *Actes de la recherche en sciences sociales*. 2013. Vol. 5, n° 200, pp. 110-123. DOI 10.3917/arss.200.0110.

EADIE, Robert, BROWNE, Mike, ODEYINKA, Henry, MCKEOWN, Clare et MCNIFF, Sean, 2015. A survey of current status of and perceived changes required for BIM adoption in the UK. *Built Environment Project and Asset Management*. 2015. DOI 10.1108/BEPAM-07-2013-0023.

EASTMAN, Charles M., 1999. *Building product models: computer environments supporting design and construction*. Boca Raton, Fla : CRC Press. ISBN 978-0-8493-0259-6. TA643 .E27 1999

EASTMAN, Charles, TEICHOLZ, Paul, SACKS, Rafael et LISTON, Kathleen, 2011. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2nd ed. Hoboken, NJ : Wiley. ISBN 978-0-470-54137-1.

EASTMAN, Chuck, TEICHOLZ, Paul, SACKS, Rafael et LISTON, Kathleen, 2008. *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J : Wiley. ISBN 978-0-470-18528-5. TH437 .B53 2008

EDIRISINGHE, Ruwini et LONDON, Kerry, 2015. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption. In : *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference*. 2015. pp. 149-158.

EDUBIM, 2020, 2020. EDUBIM2020 - Sciencesconf.org. [en ligne]. 2020. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://edubim2020.sciencesconf.org/>

ELLIS, Clarence et WAINER, Jacques, 1994. A conceptual model of groupware. In : *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*. 1994. pp. 79-88.

EPSTEIN, Erika, 2012. *Implementing successful building information modeling*. Artech House Publishers; Unabridged édition (30 juin 2012). Artech House. ISBN 978-1-60807-139-5.

EYNON, John, 2016. *Construction manager's BIM handbook*. Chichester, West Sussex, United Kingdom : Wiley Blackwell. ISBN 978-1-118-89647-1. TH438.13 .E96 2016

EYROLLES, 2021. Eyrolles : Livres de la collection Blanche BTP - Librairie Eyrolles. [en ligne]. 2021. [Consulté le 21 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.eyrolles.com/BTP/Collection/3163/blanche-btp/>

FADEUILHE, Clémentine, 2015. *Le changement organisationnel suite à l'intégration du BIM dans une agence d'architecture* [en ligne]. Mémoire de Master. École de technologie supérieure. Disponible à l'adresse : <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1505/>

FAISAL SHEHZAD, Hafiz Muhammad, BINTI IBRAHIM, Roliana, YUSOF, Ahmad Fadhil, MOHAMED KHAIDZIR, Khairul Anwar, SHAWKAT, Shahan et AHMAD, Sumera, 2020. Recent developments of BIM adoption based on categorization, identification and factors: a systematic literature review. *International Journal of Construction Management*. 2020. pp. 1-13. DOI 10.1080/15623599.2020.1837719.

FELTESSE, Vincent, 2013. *Concertation sur l'enseignement supérieur et la recherche en architecture* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.culture.gouv.fr/Espace-documentation/Rapports/Concertation-sur-l-enseignement-superieur-et-la-recherche-en-architecture>

FERRIÈS, Bernard, 2014. Comment échanger en IFC? In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 93-96. ISBN 978-2-212-13836-8.

FERRIES, Bernard, 2019. Outils et méthode pour la production collaborative de ressources pédagogiques pour l'enseignement du BIM. In : *EDUBIM* [en ligne]. mai 2019. Disponible à l'adresse :

https://www.researchgate.net/profile/Bernard_Ferries/publication/333175287_Outils_et_methode_pour_la_production_collaborative_de_ressources_pedagogiques_pour_l'enseignement_du_BIM/links/5cdeea01299bf14d95a2f99f/Outils-et-methode-pour-la-production-collaborative-de-ressources-pedagogiques-pour-l'enseignement-du-BIM.pdf

FICHMAN, Robert G. et KEMERER, Chris F., 1999. The illusory diffusion of innovation: An examination of assimilation gaps. *Information systems research*. 1999. Vol. 10, n° 3, pp. 255-275. DOI 10.1287/isre.10.3.255.

FISHBEIN, Martin, 1979. A theory of reasoned action: some applications and implications. In : *Nebraska Symposium on Motivation. Nebraska Symposium on Motivation* [en ligne]. University of Nebraska Press. 1979. pp. 65-116. Disponible à l'adresse : <https://www.semanticscholar.org/paper/A-theory-of-reasoned-action%3A-some-applications-and-Fishbein/356811ccd08aa7e544d5f85ac43b4d8b0327fc73>

FISHBEIN, Martin et AJZEN, Icek, 2011. *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach* [en ligne]. Psychology Press. New York : Taylor & Francis. ISBN 978-0-203-83802-0. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.4324/9780203838020>

FOGUESATTO, Cristian Rogério, BORGES, João Augusto Rossi et MACHADO, João Armando Dessimon, 2020. A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide. *Science of The Total Environment*. 10 août 2020. Vol. 729, pp. 138831. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138831.

FORGUES, Daniel et LAPALME, James, 2017. Research Issues in Attempting to Support an Architecture Firm Transition from Fragmented CAD to BIM Collaborative Design. In : LUO, Yuhua (éd.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. pp. 185-192. [Consulté le 22 septembre 2017]. ISBN 978-3-319-66804-8. Disponible à l'adresse : http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-66805-5_23

FRANKLIN, Jerome L., 1976. Characteristics of successful and unsuccessful organization development. *The Journal of Applied Behavioral Science*. 1976. Vol. 12, n° 4, pp. 471-492. DOI 10.1177/002188637601200402.

FREECAD, 2013. FreeCAD - FreeCAD / CAD History. [en ligne]. 31 juillet 2013. [Consulté le 3 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.freecad.sk/en/cad-history>

GARUD, Raghu, KUMARASWAMY, Arun et KARNØE, Peter, 2010. Path dependence or path creation? *Journal of Management Studies*. 2010. Vol. 47, n° 4, pp. 760-774. DOI 10.1111/j.1467-6486.2009.00914.x.

GHAFFARIANHOSEINI, Ali, DOAN, Dat Tien, ZHANG, Tongrui, GHAFFARIANHOSEINI, Amirhosein, NAISMITH, Nicola et TOOKEY, John, 2016. A BIM Readiness & Implementation Strategy for SME Construction Companies in the UK. In : *Proc. of the 33rd CIB W78 Conference*. 2016.

GHASSEMI, Reza et BECERIK-GERBER, Burcin, 2011. Transitioning to Integrated Project Delivery: Potential barriers and lessons learned. *Lean construction journal*. 2011. pp. 32-52.

GINZBERG, Michael J., 1981. Early Diagnosis of MIS Implementation Failure: Promising Results and Unanswered Questions. *Management Science*. 1 avril 1981. Vol. 27, n° 4, pp. 459-478. DOI 10.1287/mnsc.27.4.459.

GLEDSON, Barry, 2017. *Innovation diffusion within the uk construction sector: a study of the adoption of 4D BIM*. Thèse de Doctorat. Newcastle, England.

GLESS, Henri-Jean, 2019. *Vers une conception architecturale BIM-agile. Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une meilleure appropriation de la technologie BIM*. Thèse de Doctorat. Nancy : Université de Lorraine.

GLESS, Henri-Jean, HANSER, Damien et HALIN, Gilles, 2017. BIM-Agile Practices Experiments in Architectural Design. In : LUO, Yuhua (éd.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*. Cham : Springer International Publishing. 2017. pp. 135-142. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-319-66805-5.

GÓMEZ-SÁNCHEZ, Juan Martin, ROJAS-QUINTERO, Juan Sebastian et AIBINU, Ajibade Ayodeji, 2016. The status of BIM adoption and implementation experiences of construction companies in Colombia. *VII Elagec*. 2016. N° November, pp. 601-611.

GRAIS, Bernard, 1977. *Méthodes statistiques*. Nouv. tirage. Paris : Dunod. His Techniques statistiques ; 2. ISBN 978-2-04-010205-0. HA29.5.F7 G7 1976 vol. 2

GREENWOOD, Royston et HININGS, Christopher Robin, 1988. Organizational design types, tracks and the dynamics of strategic change. *Organization studies*. 1988. Vol. 9, n° 3, pp. 293-316. DOI 10.1177/017084068800900301.

GROUPE BATIOACTU, 2018. *Le BIM dans le secteur du BTP* [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : <https://bit.ly/batiment-numerique-barometre2018>

GRUBER, Mario, 2020. An evolutionary perspective on adoption-diffusion theory. *Journal of Business Research*. 1 août 2020. Vol. 116, pp. 535-541. DOI 10.1016/j.jbusres.2020.02.024.

GU, Ning et LONDON, Kerry, 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in Construction*. 1 décembre 2010. Vol. 19, n° 8, pp. 988-999. DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.002.

GUILLAUMOND, Jérôme, 2018. *Elaboration d'une méthode d'accompagnement pour l'implémentation du BIM au travers d'une expérimentation dans une agence d'architecture*. Mémoire de Master. Nancy : Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, MAP-CRAI.

HANNAN, Michael T. et FREEMAN, John, 1977. The population ecology of organizations. *American journal of sociology*. 1977. Vol. 82, n° 5, pp. 929-964.

HANNAN, Michael T. et FREEMAN, John, 1984. Structural inertia and organizational change. *American sociological review*. 1984. pp. 149-164.

HANNUS, Matti, 1996. Islands of Automation in Construction. In : *Construction on the information highway*. Ljubljana, Slovenia. 1996. pp. 20.

HARDIN, Brad et MCCOOL, Dave, 2015. *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. 2nd. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-94276-5.

HARGRAVE, Timothy J. et VAN DE VEN, Andrew H., 2006. A collective action model of institutional innovation. *Academy of management review*. 2006. Vol. 31, n° 4, pp. 864-888. DOI 10.2307/20159256.

HARTY, Chris, 2005. Innovation in construction: a sociology of technology approach. *Building Research & Information*. 2005. Vol. 33, n° 6, pp. 512-522. DOI 10.1080/09613210500288605.

HARTY, Chris, 2008. Implementing innovation in construction: contexts, relative boundedness and actor-network theory. *Construction management and economics*. 2008. Vol. 26, n° 10, pp. 1029-1041. DOI 10.1080/01446190802298413.

HATEM, Wadhah Amer, ABD, Abbas Mahde et ABBAS, Nagham Nawwar, 2018. Motivation Factors for Adopting Building Information Modeling (BIM) in Iraq. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2018. Vol. 8, n° 2, pp. 2668-2672. DOI 10.48084/etasr.1860.

HAVENVID, Malena Ingemansson, LINNÉ, Åse, BYGBALLE, Lena E. et HARTY, Chris (éd.), 2019. *The connectivity of innovation in the construction industry*. Milton Park, Abingdon, Oxon ; New York, NY : Routledge. Spon research. ISBN 978-0-8153-6322-4. HD9715.E852 C66 2019

HCERES, 2017. *Evaluation de l'unité interdisciplinaire : Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine (MAP)* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.hceres.fr/fr/rechercher-une-publication/map-modeles-et-simulations-pour-larchitecture-et-le-patrimoine>

HERR, Christiane M. et FISCHER, Thomas, 2019. BIM adoption across the Chinese AEC industries: An extended BIM adoption model. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2019. Vol. 6, n° 2, pp. 173-178. DOI 10.1016/j.jcde.2018.06.001.

HOCHSCHEID, Elodie, 2015. *BIM : Développement des échanges de fichiers entre deux acteurs de la construction* [en ligne]. Mémoire de Master. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, MAP-CRAI. Disponible à l'adresse : http://meurthe.crai.archi.fr/wordpressFr/wp-content/plugins/Lab_BD/media/pdf/HOCHSCHEID_Elodie_MFE.pdf

HOCHSCHEID, Elodie et HALIN, Gilles, 2018a. L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France. In : *Actes du Séminaire Conception Architecture Numérique 2018* [en ligne]. Nantes, France. octobre 2018. Disponible à l'adresse : www.bit.ly/EH_SCAN18

HOCHSCHEID, Elodie et HALIN, Gilles, 2018b. BIM implementation in architecture firms : Interviews, case studies and action research used to build a method that facilitates implementation of BIM processes and tools. In : *Proceedings of the 36th eCAADe annual conference* [en ligne]. Lodz, Poland. 2018. pp. 10. Disponible à l'adresse : www.bit.ly/EH_eCAADe2018

HOLZER, Dominik, 2015. *The BIM Manager's Handbook, Part 2: Change Management*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-98779-7.

HOSSEINI, M. Reza, BANIHASHEMI, Saeed, CHILESHE, Nicholas, NAMZADI, Mehran Oraee, UDEAJA, C. E., RAMEEZDEEN, Raufdeen et MCCUEN, Tammy, 2016. BIM adoption within Australian Small and Medium-sized Enterprises (SMEs): an innovation diffusion model. *Construction Economics and Building*. 2016. Vol. 16, n° 3, pp. 71-86. DOI 10.5130/AJCEB.v16i3.5159.

HOSSEINI, Reza, PÄRN, Erika, EDWARDS, David, PAPADONIKOLAKI, Eleni et ORAEE, Mehran, 2018. Roadmap to Mature BIM Use in Australian SMEs: Competitive Dynamics Perspective. *Journal of Management in Engineering*. 2018. Vol. 34, n° 5, pp. 05018008. DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000636.

HOVORKA, Frank, BRESSON, Jean-Yves et SEVANICHE, Alain, 2014. *Livre blanc: Maquette numérique et Gestion patrimoniale. Préparer la révolution numérique de l'industrie immobilière* [en ligne]. Caisse des Dépôts et Consignations. [Consulté le 11 février 2020]. Disponible à l'adresse :

http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/Livre_Blanc_Maquette_Numerique_mai2014_PDD_bassedef-v1.pdf

HOYET, Nadia, DUCHENE, Fabien et FOUQUET, Marc de, 2016. *BIM et architecture: programmation, conception, construction, exploitation*. Malakoff : Dunod. ISBN 978-2-10-073879-3.

HUET, Michel, 2018a. L'environnement numérique du bâtiment. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 410-419. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

HUET, Michel, 2018b. Les étapes de la relation contractuelle en marchés publics. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 225-230. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

HUOVILA, Pekka, KOSKELA, Lauri et LAUTANALA, Mika, 1997. Fast or concurrent: the art of getting construction improved. *Lean construction*. 1997. Vol. 143, pp. 159.

HURLEY, Shaan, 2008. Revit History. *Between the Lines* [en ligne]. 2008. [Consulté le 6 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://autodesk.blogs.com/between_the_lines/revit-history.html

HUSSON, François, LÊ, Sébastien, PAGÈS, Jérôme, CAZES, Pierre et ROUX, Maurice, 2016. *Analyse de données avec R*. Rennes : Presses universitaires de Rennes. ISBN 978-2-7535-4869-5.

INSEE, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, 2015. *Fiches sectorielles - Construction - Les entreprises en France* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906529?sommaire=1906539>

INSEE, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, 2017. *Tableaux de l'économie française* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2569436?sommaire=2587886>

ISMAIL, Noor Akmal Adillah, ADNAN, Hamimah et BAKHARY, Nor Azmi, 2019. Building Information Modelling (BIM) Adoption by Quantity Surveyors: A Preliminary Survey from Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. juin 2019. Vol. 267, pp. 052041. DOI 10.1088/1755-1315/267/5/052041.

ISO, 1987. ISO 9001:2015. [en ligne]. 1987. [Consulté le 7 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/20/62085.html>

ISO, 2018. ISO 31000:2018. *ISO* [en ligne]. 2018. [Consulté le 9 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/06/56/65694.html>

ISO, 2019. *ISO and innovation* [en ligne]. [Consulté le 5 mars 2021]. ISBN 978-92-67-11087-5. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/obp/ui#iso:pub:PUB100444>

ISO, 2020. ISO 21502:2020(fr) Management de projets, programmes et portefeuilles — Recommandations sur le management de projets. [en ligne]. 2020. [Consulté le 12 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/07/49/74947.html>

JORF, 1977. *Loi n° 77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture* [en ligne]. [Consulté le 18 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000522423/>

JORF, 1985. *Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée.*

JORF, 2019. *Arrêté du 12 juillet 2019 portant création du titre professionnel de coordinateur BIM du bâtiment* [en ligne]. [Consulté le 11 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038827551/>

JOSEPH GARCIA, Angelo, MOLLAOGLU, Sinem et SYAL, Matt, 2018. Implementation of BIM in Small Home-Building Businesses. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2018. Vol. 23, n° 2, pp. 04018007. DOI 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000362.

KANTER, Rosabeth Moss, STEIN, Barry et JICK, Todd (éd.), 1992. *The Challenge of organizational change: how companies experience it and leaders guide it*. New York : Toronto : New York : Free Press ; Maxwell Macmillan Canada ; Maxwell Macmillan International. ISBN 978-0-02-916991-9. HD58.8 .C43 1992

KARLSSON, Charlie, 1988. *Innovation adoption and the product life cycle*. PhD Thesis. Umeå universitet.

KASSEM, Mohamad et AHMED, Ahmed L., 2019. Micro BIM Adoption: a Multi-Variable Analysis of Adoption within the UK Architecture Sector. In : *Creative Construction Conference 2019*. Építészmérnöki Kar. 2019. pp. 872-877.

KASSEM, Mohamad et SUCCAR, Bilal, 2017. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*. 2017. DOI 10.1016/j.autcon.2017.04.005.

KASSEM, Mohamad, SUCCAR, Bilal et DAWOOD, Nashwan, 2015. Building information modeling: analyzing noteworthy publications of eight countries using a knowledge content taxonomy. *ASCE Library* [en ligne]. 2015. [Consulté le 24 août 2017]. DOI 10.1061/9780784478998.ch08. Disponible à l'adresse : <http://tees.openrepository.com/tees/handle/10149/593102>

KATZ, Elihu, LEVIN, Martin L. et HAMILTON, Herbert, 1963. Traditions of research on the diffusion of innovation. *American sociological review*. 1963. pp. 237-252.

KAUFMANN, Jean-Claude, 2016. *L'entretien compréhensif*. 4 ème édition. Paris : Armand Colin. ISBN 978-2-200-61397-6.

KENSEK, Karen M., 2014. *Building information modeling*. First edition. London ; New York : Routledge, Taylor & Francis Group. PocketArchitecture : technical design series. ISBN 978-0-415-71774-8. TH438.13 .K46 2014

KENT, David C. et BECERIK-GERBER, Burcin, 2010. Understanding construction industry experience and attitudes toward integrated project delivery. *Journal of construction engineering and management*. 2010. Vol. 136, n° 8, pp. 815-825. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000188.

- KHOSROSHAHI, Farzad et ARAYICI, Yusuf, 2012. Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2012. Vol. 19, n° 6, pp. 610-635. DOI 10.1108/09699981211277531.
- KIM, Daniel H., 1998. The link between individual and organizational learning. *The strategic management of intellectual capital*. 1998. Vol. 41, pp. 62.
- KIM, Seongah, PARK, Chan Ho et CHIN, Sangyoon, 2016. Assessment of BIM acceptance degree of Korean AEC participants. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 1 mai 2016. Vol. 20, n° 4, pp. 1163-1177. DOI 10.1007/s12205-015-0647-y.
- KLEIN, Katherine J. et SORRA, Joann Speer, 1996. The challenge of innovation implementation. *Academy of management review*. 1996. Vol. 21, n° 4, pp. 1055-1080. DOI 10.5465/amr.1996.9704071863.
- KMETHY, Gergely, 2010. ArchiCAD versions. [en ligne]. 2010. [Consulté le 3 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.archicadwiki.com%2FArchiCAD%2520versions>
- KOTTER, John P., 1995. Leading Change: Why Transformation Efforts Fail. *Harvard Business Review* [en ligne]. 1 mai 1995. N° May-June 1995. [Consulté le 22 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <https://hbr.org/1995/05/leading-change-why-transformation-efforts-fail-2>
- KOTTER, John P. et SCHLESINGER, Leonard A., 1989. Choosing strategies for change. In : *Readings in Strategic Management*. Springer. pp. 294-306.
- KOTTER, John Paul, 2015. *Conduire le changement: feuille de route en 8 étapes*. ISBN 978-2-7440-6638-2.
- KOUIDER, Tahar et PATERSON, J. J. G., 2014. Architectural technology and the BIM acronym: 2; reviewing evolving paradigms for BIM implementation among SMEs. In : *Architectural Technology, Towards Innovative Professional Practice: Conference Proceedings of the 5th International Congress of Architectural Technology, Aberdeen 2014 (ICAT2014)*. Robert Gordon University. 2014.
- KROQI, 2018. KROQI - Bâtir avec le numérique. [en ligne]. juillet 2018. [Consulté le 17 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.kroqi.fr/static/docs/KROQI_fiche_presentation_juillet_2018.pdf
- KUMAR, Bimal, CHENG, Jack CP et MCGIBBNEY, Lewis, 2010. Cloud computing and its implications for construction IT. In : *Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings of the International Conference*. 2010. pp. 315.
- LAFORÉ, Sylvie, 2013. Organizational innovation outcomes in SMEs: Effects of age, size, and sector. *Journal of World business*. 2013. Vol. 48, n° 4, pp. 490-502. DOI 10.1016/j.jwb.2012.09.005.
- LAPOINTE, Liette et RIVARD, Suzanne, 2005. A multilevel model of resistance to information technology implementation. *MIS quarterly*. 2005. pp. 461-491. DOI 10.2307/25148692.
- LARSEN, Tor J., 2001. The phenomenon of diffusion. In : *Working Conference on Diffusing Software Product and Process Innovations*. Springer. 2001. pp. 35-50.
- LE CORBUSIER, 2016. *Vers une architecture*. Paris : Flammarion. ISBN 978-2-08-121744-7.

LE ROUX, Brigitte, 2014. *Analyse géométrique des données multidimensionnelles*. Édition revue et augmentée du livre « Analyse des données multidimensionnelles. Statistique en Sciences Humaines » paru en 1993 et rédigé par Henry Rouanet et Brigitte Le Roux. Paris : Dunod. ISBN 978-2-10-059820-5.

LEBARON, Frédéric et LE ROUX, Brigitte (éd.), 2015. *La méthodologie de Pierre Bourdieu en action: espace culturel, espace social et analyse des données*. Paris : Dunod. ISBN 978-2-10-070384-5. HA29.5.F7 M49 2015

LEBÈGUE, Eric et VERVANDIER, Benoît, 2014. Définitions : MN, BIM, open BIM. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. ISBN 978-2-212-13836-8.

LEE, Seulki, YU, Jungho et JEONG, David, 2015. BIM Acceptance Model in Construction Organizations. *Journal of Management in Engineering*. mai 2015. Vol. 31, n° 3, pp. 04014048. DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000252.

LEGIFRANCE, 1973. *Décret n°73-207 du 28 février 1973 relatif aux conditions de rémunération des missions d'ingénierie et d'architecture remplies pour le compte des collectivités publiques par des prestataires de droit privé*. 28 février 1973.

LEGIFRANCE, 1978. *Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés* [en ligne]. 1978. [Consulté le 11 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000886460/>

LEGIFRANCE, 2004. *LOI n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique*. 21 juin 2004.

LEVAN, Serge, K., 2017. *Support de cours MOOCBIM - Cycle de vie du projet et du bâtiment* [en ligne]. 2017. Disponible à l'adresse : <https://www.mooc-batiment-durable.fr/>

LEVY-BENCHETON, Jacques, 2015. L'occasion de reprendre la maîtrise du projet. *AMC Archi* [en ligne]. 2015. [Consulté le 24 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.amc-archi.com/article/l-occasion-de-reprendre-la-maitrise-du-projet-par-jacques-levy-bencheton-architecte-associe-et-bim-manager-brunet-saunier-architecture-paris,1528>

LEWIN, Kurt, 1947. Frontiers in group dynamics: Concept, method and reality in social science; social equilibria and social change. *Human relations*. 1947. Vol. 1, n° 1, pp. 5-41. DOI 10.1177/001872674700100103.

LIEBOWITZ, Stan J. et MARGOLIS, Stephen E., 1995. Path dependence, lock-in, and history. *JL Econ. & Org.* 1995. Vol. 11, pp. 205. DOI 10.1093/oxfordjournals.jleo.a036867.

LINDBLAD, Hannes et VASS, Susanna, 2015. BIM implementation and organisational change: A case study of a large Swedish public client. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 21, pp. 178-184. DOI 10.1016/S2212-5671(15)00165-3.

LINES, Brian C., SULLIVAN, Kenneth T., SMITHWICK, Jake B. et MISCHUNG, Josh, 2015. Overcoming resistance to change in engineering and construction: Change management factors for owner organizations. *International Journal of Project Management*. 1 juillet 2015. Vol. 33, n° 5, pp. 1170-1179. DOI 10.1016/j.ijproman.2015.01.008.

LING, Florence Yean Yng, CHAN, Swee Lean, CHONG, Edwin et EE, Lee Ping, 2004. Predicting performance of design-build and design-bid-build projects. *Journal of construction engineering*

and management. 2004. Vol. 130, n° 1, pp. 75-83. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130%3A1(75).

LISTE ARCHITECTES EN MOUVEMENT, 2014. Ne ratons pas le train du BIM. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 164. ISBN 978-2-212-13836-8.

LISTE PRINTEMPS DES ARCHITECTES, 2014. Blâmer le BIM ? In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 163. ISBN 978-2-212-13836-8.

LIU, Rui, ISSA, R. R. A. et OLBINA, S., 2010. Factors influencing the adoption of building information modeling in the AEC Industry. In : *Proceedings of the international Conference on Computing in Civil and building Engineering*. 2010. pp. 139-145.

LOBJOIS, Michelle, 2018. L'environnement juridique de l'agence: Le choix de la structure et du mode d'exercice. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 487-493. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

LOVE, Peter ED, MATTHEWS, Jane, LOCKLEY, Steve, KASSEM, Mohamad, KELLY, Graham, DAWOOD, Nashwan et SERGINSON, Michael, 2015. BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. *Built Environment Project and Asset Management*. 2015. DOI 10.1108/BEPAM-02-2014-0011.

LUPTON, Tom, 1991. Organisational Change: "Top-down" or "Bottom-up" Management? *Personnel Review*. 1 janvier 1991. Vol. 20, n° 3, pp. 4-10. DOI 10.1108/EUM00000000000788.

LYYTINEN, Kalle et DAMSGAARD, Jan, 2001. What's wrong with the diffusion of innovation theory? In : *Working conference on diffusing software product and process innovations*. Springer. 2001. pp. 173-190.

MACHADO, Marina, UNDERWOOD, Jason et FLEMING, A. J., 2016. Implementing BIM to streamline a design, manufacture, and fitting workflow: a case study on a fit-out SME in the UK. *International Journal of 3-D Information Modeling*. 2016. Vol. 5, n° 3, pp. 31-46. DOI 10.4018/IJ3DIM.2016070103.

MACLEAMY, Patrick, 2010. *Bim-Bam-Boom! How to Build Greener, High-performance Buildings*. [en ligne]. 2010. HOK Renew. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=9bUIBYc_Gl4

MADDEN, Thomas J., ELLEN, Pamela Scholder et AJZEN, Icek, 1992. A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action. *Personality and social psychology Bulletin*. 1992. Vol. 18, n° 1, pp. 3-9. DOI 10.1177/0146167292181001.

MAESTRI, Annalisa De, 2017. *Premiers pas en BIM*. [en ligne]. [Consulté le 10 février 2021]. ISBN 978-2-212-41992-4. Disponible à l'adresse : <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1525851>

MALCURAT, Olivier, 2001. *Modélisation d'un environnement logiciel d'assistance au travail collaboratif dans le secteur de l'architecture et du BTP* [en ligne]. Thèse de Doctorat. Vandoeuvre-Nancy : Université de Lorraine INPL. [Consulté le 10 février 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/069296480>

MAMTER, Shahelo, ABDUL-AZIZ, Abdul-Rashid et MAMAT, Mohd Esham Mamat, 2017. Stimulating a Sustainable Construction through Holistic BIM Adoption: The Root Causes of Recurring Low BIM Adoption in Malaysia. In : *Proceedings of the IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2017. pp. 012056.

MARCH, James G., 1991. Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*. 1991. Vol. 2, n° 1, pp. 71-87.

MARESCA, Sylvain et SAGOT-DUVAUROUX, Dominique, 2011. Photographie (s) et numérique (s). Du singulier au pluriel. *La vie sociale des images : carnet de recherche de Sylvain Maresca* [en ligne]. 5 juin 2011. Disponible à l'adresse : <http://viesociale.hypotheses.org/2791>

MARREY, Bernard, 2013. *Architecte: du maître de l'œuvre au disagneur*. Paris : Édition du Linteau. ISBN 978-2-910342-89-0. NA1995 .M355 2013

MARTIN, Jérôme, 2018. Le droit de la responsabilité des architectes. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 191-201. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2014. The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How contractors around the world are driving innovations with Building Information Modelling. *Smart MarketReport* [en ligne]. 2014. Disponible à l'adresse : https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf

MCGRAW HILL CONSTRUCTION, YOUNG, N. W., JONES, Stephen A. et BERNSTEIN, Harvey M., 2010. The business value of BIM in Europe: Getting building information modelling to the bottom line the united kingdom, France and Germany. *Bedford, MA: McGraw-Hill Construction* [en ligne]. 2010. Vol. 51. Disponible à l'adresse : https://images.autodesk.com/adsk/files/business_value_of_bim_in_europe_smr_final.pdf

MEDIACONSTRUCT, 2020. buildingSMART France , association des acteurs du BIM en France. [en ligne]. 2020. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/>

MERTES, Perrine, 2017. *BIM: Élaboration et expérimentation d'une méthode pour l'accompagnement d'une agence d'architecture dans sa transition numérique* [en ligne]. Mémoire de Master. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, MAP-CRAI. Disponible à l'adresse : http://meurthe.crai.archi.fr/wordpressFr/wp-content/plugins/Lab_BD/media/pdf/MFE_Perrine_MERTES.pdf

MIDLER, Christophe, 1998. Évolution des modèles d'organisation et régulations économiques de la conception. *Problèmes économiques*. 1998. N° 2.558, pp. 000.

MILIVOJEVIC, Nada et AHMED, Abdullahi, 2016. Identifying and evaluating Building Information Modelling implementation strategies: a systematic literature review. In : *Glasgow: 1st International UK BIM Academic Forum Conference, At Glasgow Caledonian University*. 2016.

MILLER, Danny, 1982. Evolution and revolution: A quantum view of structural change in organizations. *Journal of Management studies*. 1982. Vol. 19, n° 2, pp. 131-151. DOI 10.1111/j.1467-6486.1982.tb00064.x.

MINES NANCY, 2021. Master Design • Mines Nancy. *Mines Nancy* [en ligne]. 2021. [Consulté le 21 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://mines-nancy.univ-lorraine.fr/formation/master-design-2/>

MINISTÈRE DE LA CULTURE, 2018. La réforme des écoles nationales supérieures d'architecture. [en ligne]. 2018. [Consulté le 3 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.culture.gouv.fr/Sites-thematiques/Architecture/Formations-recherche-et-metiers/La-reforme-des-ecoles-nationales-superieures-d-architecture>

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE ET DES FINANCES, 2016. *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics - Article 42* [en ligne]. 25 mars 2016. [Consulté le 16 avril 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=FEF918DB9B6C4314DF16F3BFC407C0E0.tplgfr37s_2?idArticle=JORFARTI000032296668&cidTexte=JORFTEXT000032295952&dateTexte=29990101&categorieLien=id

MINTZBERG, Henry et WATERS, James A., 1985. Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic management journal*. 1985. Vol. 6, n° 3, pp. 257-272. DOI 10.1002/smj.4250060306.

MINTZBERG, Henry et WESTLEY, Frances, 1992. Cycles of organizational change. *Strategic management journal*. 1992. Vol. 13, n° S2, pp. 39-59. DOI 10.1002/smj.4250130905.

MITSUFUJI, Toshio, 2001. A perspective of the innovation-diffusion process from the self-organizing system. In : *Working Conference on Diffusing Software Product and Process Innovations*. Springer. 2001. pp. 51-65.

MOFFETTE, David, 2015. Propositions pour une sociologie pragmatique des frontières: multiples acteurs, pratiques spatio-temporelles et jeux de juridictions. *Cahiers de recherche sociologique*. 2015. N° 59-60, pp. 61-78. DOI 10.7202/1036786ar.

MOHAMMAD, WNS Wan, ABDULLAH, Mohd Rofdzi, ISMAIL, Sallehan et TAKIM, Roshana, 2017. Overview of Building Information Modelling (BIM) adoption factors for construction organisations. In : *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, décembre 2017.

MOORE, Geoffrey A., 2001. *Crossing the chasm*. Revised Edition. Capstone Oxford. ISBN 0-06-018987-8.

MURPHY, M. E., 2014. Implementing innovation: a stakeholder competency-based approach for BIM. *Construction innovation*. 2014. Vol. 14, n° 4, pp. 433. DOI 10.1108/CI-01-2014-0011.

NAM, C. H. et TATUM, C. B., 1988. Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology. *Construction Management and Economics*. 1 juin 1988. Vol. 6, n° 2, pp. 133-147. DOI 10.1080/01446198800000012.

NAM, Chung H. et TATUM, Clyde B., 1997. Leaders and champions for construction innovation. *Construction Management & Economics*. 1997. Vol. 15, n° 3, pp. 259-270. DOI doi.org/10.1080/014461997372999.

NAVILLE, Charène et RAJEB, Samia Ben, 2016. La recherche action collaborative: une nouvelle approche pour l'intégration du BIM. *Academic Journal of Civil Engineering*. 2016. Vol. 34, n° 1, pp. 25-32. DOI 10.26168/ajce.34.1.4.

NGONGO, Bahati Prince, OCHOLA, Phares, NDEGWA, Joyce et KATUSE, Paul, 2019. The technological, organizational and environmental determinants of adoption of mobile health applications (m-health) by hospitals in Kenya. *PloS one*. 2019. Vol. 14, n° 12, pp. e0225167. DOI 10.1371/journal.pone.0225167.

NGOWTANASAWAN, Grit, 2017. A causal model of BIM adoption in the Thai architectural and engineering design industry. *Procedia engineering*. 2017. Vol. 180, pp. 793-803. DOI 10.1016/j.proeng.2017.04.240.

NONAKA, Ikujiro, 1994. A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*. 1994. Vol. 5, n° 1, pp. 14-37.

OKAKPU, Anthony, GHAFARIANHOSEINI, Ali, TOOKEY, John, HAAR, Jarrod, GHAFARIANHOSEINI, Amirhosein et REHMAN, Attiq, 2018. A proposed framework to investigate effective BIM adoption for refurbishment of building projects. *Architectural Science Review*. 2 novembre 2018. Vol. 61, n° 6, pp. 467-479. DOI 10.1080/00038628.2018.1522585.

OLAWUMI, Timothy O., CHAN, Daniel W.M., WONG, Johnny K.W. et CHAN, Albert P.C., 2018. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Journal of Building Engineering*. novembre 2018. Vol. 20, pp. 60-71. DOI 10.1016/j.jobe.2018.06.017.

OPENCLASSROOMS, 2021. Comparez les différents documents du BIM. *OpenClassrooms* [en ligne]. 2021. [Consulté le 18 février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://openclassrooms.com/fr/courses/5228291-decouvrez-les-fondamentaux-du-bim/5547401-comparez-les-differents-documents-du-bim>

PANAITESCU, R. M., 2014. Building Information Modeling: Towards a structured implementation process in an engineering organization. . 2014.

PANUWATWANICH, Kriengsak et PEANSUPAP, Vachara, 2013. Factors affecting the current diffusion of BIM : a qualitative study of online professional network. In : *Creative Construction Conference*. Budapest, Hungary. 2013. pp. 6-9.

PARLEMENT EUROPÉEN, 2014. *Directive 2014/24/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE* [en ligne]. 28 mars 2014. 32014L0024. [Consulté le 12 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/24/oj/fra>

PARSANEZHAD, Pouriya, 2015. *A Lifecycle Approach towards Building Information Management : Technical and procedural implications for the facility management and operations sector* [en ligne]. Licenciate Thesis. Stockholm. [Consulté le 29 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-164954>

PÉLEGRIN, François, 2014. Le BIM comme bouleversement interprofessionnel majeur. In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris; Marne-la-Vallée : Eyrolles ; Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. pp. 157-161. ISBN 978-2-212-13836-8.

PETTIGREW, Andrew M., 2012. Context and action in the transformation of the firm: A reprise. *Journal of Management Studies*. 2012. Vol. 49, n° 7, pp. 1304-1328. DOI 10.1111/j.1467-6486.2012.01054.x.

PICON, Antoine, 2010a. *Digital culture in architecture: an introduction for the design professions*. Basel : Birkhäuser. ISBN 978-3-0346-0261-7.

PICON, Antoine, 2010b. *Culture numérique et architecture. Une Introduction*. Basel : Birkhäuser. ISBN 978-3-0346-0261-7.

PLAN BIM 2022, 2020. Plan BIM 2022 - Site officiel. [en ligne]. 2020. [Consulté le 23 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://plan-bim-2022.fr/>

PLUYE, Pierre, BENGOCHEA, Enrique García, GRANIKOV, Vera, KAUR, Navdeep et TANG, David Li, 2018. Tout un monde de possibilités en méthodes mixtes: revue des combinaisons des stratégies utilisées pour intégrer les phases, résultats et données qualitatifs et quantitatifs en méthodes mixtes. *Oser les défis des méthodes mixtes en sciences sociales et sciences de la santé*. 2018. pp. 28.

PMI, 2017. *Guide du corpus des connaissances en management de projet - GUIDE PMBOK - sixième édition*.

POIRIER, Erik A., 2015. *Investigating the impact of Building Information Modelin on collaboration in the Architecture, Engineering, Construction and Operations industry* [en ligne]. Thèse de Doctorat. Montreal: Ecole de Technologie Supérieure. Disponible à l'adresse : <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1600/>

POIRIER, Erik A., FRÉNETTE, Sébastien, CARIGNAN, Vincent, PARIS, Hugues et FORGUES, Daniel, 2018. *Accroître la performance de la filière québécoise de la construction par le virage numérique: Étude sur le déploiement des outils et des pratiques de la modélisation des données du bâtiment au Québec* [en ligne]. BIM Québec. Disponible à l'adresse : <https://espace2.etsmtl.ca/id/eprint/20928/>

POIRIER, Erik A., STAUB-FRENCH, Sheryl et FORGUES, Daniel, 2015a. Embedded contexts of innovation: BIM adoption and implementation for a specialty contracting SME. *Construction Innovation*. 2015. Vol. 15, n° 1, pp. 42-65. DOI 10.1108/CI-01-2014-0013.

POIRIER, Erik A., STAUB-FRENCH, Sheryl et FORGUES, Daniel, 2015b. Assessing the performance of the building information modeling (BIM) implementation process within a small specialty contracting enterprise. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 42, n° 10, pp. 766-778. DOI 10.1139/cjce-2014-0484.

POOLE, Peter P., GIOIA, Dennis A. et GRAY, Barbara, 1989. Influence modes, schema change, and organizational transformation. *The Journal of Applied Behavioral Science*. 1989. Vol. 25, n° 3, pp. 271-289. DOI 10.1177/0021886389253004.

POSSOMPÈS, Michel, 2018. les partenaires, les interlocuteurs et les contrôleurs. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 191-201. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

POSSOMPÈS, Michel, LOMBARD, Clara et BAILLET, Etienne, 2018. Les intervenants en marchés publics et privés et la structuration de la commande. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 185-191. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

POURCEL, Claude et GOURC, Didier, 2005. *Modélisation d'entreprise par les processus: Activités, organisation & applications*. Toulouse, France : Cépaduès-éditions. ISBN 978-2-85428-663-2.

PROST, Robert et CHASLIN, François, 2014. *Pratiques de projet en architecture: le tournant silencieux: essai*. Gollion : Infolio. ISBN 978-2-88474-723-3. NA200 .P76 2014

PTNB, 2016. *Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage* [en ligne]. juillet 2016. Disponible à l'adresse : <http://www.batiment-numerique.fr/uploads/DOC/Guides%20et%20Etudes/PTNB%20-%20Guide%20Methodo%20MOA.pdf>

RAMANAYAKA, Chamila DD et VENKATACHALAM, Senthilkumar, 2015. Reflection on BIM Development Practices at the Pre-maturity. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 123, pp. 462-470. DOI 10.1016/j.proeng.2015.10.092.

RAMDANI, Boumediene, DUAN, Binheng et BERROU, Ilhem, 2020. Exploring the Determinants of Mobile Health Adoption by Hospitals in China: Empirical Study. *JMIR medical informatics*. 2020. Vol. 8, n° 7, pp. e14795. DOI 10.2196/14795.

REVIT, 2000. *Revit release 1 launch video* [en ligne]. 2000. [Consulté le 6 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=6hyd4sByd1Y>

RIBEREAU-GAYON, Marc, 2015. *BIM : Développement des échanges de fichiers entre deux acteurs de la construction : stage en agence* [en ligne]. Mémoire de Master. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine, MAP-CRAI. Disponible à l'adresse : <https://www.archires.archi.fr/en/electronic/460451>

RICCIOTTI, Rudy, 2009. *HQE: les renards du temple*. Limoges : Al Dante. Clash. ISBN 978-2-84761-896-9. NA2542.35 .R52 2009

RINGON, Gérard et HATON, Marie-Christine, 1997. *Histoire du métier d'architecte en France*. Paris : Puf. ISBN 978-2-13-048417-2.

ROBERTSON, Thomas S., 1967. The process of innovation and the diffusion of innovation. *The Journal of Marketing*. 1967. pp. 14-19. DOI 10.2307/1249295.

ROGERS, Everett M., 2003. *Diffusion of Innovations, 5th Edition*. Simon and Schuster. ISBN 978-0-7432-5823-4.

ROGERS, John, CHONG, Heap-Yih et PREECE, Christopher, 2015. Adoption of building information modelling technology (BIM). Perspectives from Malaysian engineering consulting services firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2015. DOI 10.1108/ECAM-05-2014-0067.

RONDEAUX, Claire, 2019. *Rapport de stage DUT informatique - Développement d'une application web à destination des architectes*. Nancy.

ROULEAU, Linda, 2007. *Théories des organisations approches classiques, contemporaines et de l'avant-garde* [en ligne]. Québec [Que.: Presses de l'Université du Québec. [Consulté le 17 juin 2020]. ISBN 978-2-7605-1462-1. Disponible à l'adresse : <http://www.deslibris.ca/ID/422813>

RUGG, Donald, 1941. Experiments in Wording Questions: II. *Public Opinion Quarterly*. mars 1941. Vol. 5, n° 1, pp. 91. DOI 10.1086/265467.

SADOUGHI, Farahnaz, ALI, Omar et ERFANNIA, Leila, 2020. Evaluating the factors that influence cloud technology adoption—comparative case analysis of health and non-health sectors: A systematic review. *Health Informatics Journal*. 1 juin 2020. Vol. 26, n° 2, pp. 1363-1391. DOI 10.1177/1460458219879340.

SAINSAULIEU, Renaud et SEGRETTIN, Denis, 1986. Vers une théorie sociologique de l'entreprise. *Sociologie du Travail*. 1986. Vol. 28, n° 3, pp. 335-352.

SALBER, Daniel, COUTAZ, Joëlle, DECOUCHANT, Dominique et RIVEILL, Michel, 1995. De l'observabilité et de l'honnêteté: le cas du contrôle d'accès dans la Communication Homme-Homme Médiatisée. *Actes d'IHM95*. 1995. pp. 27-34.

SARDAS, Jean-Claude, 1997. Ingénierie intégrée et mutation des métiers de la conception. *Realités Industrielles-Annales des Mines*. 1997. pp. 41-48.

SAUVAGE, Louis, 2017. *BIM : la transition numérique en agence d'architecture*. Mémoire de Master. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, Université de Lorraine.

SCHUMPETER, Joseph Alois, 1999. *Théorie de l'évolution économique: recherches sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la conjoncture*. Paris : Dalloz. ISBN 978-2-247-03765-0.

SCHUMPETER, Joseph Alois, CASANOVA, Jean-Claude et BARRE, Raymond, 2004. Le schéma « classique » du processus économique. In : *Histoire de l'analyse économique*. Paris : Gallimard. pp. 242-246. ISBN 978-2-07-031341-9.

SEITZ, Frédéric, 1992. Les rapports entre architectes et ingénieurs en France: l'Exposition universelle de 1889. *Revue d'histoire moderne et contemporaine (1954-)*. 1992. Vol. 39, n° 3, pp. 483-492.

SI, Sheng-Li, YOU, Xiao-Yue, LIU, Hu-Chen et ZHANG, Ping, 2018. DEMATEL technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*. 2018. Vol. 2018. DOI 10.1155/2018/3696457.

SIALA CHAKROUN, Aida, 2019. *Modélisation et représentation des exigences spatiales qualitatives : Vers des pratiques BIM orientées « espace »*. [en ligne]. Thèse e Doctorat. Nancy : Université de Lorraine. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2019LORR0191>

SIMONIN, Christine, 2018. La fabrique de la norme et ses recompositions. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 271-279. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

SLAUGHTER, E. Sarah, 2000. Implementation of construction innovations. *Building research & information*. 2000. Vol. 28, n° 1, pp. 2-17. DOI 10.1080/096132100369055.

SMEDS, Riitta, HAHO, Paivi et ALVESALO, Jukka, 2003. Bottom-up or top-down? Evolutionary change management in NPD processes. *International Journal of Technology Management*. 1 janvier 2003. Vol. 26, n° 8, pp. 887-902. DOI 10.1504/IJTM.2003.003415.

SMITH, Dana K. et TARDIF, Michael, 2009. *Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-25003-7.

SNYDER, Cynthia, 2013. *A project manager's book of forms: a companion to the PMBOK guide*. 5th edition. Hoboken, New Jersey : Wiley. ISBN 978-1-118-43078-1. HD69.P75 S689 2013

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ARCHITECTES, 2020. L'enseignement du projet en danger. [en ligne]. 2020. N° Bulletin N°56. Disponible à l'adresse : <https://sfarchi.org/wp-content/uploads/Bulletin-56-lenseignement-du-projet-en-danger.pdf>

SOCIETE.COM, 2020. AREP (PARIS 13) Chiffre d'affaires, résultat, bilans sur SOCIETE.COM - 410450761. [en ligne]. 2020. [Consulté le 5 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.societe.com/societe/arep-410450761.html>

SON, Hyojoo, LEE, Sungwook et KIM, Changwan, 2015. What drives the adoption of building information modeling in design organizations? An empirical investigation of the antecedents affecting architects' behavioral intentions. *Automation in Construction*. janvier 2015. Vol. 49, pp. 92-99. DOI 10.1016/j.autcon.2014.10.012.

SREELAKSHMI, Saeed, KANTILAL, Boda Sagar et ROSHAN, Mohamad, 2017. A study on the barriers to the implementation of building information modeling. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8, pp. 42-50.

STERLIN, Xavier, 2015. À qui profite le BIM? *AMC Archi* [en ligne]. 2015. [Consulté le 20 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.amc-archi.com/article/a-qui-profite-le-bim-par-xavier-sterlin-espaces-libres-architecture-paris,1618>

STONEMAN, Paul et DIEDEREN, Paul, 1994. Technology diffusion and public policy. *The Economic Journal*. 1994. Vol. 104, n° 425, pp. 918-930. DOI 10.2307/2234987.

SUCCAR, Bilal, 2009. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. 1 mai 2009. Vol. 18, n° 3, pp. 357-375. DOI 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

SUCCAR, Bilal, 2010. Building information modelling maturity matrix. In : *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies*. IGI Global. pp. 65-103. ISBN 978-1-60566-928-1.

SUCCAR, Bilal, 2020. BIME Initiative. [en ligne]. 2020. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://bimexcellence.org/>

SUCCAR, Bilal et BIME INITIATIVE, 2009. Organizational Hierarchy. *BIM Framework* [en ligne]. 2009. [Consulté le 19 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bimframework.info/2013/12/organizational-hierarchy.html>

SUCCAR, Bilal et KASSEM, Mohamad, 2015. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. *Automation in Construction*. 1 septembre 2015. Vol. 57, pp. 64-79. DOI 10.1016/j.autcon.2015.04.018.

SUCCAR, Bilal et KASSEM, Mohamad, 2016. Building Information Modelling: Point of Adoption. In : *CIB World Congress, Proceedings*. Tampere Finland. 2016.

SUSINI, Jean-François, PÉLEGRIN, François et COLOMBIER, Patrick, 2004. *Le livre blanc des architectes : 30 propositions* [en ligne]. 2004. Disponible à l'adresse : <https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/livreblancarchi2004.pdf>

SYNTEC INGENIERIE, 2014. BIM/Maquette numérique : contenu et niveaux de développement. *Cahiers pratiques LE MONITEUR* [en ligne]. 2014. N° 5763. Disponible à l'adresse : http://www.syntec-ingenierie.fr/wp-content/uploads/_mediavault/2017/01/2014-05-09-cahier-moniteur-bim-maquette-contenu-niveau-developpement.pdf

TAKIM, Roshana, HARRIS, Mohd et NAWAWI, Abdul Hadi, 2013. Building information modeling (BIM): a new paradigm for quality of life within architectural, engineering and construction (AEC) industry. *Procedia-social and behavioral sciences*. 2013. Vol. 101, pp. 23-32.

TAPIE, Guy, 2000. *Les architectes: mutations d'une profession*. Paris, France : Harmattan. Logiques sociales. ISBN 978-2-7384-8803-9. NA1995.T36 2000

TAREK, 2019. BIM 4 VALUE complexifie le BIM - Encore une certification/labellisation de plus dans un paysage qui en regorge! *Unsfa* [en ligne]. 4 avril 2019. [Consulté le 12 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.unsfa.fr/bim-4-value-complexifie-le-bim/>

TATUM, Clyde B., 1987. Process of innovation in construction firm. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1987. Vol. 113, n° 4, pp. 648-663. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(1987)113:4(648).

TATUM, Clyde B., 2009. Champions for integrated design solutions. In : *Proceedings of LEAD*. 2009. pp. 9-21.

TEECE, David J., 1986. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research policy*. 1986. Vol. 15, n° 6, pp. 285-305. DOI 10.1016/0048-7333(86)90027-2.

TEPELI, Esra, 2014. *Processus formalisé et systémique de management des risques par des projets de construction complexes et stratégiques*. Thèse de Doctorat. Bordeaux.

TERRIN, Jean-Jacques, 2005. Ingénieries, enjeux et stratégies. In : *Maîtres d'ouvrages, maîtres d'oeuvre et entreprises: de nouveaux enjeux pour les pratiques de projet*. PUCA. Paris : Eyrolles. pp. 23-29. ISBN 978-2-212-11576-5.

TÉTARD, Franck et COLLAN, Mikael, 2009. Lazy user theory: A dynamic model to understand user selection of products and services. In : *System Sciences, 2009. HICSS'09. 42nd Hawaii International Conference on*. IEEE. 2009. pp. 1-9.

TICHY, Noel M., 1983. *Managing Strategic Change: Technical, Political, and Cultural Dynamics*. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-86559-9.

TORNINCASA, Stefano et DI MONACO, Francesco, 2010. The future and the evolution of CAD. In : *Proceedings of the 14th international research/expert conference: trends in the development of machinery and associated technology*. 2010. pp. 11-18.

TRUPIER, Pierre, 2018. L'architecture comme profession : comprendre les rapports de force. In : *Profession Architecte: Identité - Responsabilité - Contrats - Règles - Agence - Economie - Chantier*. Paris, France : Eyrolles. pp. 69-72. Profession. ISBN 978-2-212-14380-5.

TSAI, Meng-Han, MOM, Mony et HSIEH, Shang-Hsien, 2014. Developing critical success factors for the assessment of BIM technology adoption: part I. Methodology and survey. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 3 octobre 2014. Vol. 37, n° 7, pp. 845-858. DOI 10.1080/02533839.2014.888811.

TULENHEIMO, Risto, 2015. Challenges of implementing new technologies in the world of BIM– Case study from construction engineering industry in Finland. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 21, pp. 469-477.

TURK, Ziga, 2000. Construction IT: Definition, framework and research issues. *Faculty of Civil and Geodetic Engineering on the doorstep of the millennium. Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana*. 2000. pp. 17-32.

TUSHMAN, Michael L. et ROMANELLI, Elaine, 1985. Organizational evolution: A metamorphosis model of convergence and reorientation. *Research in Organizational Behavior*. 1985. Vol. 7, pp. 171-222.

UK GOVERNMENT et MAUDE, Francis, 2011. Government Construction Strategy. *GOV.UK* [en ligne]. juillet 2011. [Consulté le 20 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy>

VASS, Susanna et GUSTAVSSON, Tina Karrbom, 2017. Challenges when implementing BIM for industry change. *Construction management and economics*. 2017. Vol. 35, n° 10, pp. 597-610. DOI 10.1080/01446193.2017.1314519.

VENKATESH, Viswanath et BALA, Hillol, 2008. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*. 2008. Vol. 39, n° 2, pp. 273-315. DOI 10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x.

VENKATESH, Viswanath, THONG, James YL et XU, Xin, 2012. Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*. 2012. pp. 157-178. DOI 10.2307/41410412.

VIOLLET-LE-DUC, Eugène-Emmanuel (1814-1879) Auteur du texte, 1863. *Entretiens sur l'architecture, par M. Viollet le Duc, Vol. 2* [en ligne]. [Consulté le 24 février 2020]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86266446>

WAARTS, Eric, VAN EVERDINGEN, Yvonne M. et VAN HILLEGERSBERG, Jos, 2002. The dynamics of factors affecting the adoption of innovations. *Journal of Product Innovation Management*. 1 novembre 2002. Vol. 19, n° 6, pp. 412-423. DOI 10.1016/S0737-6782(02)00175-3.

WANG, Yu-Min et CHIOU, Chei-Chang, 2020. Factors Influencing the Willingness of Universities' Business Management Departments to Implement Online Entrepreneurship Program and Its Effectiveness. *Frontiers in Psychology* [en ligne]. 2020. Vol. 11. [Consulté le 8 mars 2021]. DOI 10.3389/fpsyg.2020.00975. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.00975/full>

WEICK, Karl E., 2015. Karl E. WEICK (1979), *The Social Psychology of Organizing*, Second Edition. *M@n@gement*. 10 août 2015. Vol. 18, n° 2, pp. 189-193.

WINCH, Graham, 1998. Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction. *Building research & information*. 1998. Vol. 26, n° 5, pp. 268-279. DOI 10.1080/096132198369751.

WON, Jongsung et LEE, Ghang, 2019. Identifying the consideration factors for successful BIM projects. In : *17th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering, EG-ICE 2010*. Nottingham. 2019.

WON, Jongsung, LEE, Ghang, DOSSICK, Carrie et MESSNER, John, 2013. Where to focus for successful adoption of building information modeling within organization. *Journal of construction engineering and management*. 2013. Vol. 139, n° 11, pp. 04013014. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000731.

WOODWARD, Joan, 1980. *Industrial organization: theory and practice*. 2nd edition. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-874122-0.

WU, Chengke, XU, Bo, MAO, Chao et LI, Xiao, 2017. Overview of BIM maturity measurement tools. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2017. Vol. 22, n° 3, pp. 34-62.

Annexes

Annexe 1. Classement des références présentées dans l'état de l'art pour l'étude des facteurs d'adoption

Tableau 37. Classement des références présentées dans l'état de l'art pour l'étude des facteurs d'adoption

	<i>Rlément qui peut influencer l'adoption (décision et implémentation)</i>	<i>Référence</i>	
Contexte interne	Précédents investissements	(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
	Informations disponibles	(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
	Politiques internes	(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
	Histoire de l'organisation, précédents choix technologiques et politiques	(Hannan, Freeman 1977; 1984) (Arthur 1989; Liebowitz, Margolis 1995; Burgelman 2002)	
	Individu, sous-unités, organisation	(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
	Vision, valeurs, schéma interprétatif	(Lewin 1947)(Lewin 1947; Greenwood, Hinings 1988) (Greenwood, Hinings 1988)	
	Structure organisationnelle	(Greenwood, Hinings 1988)	
	Intention d'agir	(Fishbein, Ajzen 2011)	
	Croyances sur l'impact du changement	(Fishbein, Ajzen 2011)	
	Norme subjective	(Deutsch, Gerard 1955)	
	Intention de mettre en place une innovation	(Ajzen 1991; Madden, Ellen, Ajzen 1992)	
	Position dans l'entreprise des individus	(Venkatesh, Thong, Xu 2012) (Venkatesh, Bala 2008) (Collan, Tétard 2011)	
	Expérience des individus	(Venkatesh, Thong, Xu 2012) (Venkatesh, Bala 2008) (Collan, Tétard 2011)	
	Théories d'action des organisations (croyances, attitudes, valeurs, culture, norme)	(Argyris, Schön 1978)	
	Spécialisation de l'organisation	(Hannan, Freeman 1977 ; 1984)	
	Connaissance de l'organisation par le dirigeant	(Mintzberg, Waters 1985)	
	Intérêt des individus pour les innovations	(Venkatesh, Bala 2008)	
	Contexte externe	Isomorphisme coercitif	(DiMaggio, Powell 1983 ; 2000)
		Processus mimétique	(DiMaggio, Powell 1983; 2000)
Pressions normatives		(DiMaggio, Powell 1983 ; 2000)	
Limites fiscales et légales		(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
Disponibilité des informations		(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
Contraintes de légitimité		(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
Rationalité collective		(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
Populations d'organisations		(Hannan, Freeman 1977; 1984)	
Avantage relatif		(Rogers 2003)	
Caractéristiques de l'innovation		Complexité	(Rogers 2003)
	Testabilité	(Rogers 2003)	
	Observabilité	(Rogers 2003)	
	Perception de facilité de mise en place et d'utilisation de l'innovation	(Fishbein, Ajzen 2011)	
	Utilité perçue	(Davis 1989) (Venkatesh, Thong, Xu 2012) (Venkatesh, Bala 2008)	
	Facilité d'utilisation (perception a priori)	(Davis 1989) (Venkatesh, Thong, Xu 2012) (Venkatesh, Bala 2008)	
	Perception de facilité d'utilisation (perception après première utilisation)	(Bagozzi, Davis, Warshaw 1992)	
	Ergonomie objective de l'innovation	(Venkatesh, Bala 2008)	
	Caractéristiques du changement	Volonté de survivre	(Lewin 1947)
		Préservation d'un état donné	(Lewin 1947)
Coût du changement		(Lewin 1947)	
Résistance au changement		(Lewin 1947)	
Intention d'agir		(Fishbein, Ajzen 2011)	
Radicalité : continu ou radical		(Alter 2015b) (Miller 1982) (Tushman, Romanelli 1985) (Hargrave, Van de Ven 2006)	

Origine : approches montantes ou descendantes	(Lupton 1991; Smeds, Haho, Alvesalo 2003)
Nature du développement du changement : proposé/imposé	(Mintzberg, Westley 1992)
Vitesse du changement	(Autissier et al. 2014 ; Hargrave, Van de Ven 2006)
Nature de l'expérience au cours du changement (désagréable/agréable)	(Hannan, Freeman 1984)
Caractéristiques des individus qui conduisent le changement	(Greenwood, Hinings 1988)
Myopies temporelles (privilégier les effets court terme)	(Franklin 1976)
Myopies spatiales (privilégier les effets visibles)	(Poole, Gioia, Gray 1989)
Prise en compte des échecs	(March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014)
Emotions des individus pendant le changement	(March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014)
Implication des individus dans le changement	(March 1991; Autissier, Vandangeon-Derumez, Vas 2014)
Contexte d'influence du changement (sur des individus ou sur un groupe)	(Bareil, Savoie 1999)
Mode de communication adopté	(Bernoux 2015)
Nature de l'influence du management (mesures disciplinaires, récompenses, légitimité)	(Poole, Gioia, Gray 1989)
Niveau de transparence de l'action managériale	(Kanter, Stein, Jick 1992)
Adéquation entre la vision du futur du dirigeant et la réalité	(Poole, Gioia, Gray 1989)
Adéquation entre la stratégie de changement et les ressources de l'organisation	(Kanter, Stein, Jick 1992)
Mesure et vérification des résultats associés au changement	(Mintzberg, Waters 1985)
Mise en place de récompenses	(Mintzberg, Waters 1985)
	(Kanter, Stein, Jick 1992)
	(Kanter, Stein, Jick 1992)

Annexe 2. Analyse des études sur l'adoption du BIM

Tableau 38. Analyse des méthodes employées pour l'étude des facteurs d'adoption du BIM (voir légende des entêtes en dessous du tableau).

N°	Référence	Objectifs de l'étude				Dénomination des facteurs (en anglais)			Litt.	Méthode(s)			Nb. de réponses	
		list	catég	quan	multi	Position processus	POS (+)	NEG (-)		NEUT (0)	Littérature convoquée	QL		QT
1	(Olawumi et al. 2018)	x		x		N		barrier		BIM		x	x	14
2	(Bin Zakaria et al. 2013)	x				N		challenges		BIM	x			
3	(Panuwatwanich, Peansupap 2013)	x				N		factors		TDI + BIM	x		x	
4	(Hosseini et al. 2018)	x		x	x	Y		barriers		BIM		x		149
5	(Cao, Li, Wang 2014)			x	x	N		pressures		INT + BIM		x		137
6	(Acquah, Eyiah, Oteng 2018)			x	x	N		factors		TAM		x		125
7	(Ahmed, John P. Kawalek, Kassem 2017)	x	x			N	drivers	factors		BIM			x	
8	(Abubakar et al. 2014)	x		x		N	drivers	barriers	factors	BIM		x	x	49
9	(Ahuja et al. 2018)	x	x	x		N	driver	inhibitor		TAM, TDI, TOE		x	x	184
10	(Aibinu, Venkatesh 2014)	x		x		N	driver	difficulties		BIM		x		40
11	(Arunkumar, Suveetha, Ramesh 2018)			x		N	positive factors	negative factors	factors	BIM		x		102
12	(ALHUMAYN, CHINYIO, NDEKUGRI 2017)	x		x		N		barrier	strategies	BIM		x		224
13	(Ding et al. 2015)			x	x	N			key factors	BIM		x		181
14	(Gómez-Sánchez, Rojas-Quintero, Aibinu 2016)	x		x		N	drivers	barriers		BIM		x		102
15	(Liu, Issa, Olbina 2010)	x		x		N			factors	BIM		x		66
16	(Milivojevic, Ahmed 2016)	x				N		risks	key factors	BIM			x	
17	(Sreelakshmi, Kantilal, Roshan 2017)	x		x		N			factors	BIM		x		65
18	(Agirachman, Putra, Angkawijaya 2018)	x		x	x	N	expected benefits			BIM		x		106
19	(Chan 2014)	x		x		N		barriers		BIM			x	52
20	(Lee, Yu, Jeong 2015)	x			x	Y			factors	TAM		x	x	114
21	(Mohammad et al. 2017)	x				N			factors	BIM			x	
22	(Won, Lee 2019)			x		N	success fact.		factors	BIM		x		61
23	(Son, Lee, Kim 2015)			x	x	N			factors	TAM		x		162
24	(Mamter, Abdul-Aziz, Mamat 2017)	x				N		causes of low adoption		BIM	x			
25	(Tsai, Mom, Hsieh 2014)	x	x	x		Y			Influencing, key factors	BIM		x	x	57
26	(Won et al. 2013)	x		x		N		barriers	Consideration, success, critical success, factors	BIM				52
27	(Won, Lee 2019)			x		N	motivation		factors	INT + BIM		x	x	179
28	(Cao et al. 2017)			x		N		reasons for not using		BIM		x		92
29	(Ramanayaka, Venkatachalam 2015)	x				N			factors	TAM	x			
30	(Ngowtanawaswan 2017)		x	x	x	N			hypothesis	BIM		x	x	278
31	(Tulenheim 2015)	x	x			N			challenges	BIM			x	
32	(Alreshidi, Mourshed, Rezgui 2017)	x	x			N	factors	barriers		BIM		x		
33	(Hatem, Abd, Abbas 2018)	x		x		N	motivation factors			BIM		x		114

Légende pour les entêtes du tableau :

Objectifs de l'étude :

- **List** : lister les facteurs, les référencer
- **Catég** : catégoriser les facteurs
- **Quan** : quantifier l'impact de chaque facteur, établir une liste des facteurs les plus influents
- **Multi** : quantifier l'impact des facteurs en tenant compte de leurs influences multiples.
- **Position processus** : l'objet de l'impact des facteurs d'adoption étudiés est explicité (décision, implémentation).

Dénomination des facteurs

- **POS (+)** : Les facteurs sont évoqués du point de vue de l'impact positif qu'ils peuvent avoir sur l'adoption
- **NEG (-)** : Les facteurs sont évoqués du point de vue de l'impact négatif qu'ils peuvent avoir sur l'adoption
- **NEUT (0)** : Les facteurs sont évoqués dans une forme neutre, qui peut laisser apparaître un impact positif ou négatif sur l'adoption.

Littérature convoquée

- **BIM** : l'article exploite une littérature issue du champs d'étude sur le BIM.
- **TDI** : théories de la diffusion des innovations
- **INT** : théorie néo-institutionnelle
- **TAM** : modèles d'acceptation des innovations et théories comportementalistes
- **TOE** : Théories économiques sur l'impact de l'environnement dans l'adoption d'une innovation

Méthodes :

- **QL** : qualitative (entretiens, étude de cas, recherche-action).
- **QT** : quantitative (enquête par questionnaire, analyse de données de forums ou réseaux sociaux)
- **LIT** : étude de littérature
- **Nb. de réponses** : nombre de réponses valides utilisées pour l'analyse.

Annexe 3. Charte d'entretien

V01

N°1 09/09/2017

entretien

Personne interviewée	Entreprise
 Prénom_NOM_personne_interviewee	 Nom_agence
 [Courrier électronique]	 Prénom NOM
 [Téléphone]	 contact
	 localisation

• AUTORISATION D'UTILISATION :

Ce document définit les **conditions d'utilisation des informations confiées durant le présent entretien.**

L'échange a lieu entre le **collecteur** (personne qui réalise l'entretien) et l'**informateur** (personne qui est interviewée).

L'entretien est enregistré au format audio.

Droits et engagements de l'informateur

- L'informateur détient un **droit à la voix** (au même titre qu'un droit à l'image), qui est un attribut de la personnalité et ressortit du droit au respect de la vie privée, posé par l'article 9 du code civil.
- L'informateur est considéré comme **auteur du contenu** échangé durant l'entretien, avec le collecteur.
- L'informateur dispose des **droits d'accès, de rectification et d'opposition** sur les données confiées lors de l'entretien, comme il l'est prévu dans la loi du 6 janvier 1978, dite loi « informatique et libertés ».
- L'informateur s'engage à rapporter les faits tels qu'il les a perçus.

Droits et engagements du collecteur

- Le collecteur est considéré comme **auteur du contenu** échangé durant l'entretien, avec l'informateur.
- Le collecteur a le droit **d'exploiter le contenu de cet entretien dans le cadre de ses travaux de recherche**. Toute autre utilisation est exclue.
- Le responsable du traitement (collecteur) est tenu de prendre toutes précautions utiles pour **préserver la sécurité des données** et, notamment, empêcher que des tiers non autorisés y aient accès. (loi du 6 janvier 1978, Article. 34)

Entretien réalisé le 09/09/2017, à

Collecteur :

Elodie HOCHSCHEID,

Informateur :

Prénom_NOM_personne_interviewee,

Annexe 4. Extrait d'une retranscription d'un entretien

Ci-dessous, un court extrait de retranscription des entretiens et la méthode de retranscription en deux colonnes utilisée.

COLONNE RETRANSCRIPTION ENQUÊTÉ

COLONNE RÉFLEXION CHERCHEUR

MISSIONS

Vous faisiez le suivi de chantier aussi ?

OPC

Oui, c'était peut-être une erreur. Je vois beaucoup de confrères qui ne s'occupent plus de l'OPC. Ils ne font même plus

Ils ne font plus que du contrôle architectural. Au point de vue économique et responsabilité.

Le chantier, ça consomme beaucoup d'énergie. Et il y a un suivi qu'il faut assurer derrière. On ne sera pas incriminé si on ne suit pas le chantier et qu'il y a un problème.

DET

Il y a de moins en moins d'archis qui font ce type de mission. Aussi parce qu'il y a de plus en plus de procédures de type conception-construction ou PPP qui excluent de fait les architectes. Après c'est un choix ou pas d'entrer dans ce système.

C'est un choix ?

Même pas forcément... On faisait aussi OPC. Et je me disais « mais pourquoi je fais ça ? ». Ce qui est déprimant c'est que les seuls qui s'intéressent à la vraie qualité c'est les architectes. Les maîtres d'ouvrage sont incultes en qualité architecturale, ils ne sont pas intéressés par la qualité spatiale.

Voir s'il existe des chiffres sur l'OPC et les architectes.

Ce propos rejoint l'état de l'art. Mais s'agit-il uniquement de questions économiques ? quid des compétences techniques ?

DET – direction exécution des travaux

Ce sont les procédures qui excluent les architectes ou les architectes qui se sont détournés des chantiers ? Comment se passent les projets PPP avec l'architecte ?

Voir entretien n°3, ce sentiment semble courant.

Je suis aussi de la génération de ce type d'agence un peu bidouille où l'on ne payait pas beaucoup de licences. Mais sur les logiciels pointus d'aujourd'hui, ce n'est plus possible de faire cela. Car il faut avoir accès à une assistance, etc.

Le plus gros projet que j'ai fait c'était 10 millions d'€ : un collège. Je on était à 4 ou 5 archis et on avait en face de nous une entreprise générale très grande. Il y avait un côté un peu déséquilibré et un peu anormal. On était le « maillon faible » dans la boucle. Ce n'est donc peut-être pas si mal que cela ne soit plus possible.

Les petites agences disparaissent sur ce type de projets.

C'est le second enquêté qui parle des licences ! Cela semble courant dans les petites agences.

Petite taille des agences VS grandes entreprises : cela revient souvent. Faire un comparatif entre la taille des agences d'architecture et la taille des entreprises du secteur de la construction ?

L'idée que les petites agences vont disparaître. Idée à creuser.

Je n'ai jamais vu un logiciel BIM qui permet de faire des coupes en baillonnette.
Elodie : ArchiCAD par exemple a une fonction qui le permet

Répondant : Non, mais c'est cette idée que le dessin pertinent n'est pas forcément le dessin juste. Je ne vois pas comment on peut dessiner tout. Je sais dessiner le plan sans dessiner la coupe. Le dessin 3D qui connecte tout tout de suite ça ne correspond pas à la manière de travailler le projet. On avance sur tout en même temps. J'ai l'impression que ces libertés là, qui sont des libertés conceptuelles, ne sont plus permises. J'ai l'impression qu'il faut aller contre la logique de l'outil.

Souvent, les critiques des fonctionnalités des outils ne sont pas fondées.

Intéressant : blocage ressenti pour la conception avec les outils de CAO.

Annexe 5. Liste de questions et modalités de réponses du questionnaire

Légende du tableau ci-dessous

- **N°** : numéro de colonne de notre table de données
- **Code** : numéro de la question (les questions ont été posées dans l'ordre présenté dans le tableau, mais le code des questions (Q01, etc.) ne respecte pas cet ordre : cela est dû à des modification de l'ordre des questions au cours de l'élaboration du questionnaire).
- **Question** : formulation de la question
- **Option de réponse** : lorsqu'il s'agissait d'une réponse à choix multiples, les options sont notées ici.
- **Modalités de réponse** : différentes modalités de réponse pour une même question (lorsque choix unique)

Tableau 39. Liste des questions et modalités de réponse du questionnaire

<i>N°</i>	<i>Code</i>	<i>Question</i>	<i>Option de réponse</i>	<i>Modalités de réponse</i>
1	id.	ID de la réponse		
2	submitdate.	Date de soumission		
3	lastpage.	Dernière page		
4	startlanguage.	Langue de départ		
5	seed.	Tête de série		
6	startdate.	Date de lancement		
7	datestamp.	Date de la dernière action		
8	navig.	Navigateur		
9	refurl.	URL référente		
10	Q01.	Ce questionnaire est destiné à des personnes qui travaillent actuellement ou ont travaillé au sein d'une agence d'architecture au cours des 2 dernières années (stages inclus, indépendants inclus). Merci de concentrer les réponses sur une seule entreprise.		
11	Q03.	Avez-vous une spécialisation ? (de par votre formation ou votre expérience : architecture bois, patrimoine, aspects environnementaux, outils numériques, urbanisme....)		Oui/Non
12	Q03b.	Quelle est-elle ?		(question ouverte)
13	Q04[R041].	Quelle est votre position dans l'entreprise ?	[Stagiaire]	
14	Q04[R042].		[Dessinateur]	
15	Q04[R043].		[Projeteur/collaborateur]	
16	Q04[R044].		[Chef de projet]	
17	Q04[R045].		[Associé]	
18	Q04[R046].		[Dirigeant]	
19	Q04[R047].		[Je suis un indépendant et travaille seul]	
20	Q04[other].		[Autre]	(question ouverte)
21	Q05.	Depuis combien de temps travaillez-vous dans cette entreprise ? OU combien de temps y avez-vous travaillé ?		moins de 2 ans; de 2 à 5 ans; de 6 à 10 ans; de 11 à 20 ans; + de 20 ans
22	Q06.	Dans quelle région est localisée l'agence ?		Auvergne-Rhône-Alpes; Bourgogne-Franche-Comté; Bretagne; Grand Est; Hauts-de-France; Ile-de-France; Normandie; Nouvelle-Aquitaine; Occitanie; Pays-de-la-Loire; Provence-Alpes-Côte d'Azur; (autre)
23	Q07.	Quelle est l'année de création de l'entreprise ?		(réponse libre (nombre))
24	Q08.	Combien de personnes travaillent dans l'entreprise ?		de 1 à 5; de 6 à 10; de 11 à 20; de 21 à 50; + de 50
25	Q09[R091].	Vous travaillez avec :	[des maîtres d'ouvrage privés]	0 : rarement ou jamais; 1 : occasionnellement; 2 : régulièrement
26	Q09[R092].		[des maîtres d'ouvrage publiques]	
27	Q10[R101].	Quel(s) type(s) d'ouvrage(s) réalisez-vous ?	[Aménagements intérieurs]	0 : rarement ou jamais; 1 : occasionnellement; 2 : régulièrement
28	Q10[R102].		[Maisons individuelles]	ibid.
29	Q10[R103].		[Logements collectifs]	ibid.
30	Q10[R104].		[Industrie et stockage]	ibid.
31	Q10[R105].		[Bureaux et commerces]	ibid.
32	Q10[R106].		[Aménagements urbains]	ibid.
33	Q11[SQ001].	Quelle est la superficie des projets que vous réalisez ?	[Moins de 200 m ²]	
34	Q11[SQ002].		[de 200 à 1000 m ²]	
35	Q11[SQ003].		[entre 1001 et 5000 m ²]	
36	Q11[SQ004].		[entre 5001 et 10 000 m ²]	
37	Q11[SQ005].		[+ de 10 000 m ²]	

38	Q11[SQ006].		[Projets urbains]	
39	Q12.	Travaillez-vous parfois en équipe à l'agence sur un même projet ?		Oui/Non
40	Q12b.	Comment divisez-vous les tâches au sein d'un même projet ?		chaque personne (ou équipe de projet) suit tout le projet du début à la fin; les tâches sont divisées et chacun réalise une mission spécifique sur chaque projet (question ouverte)
41	Q12b[other].		[Autre]	
42	Q13.	Combien existe-t-il de niveaux hiérarchiques dans votre entreprise ? (hors administratif et secrétariat)		1 niveau (aucune différence hiérarchique entre les architectes); 2 niveaux (un ou des dirigeants + employés); 3 niveaux (dirigeant + chefs de projet + collaborateurs); 4 niveaux ou +
43	Q14.	Quel type de hiérarchie y a-t-il dans votre entreprise ?		hiérarchie forte et supervision directe + faible autonomie des salariés; hiérarchie forte + division des responsabilités auprès des salariés; hiérarchie existante mais peu visible + initiatives des salariés valorisées; Horizontalité et collaboration (question ouverte)
44	Q14[other].		[Autre]	
45	Q16[R161].	Quel est l'expérience moyenne du/des dirigeants de l'agence ?	[jeune diplômé (-de 5 ans d'expérience)]	
46	Q16[R162].		[jeune actif (de 5 à 10 ans d'expérience)]	
47	Q16[R163].		[de 11 à 20 ans d'expérience]	
48	Q16[R164].		[de 21 à 30 ans d'expérience]	
49	Q16[R165].		[+ de 30 ans d'expérience]	
50	Q19[R191].	Quelle est l'expérience professionnelle des collaborateurs et personnes qui travaillent au sein de l'agence ?	[jeune diplômé (- de 5 ans d'expérience)]	
51	Q19[R192].		[jeune actif (de 5 à 10 ans d'expérience)]	
52	Q19[R193].		[de 11 à 20 ans d'expérience]	
53	Q19[R194].		[de 21 à 30 ans d'expérience]	
54	Q19[R195].		[+ de 30 ans d'expérience]	
55	Q20.	Y-a-t-il régulièrement des départs/de nouveaux arrivants dans l'entreprise ? (hors stagiaires)		
56	Q15.	Travaillez-vous régulièrement avec des bureaux d'études techniques (BET) extérieurs ?		Oui/Non
57	Q15b.	Travaillez-vous régulièrement avec les mêmes BET ?		Oui/Non
58	Q15c.	Avez-vous convenu avec certains BET d'un processus de travail et d'échanges de fichiers commun ?		Oui/Non
59	Q17.	Le dirigeant utilise-t-il les outils de production graphiques de l'agence (SketchUp, ArchiCAD, AutoCAD, etc.) :		pas du tout; pour visualiser les projets uniquement; pour effectuer de légères modifications sur les projets; pour participer directement à la production
60	Q18.	Le dirigeant* est-il favorable à l'utilisation et l'intégration de nouvelles technologies au sein de l'entreprise ? *Si vous êtes un indépendant : indiquez votre position.		Oui, beaucoup; oui, un peu; indifférent; non, il y est défavorable
61	Q21[SQ001].	Quelle est l'attitude générale des collaborateurs au sein de l'agence vis à vis des innovations numériques/logicielles/le BIM ?	[réticents (ne souhaitent pas changer les méthodes de travail)]	

62	Q21[SQ002].		[en retrait (ne se prononcent pas, et ne sont pas en demande)]
63	Q21[SQ003].		[intéressés (en demande de formation ou maîtrisent bien les nouveaux outils)]
64	Q21[SQ004].		[proactifs (ont expérimenté et mis en place des innovations de façon spontanée)]
65	Q21[other].		[Autre] (question ouverte)
66	Q22[SQ001].	Qualifiez la qualité du matériel informatique (ordinateurs, écrans, etc.) avec lequel vous travaillez :	[vétuste]
67	Q22[SQ002].		[correct]
68	Q22[SQ003].		[bon]
69	Q22[SQ004].		[très performant]
70	Q22[other].		[Autre] (question ouverte)
71	Q23[SQ001].	Quel(s) logiciels sont utilisés dans votre agence pour la conception ? /!\Attention, les réponses à cette question déterminent les questions qui suivent. Merci de répondre de manière aussi précise que possible afin que seules les questions qui vous concernent ne vous soient posées.	[AutoCAD]
72	Q23[SQ002].		[SketchUp]
73	Q23[SQ007].		[ArchiCAD]
74	Q23[SQ003].		[Revit]
75	Q23[SQ004].		[Allplan]
76	Q23[SQ005].		[Vectorworks]
77	Q23[SQ010].		[Dynamo]
78	Q23[SQ008].		[Rhinoceros]
79	Q23[SQ009].		[Grasshopper]
80	Q23[other].		[Autre] (question ouverte)
81	Q23b[SQ001].	Vous avez sélectionné différents outils qui réalisent des tâches similaires. Pour quelle raison ces outils sont-ils utilisés en parallèle au sein de votre agence ?	[Les outils numériques utilisés sont sélectionnés en fonction des préférences et compétences de chacun]
82	Q23b[SQ002].		[Les projets sont très différents et nécessitent l'utilisation d'outils numériques différents]
83	Q23b[SQ003].		[Nous expérimentons différents outils numériques en phase conception]
84	Q23b[SQ004].		[Nous sommes en période de transition et travaillons pour l'instant sur plusieurs outils mais souhaitons généraliser l'utilisation de l'un de ces outils]
85	Q23b[SQ005].		[Nous réalisons actuellement une expérimentation et l'utilisation d'un outil BIM est pour l'instant très minoritaire]
86	Q23b[SQ006].		[Nous avons essayé d'intégrer un « outil BIM », mais sommes revenus à nos précédentes pratiques]
87	Q23b[other].		[Autre] (question ouverte)
88	Q55.	utilisez-vous des versions différentes du même logiciel de conception (AutoCAD, ArchiCAD, Revit,...) sur les postes de travail de l'agence ?	Oui/Non

89	Q24[SQ009].	Positionnez votre agence par rapport aux affirmations suivantes	[S'appuyer sur des outils numériques pour la conception]	C'est exclu; je ne sais pas de quoi il s'agit; je sais que cela existe, sans plus; nous y pensons; nous souhaitons le faire ientôt; nous essayons actuellement; nous avons essayé et cela n'a pas marché; certains collaborateurs le font; nous le faisons tous, ne sait pas.
90	Q24[SQ010].		[Changer d'outil de conception pour un outil plus « efficace » et « BIM »]	Ibid.
91	Q24[SQ001].		[Produire les plans et coupes depuis la 3D d'ArchiCAD, Revit ou Allplan]	Ibid.
92	Q24[SQ002].		[Réaliser des métrés/carnets de menuiseries avec la 3D.]	Ibid.
93	Q24[SQ003].		[Utiliser un serveur travail collaboratif interne (type serveur ArchiCAD ou serveur Revit teamwork)]	Ibid.
94	Q24[SQ006].		[Renseigner des informations non géométriques dans un modèle 3D (classification au feu, propriétés thermiques, acoustiques, etc..)]	Ibid.
95	Q24[SQ004].		[Transmettre des maquettes numériques aux BETs (export IFC, rvt,...)]	Ibid.
96	Q24[SQ005].		[Importer/exploiter une maquette numérique des BET.]	Ibid.
97	Q24[SQ007].		[Formaliser et organiser les échanges de fichiers avec des partenaires]	Ibid.
98	Q24[SQ008].		[Utiliser une plateforme collaborative BIM en ligne avec d'autres acteurs du projet.]	Ibid.
99	Q53.	Vous avez indiqué avoir essayé d'intégrer certaines pratiques à l'agence, et dans certains cas, cela n'a pas fonctionné. Selon vous, pourquoi cela n'a-t-il pas fonctionné ?		(question ouverte)
100	Q52.	Vous avez indiqué avoir certaines pratiques BIM à l'agence. Les pratiques BIM intégrées le plus récemment l'ont été :		il y a moins d'1 an; il y a 2 à 5 ans; il y a 6 à 10 ans; il y a plus de 10 ans
101	Q25[SQ001][1].	Cette question concerne les éléments qui ont été déterminants dans la décision d'intégrer ou pas des pratiques BIM à l'agence. Positionnez-vous par rapport aux affirmations positives suivantes :	[Les pratiques BIM rendent performants][Échelle 1]	0 = pas du tout 1 = un peu 2 = beaucoup [Ø] = ne sait pas
102	Q25[SQ001][2].		[Les pratiques BIM rendent performants][Échelle 2]	Ibid.
103	Q25[SQ002][1].		[Le BIM offre des possibilités économiques intéressantes][Échelle 1]	Ibid.
104	Q25[SQ002][2].		[Le BIM offre des possibilités économiques intéressantes][Échelle 2]	Ibid.
105	Q25[SQ003][1].		[Nous savons où trouver des formations et où se procurer les outils BIM][Échelle 1]	Ibid.
106	Q25[SQ003][2].		[Nous savons où trouver des formations et où se procurer les outils BIM][Échelle 2]	Ibid.
107	Q25[SQ004][1].		[La notion de « BIM » est claire pour nous][Échelle 1]	Ibid.
108	Q25[SQ004][2].		[La notion de « BIM » est claire pour nous][Échelle 2]	Ibid.

109	Q25[SQ005][1].	[Le BIM est compatible avec notre pratique et vision du métier][Échelle 1]	lbid.
110	Q25[SQ005][2].	[Le BIM est compatible avec notre pratique et vision du métier][Échelle 2]	lbid.
111	Q25[SQ006][1].	[Intégrer le BIM nous donne un avantage concurrentiel][Échelle 1]	lbid.
112	Q25[SQ006][2].	[Intégrer le BIM nous donne un avantage concurrentiel][Échelle 2]	lbid.
113	Q25[SQ007][1].	[C'est facile à utiliser][Échelle 1]	lbid.
114	Q25[SQ007][2].	[C'est facile à utiliser][Échelle 2]	lbid.
115	Q25[SQ008][1].	[C'est utile pour notre pratique][Échelle 1]	lbid.
116	Q25[SQ008][2].	[C'est utile pour notre pratique][Échelle 2]	lbid.
117	Q25[SQ009][1].	[Nous avons besoin de normaliser nos processus de travail pour être efficaces][Échelle 1]	lbid.
118	Q25[SQ009][2].	[Nous avons besoin de normaliser nos processus de travail pour être efficaces][Échelle 2]	lbid.
119	Q25[SQ010][1].	[Nos clients et partenaires sont de plus en plus demandeurs de BIM.][Échelle 1]	lbid.
120	Q25[SQ010][2].	[Nos clients et partenaires sont de plus en plus demandeurs de BIM.][Échelle 2]	lbid.
121	Q25[SQ011][1].	[De nombreux confrères s'y sont mis][Échelle 1]	lbid.
122	Q25[SQ011][2].	[De nombreux confrères s'y sont mis][Échelle 2]	lbid.
123	Q25[SQ012][1].	[C'est facile à mettre en place][Échelle 1]	lbid.
124	Q25[SQ012][2].	[C'est facile à mettre en place][Échelle 2]	lbid.
125	Q26[SQ001][1].	[Il existe de nombreux problèmes techniques][Échelle 1]	lbid.
126	Q26[SQ001][2].	[Il existe de nombreux problèmes techniques][Échelle 2]	lbid.
127	Q26[SQ002][1].	[Les outils et la formation sont trop coûteux][Échelle 1]	lbid.
128	Q26[SQ002][2].	[Les outils et la formation sont trop coûteux][Échelle 2]	lbid.
129	Q26[SQ003][1].	[Nous ne savons pas où trouver des formations et/ou ne savons pas où nous procurer des outils BIM][Échelle 1]	lbid.
130	Q26[SQ003][2].	[Nous ne savons pas où trouver des formations et/ou ne savons pas où nous procurer des outils BIM][Échelle 2]	lbid.
131	Q26[SQ004][1].	[La notion de BIM est floue][Échelle 1]	lbid.
132	Q26[SQ004][2].	[La notion de BIM est floue][Échelle 2]	lbid.
133	Q26[SQ005][1].	[Le BIM est incompatible avec notre vision du métier][Échelle 1]	lbid.
134	Q26[SQ005][2].	[Le BIM est incompatible avec notre vision du métier][Échelle 2]	lbid.

135	Q26[SQ006][1].		[Le BIM nous désavantagerait par rapport à d'autres agences][Échelle 1]	ibid.
136	Q26[SQ006][2].		[Le BIM nous désavantagerait par rapport à d'autres agences][Échelle 2]	ibid.
137	Q26[SQ007][1].		[C'est compliqué à utiliser][Échelle 1]	ibid.
138	Q26[SQ007][2].		[C'est compliqué à utiliser][Échelle 2]	ibid.
139	Q26[SQ008][1].		[Le BIM n'est pas pertinent pour notre pratique][Échelle 1]	ibid.
140	Q26[SQ008][2].		[Le BIM n'est pas pertinent pour notre pratique][Échelle 2]	ibid.
141	Q26[SQ009][1].		[L'architecte doit garder une grande liberté de conception : le BIM ne le permet pas.][Échelle 1]	ibid.
142	Q26[SQ009][2].		[L'architecte doit garder une grande liberté de conception : le BIM ne le permet pas.][Échelle 2]	ibid.
143	Q26[SQ010][1].		[Nos partenaires ne sont pas en demande d'échanges BIM][Échelle 1]	ibid.
144	Q26[SQ010][2].		[Nos partenaires ne sont pas en demande d'échanges BIM][Échelle 2]	ibid.
145	Q26[SQ011][1].		[Travailler en BIM serait mal perçu par nos confrères][Échelle 1]	ibid.
146	Q26[SQ011][2].		[Travailler en BIM serait mal perçu par nos confrères][Échelle 2]	ibid.
147	Q26[SQ012][1].		[Intégrer des pratiques BIM est trop compliqué][Échelle 1]	ibid.
148	Q26[SQ012][2].		[Intégrer des pratiques BIM est trop compliqué][Échelle 2]	ibid.
149	Q27[SQ002].	Au sein de votre agence, la direction a-t-elle :	[Évité les marchés qui nécessitent des compétences BIM]	
150	Q27[SQ003].		[Délégué les « tâches BIM » à une personne/un groupe dédié en interne]	
151	Q27[SQ007].		[Délégué les « tâches BIM » à une personne/un groupe dédié en externe (sous-traitance)]	
152	Q27[SQ004].		[Réalisé une maquette numérique uniquement à la fin du projet si c'est demandé (sans exploitatin pour la conception)]	
153	Q27[SQ005].		[Fait un retour aux pratiques précédentes après avoir réalisé un essai non concluant avec le BIM]	
154	Q27[SQ006].		[Fait obstruction aux initiatives/demandes BIM des employés]	
155	Q29[SQ005].	Quel type d'événement a déclenché, dans un premier temps, l'intégration de pratiques BIM à l'agence ? (plusieurs réponses possibles)	[une prise de décision formelle de la direction qui a montré sa volonté d'intégrer le BIM à l'agence]	
156	Q29[SQ008].		[l'embauche d'une nouvelle personne par la direction dans le but d'initier l'agence au BIM]	
157	Q29[SQ001].		[une demande très forte d'un maître d'ouvrage dans le cadre d'un projet]	
158	Q29[SQ003].		[une opportunité sur un projet (non-obligation)]	

159	Q29[SQ004].		[une demande des employés]
160	Q29[SQ006].		[l'arrivée d'une nouvelle personne à l'agence a mis en place spontanément des processus BIM]
161	Q29[SQ007].		[la mise en place progressive et spontanée de processus BIM par certaines personnes de l'agence]
162	Q29[SQ009].		[nous travaillons comme cela depuis des années, c'est difficile à dire...]
163	Q29[other].		[Autre] (réponse libre)
164	Q30.	Qualifiez la réaction de la direction face à cette situation :	très positive (forts encouragements); plutôt positive (encouragements); plutôt négative (réticences ou refus); très négative (interdiction, refus catégorique).
165	Q31.	Qualifiez la réaction des architectes de l'agence face à cette situation :	très positive; plutôt positive; plutôt négative; très négative
166	Q33.	Quelle méthode avez-vous adopté pour intégrer des pratiques BIM à l'agence ?	anticipation (nous avons défini un plan d'action); approche terrain (nous avançons au fur et à mesure)
167	Q33[other].		[Autre] (réponse libre)
168	Q32[SQ001].	Qu'avez-vous mis en œuvre pour intégrer de nouvelles pratiques BIM à l'agence ? /!\Attention, les réponses à cette question déterminent les questions qui suivent. Merci de répondre de manière aussi précise que possible afin que seules les questions qui vous concernent ne vous soient posées.	[Suivi d'une formation professionnelle]
169	Q32[SQ005].		[Désignation d'une personne ou équipe en charge d'organiser/d'accompagner l'intégration du BIM à l'agence]
170	Q32[SQ007].		[Mise en place de communications dédiées à l'avancement de l'intégration du BIM à l'agence (mails d'info, réunions...)]
171	Q32[SQ002].		[Mise en place d'un calendrier dédié à la mise en place du BIM dans l'agence]
172	Q32[SQ004].		[Choix d'un projet pour essayer les nouveaux processus de travail (projet pilote)]
173	Q32[SQ006].		[Mise en place d'un calcul d'indicateurs de performances]
174	Q32[SQ003].		[Mise en œuvre d'un management de type « conduite du changement »]
175	Q32[SQ008].		[Réaffectation de tâches et rôles au sein de l'agence spécifiques au BIM]
176	Q32[other].		[Autre] (réponse libre)
177	Q38[SQ001].	Sur quoi portaient la ou les formations suivies ?	[La maîtrise d'un outil de production (ArchiCAD, Revit, Allplan...)]
178	Q38[SQ004].		[La création de descriptifs/quantitatifs depuis la maquette numérique]
179	Q38[SQ006].		[Les outils et processus d'échange (export/import IFC, etc...)]

180	Q38[SQ005].		[L'organisation de la collaboration (gestion de projet, nouvelles méthodes de travail)]	
181	Q38[SQ002].		[Les concepts et enjeux du BIM (aspects réglementaires, cadre théorique, etc.)]	
182	Q38[SQ003].		[La conduite et gestion du changement dans une entreprise]	
183	Q38[other].		[Autre]	(réponse libre)
184	Q34.	Combien de temps de formation (en équivalent journées complètes) les architectes de l'agence ont-ils suivi en moyenne dans le cadre de l'intégration du BIM à l'agence ?		moins d'une journée; de 1 à 3; de 4 à 6; de 6 à 8; de 8 à 10; + de 10
185	Q35[SQ001].	Combien de formations* avez-vous suivies dans le cadre du passage au BIM dans l'agence ? *(Une même formation peut être composée de plusieurs journées ou demi-journées de formation)	[1 seule formation]	
186	Q35[SQ002].		[plusieurs formations (pour retravailler des éléments déjà vus)]	
187	Q35[SQ003].		[plusieurs formations (pour approfondir des points particuliers)]	
188	Q36[SQ001].	Comment ont été réparties les sessions de formation ?	[plutôt regroupées sur un court laps de temps (toute la formation en une ou deux fois)]	
189	Q36[SQ002].		[plutôt des sessions régulières mais espacées dans le temps (ex. :1j/semaine)]	
190	Q36[other].		[Autre]	(réponse libre)
191	Q37[SQ001].	Quand avez-vous pris en main l'outil/la méthode BIM sur un premier projet* de l'agence ? *(autre que projet pilote)	[avant la formation]	
192	Q37[SQ002].		[en même temps que la première formation]	
193	Q37[SQ003].		[quelques jours après la fin de la formation]	
194	Q37[SQ004].		[quelques semaine après la fin de la formation]	
195	Q37[SQ005].		[nous n'avons pas encore mis en application ce qui a été vu en formation]	
196	Q39[SQ001].	Qui a été en charge de l'intégration du BIM à l'agence ? Une personne/un groupe :	[interne à l'agence]	
197	Q39[SQ002].		[externe à l'agence (autre que formateur)]	
198	Q43[SQ001].	Cette personne/ce groupe :	[travaillait à temps plein sur la transition à l'agence]	
199	Q43[SQ002].		[travaillait à temps partiel sur la transition à l'agence]	
200	Q43[SQ004].		[a eu peu de temps à consacrer à la transition à l'agence]	
201	Q41.	Les communications sur les changements à l'agence ont-elles été réalisées :		plutôt en amont; plutôt après coup
202	Q40[SQ001].	Sur quel(s) mode(s) la direction communiquait-elle sur l'intégration du BIM au sein de l'agence ?	[discussion informelle (face à face)]	
203	Q40[SQ002].		[communication par mail]	
204	Q40[SQ003].		[réunion pour discuter des changements à l'agence]	
205	Q40[SQ004].		[présentation et réunion d'information]	

206	Q44[SQ001].	Sur quel(s) critère(s) avez-vous choisi le projet pilote*?*(projet sur lequel vous avez essayé la nouvelle méthode de travail)	[la taille, le budget ou la durée du projet]	
207	Q44[SQ002].		[le timing du projet par rapport à la formation]	
208	Q44[SQ003].		[la demande d'un maître d'ouvrage]	
209	Q44[SQ004].		[la représentativité du projet par rapport à la production courante de l'agence]	
210	Q44[SQ005].		[Ne sait pas]	
211	Q44[other].		[Autre]	(réponse libre)
212	Q42.	Quel indicateur de performance avez-vous calculé?		(réponse libre)
213	Q54.	Avez-vous des commentaires sur les changements à l'agence? Quels ont été les points qui ont fonctionné? Que feriez-vous différemment? (formation, management, projet...)		(réponse libre)
214	Q46.	Vous êtes-vous sentis démunis face à la méthode à employer pour intégrer des pratiques BIM à l'agence?		Oui/Non
215	Q46[other].		[Commentaire]	(réponse libre)
216	Q45.	Les changements à l'agence ont été source de tensions ou fortes résistances en interne :		pas du tout d'accord; plutôt pas d'accord; plutôt d'accord; tout à fait d'accord
217	Q28[SQ001].	Indiquez le type d'impact qu'ont eu les facteurs suivants pendant l'intégration de pratiques BIM à l'agence :	[possibilités techniques des outils numériques (trop limitées ou trop nombreuses/très satisfaisantes)]	-- : très négatif; - : négatif; 0 : neutre; + : positif; ++ : très positif; [Ø] : ne sait pas
218	Q28[SQ002].		[aspect économique (retour sur investissement ou baisse de productivité)]	Ibid.
219	Q28[SQ003].		[disponibilité de formation et accès à la technologie]	Ibid.
220	Q28[SQ004].		[compatibilité du BIM avec nos pratiques habituelles]	Ibid.
221	Q28[SQ005].		[avantage/désavantage concurrentiel apporté par le passage au BIM]	Ibid.
222	Q28[SQ006].		[complexité d'utilisation des outils et méthodes BIM]	Ibid.
223	Q28[SQ007].		[perception de l'utilité/inutilité des changements réalisés]	Ibid.
224	Q28[SQ008].		[uniformisation des pratiques logicielles et collaboratives à l'agence (mise en place de ressources communes, de fichier type, etc.)]	Ibid.
225	Q28[SQ009].		[comparaison avec d'autres agences]	Ibid.
226	Q28[SQ010].		[perception de la complexité du changement]	Ibid.
227	Q28b[SQ011].		[culture de l'agence (identité, vision stratégique)]	Ibid.
228	Q28b[SQ012].		[partenaires avec lesquels nous travaillons]	Ibid.
229	Q28b[SQ013].		[fonctionnement hiérarchique de l'agence]	Ibid.
230	Q28b[SQ014].		[pratiques logicielles et collaboratives de l'agence]	Ibid.
231	Q28b[SQ015].		[communication (ouverture/opacité) sur le changement dans l'agence]	Ibid.
232	Q28b[SQ018].		[organisation et déroulement de la transition (peu organisée/bien planifiée)]	Ibid.

233	Q28b[SQ016].	[contenu et déroulement des formations]	ibid.
234	Q28b[SQ021].	[planning de changement à l'agence (durée de la phase de changement)]	ibid.
235	Q28b[SQ017].	[attitude et investissement des personnes chargées de l'intégration du BIM à l'agence]	ibid.
236	Q28b[SQ019].	[caractéristiques du premier projet sur lequel nous avons travaillé]	ibid.
237	Q28b[SQ020].	[réaction des personnes travaillant à l'agence]	ibid.
238	Q48.	Êtes-vous satisfait d'avoir opéré ces changements à l'agence ?	Oui/Non
239	Q48[comment].	[Commentaire si oui]	(réponse libre)
240	Q47.	Pensez-vous nécessaire de proposer aux agences un « guide » permettant d'appréhender différentes étapes possibles dans le changement lié au BIM, et de la documentation associée (calendrier de transition, organisation de la formation, pense-bête pour ne rien oublier, conséquences et risques possibles...)?	(réponse libre)
241	Q49.	Vous pouvez nous transmettre un commentaire si vous le souhaitez.	(réponse libre)
242	Q50.	Si vous souhaitez être informés des résultats de ce questionnaire et de notre recherche, vous pouvez nous indiquer votre adresse mail *. * Le traitement des réponses est anonymisé : l'adresse mail que vous nous communiquez sera dissociée des réponses que vous avez données aux questions précédentes.* Nous ne diffuserons en aucun cas votre adresse mail et ne l'utiliserons que pour vous communiquer les résultats de nos travaux.	(réponse libre)
243	interviewtime.	Temps total :	(calculé automatiquement)

Annexe 6. Aide à la lecture. Notions de base en statistique

Dans cette partie, certains concepts statistiques de base que nous avons utilisés dans notre étude sont expliqués.

Variables

Pour réaliser notre analyse, nous avons accès au jeu de données dans lequel chaque colonne correspond aux réponses à une question. Pour nous, chaque colonne correspond donc à une variable, qui peut prendre plusieurs valeurs (plusieurs modalités).

Il existe deux types de variables aléatoires : les variables quantitatives et les variables qualitatives. Cette distinction est particulièrement importante car elle conditionne le type d'analyse qui peut être réalisée.

Les variables **quantitatives** sont des variables dont l'addition peut avoir un sens (nombre de personnes, superficie, montant, etc.). Il existe deux types de variables quantitatives : les *variables discrètes* lorsque le nombre de résultats possibles est limité (valeurs entières par exemple). Elles sont au contraire dites *continues* lorsque le nombre de résultats possibles est très grand.

Les variables **qualitatives** sont des variables dont l'addition ne fait pas sens (profession, niveau de maturité, type de projet). Dans certains cas, elles peuvent être *ordonnées* (pas du tout, un peu, beaucoup), ou, *binaires* (présence/absence d'un phénomène, réponse Oui/Non).

Lorsqu'un jeu de données comporte plusieurs variables à plusieurs modalités, on dit qu'il s'agit de données « multidimensionnelles » ou « multivariées ».

Différents types d'analyses : univariées, bivariées, multivariées

Les méthodes statistiques permettent d'ordonner des observations statistiques, de les résumer en tendances générales et de les représenter (Grais 1977). Nous décrivons ici plusieurs méthodes statistiques et le cadre dans lequel elles peuvent être utilisées.

Notons qu'il existe différents types de méthodes d'analyse : l'analyse univariée, bivariée et multivariée.

Les **analyses univariées** consistent à étudier statistiquement les modalités d'une seule variable à la fois. C'est le cas notamment lorsqu'on réalise un diagramme bâtons à partir d'une variable pour connaître la répartition des réponses pour les différentes modalités de la variable. Ces analyses permettent de décrire un échantillon.

Les **analyses bivariées** consistent à étudier les relations entre deux variables (quantitatives ou qualitatives). Pour des variables qualitatives, on peut notamment réaliser un tableau croisé pour observer la répartition du croisement des deux variables.

Les **analyses multivariées** permettent d'analyser des données multidimensionnelles. Elles permettent donc d'analyser un jeu de données qui compte deux variables ou plus ²³⁴.

Il existe plusieurs méthodes d'analyses multivariées : les **méthodes descriptives**, qui permettent de résumer des données complexes et les **méthodes explicatives** qui permettent d'identifier si une variable (variable à expliquer) dépend d'autres variables (variables explicatives). En fonction de nos besoins, nous avons fait appel à ces deux types d'analyses dans notre étude.

Les limites des études statistiques

Dans une étude par questionnaire, les biais possibles sont multiples et les éviter tous est impossible même si il est nécessaire de les limiter. Aussi, les statistiques ne permettent en aucun cas d'apporter une réponse ferme et définitive à une question. En mars 2019, 800 scientifiques et statisticiens ont co-signé un article sur le site de la revue nature pour alerter sur les limites de l'utilisation des statistiques, les erreurs d'interprétation, et sur le danger d'avoir recours de manière systématique et unique aux méthodes statistiques (Amrhein, Greenland, McShane 2019). Le même mois, la revue The American Statistician publiait un numéro intitulé « Moving to a World Beyond $p < 0.05$ » (« aller vers un monde au-delà du statistiquement significatif ») qui fait les mêmes constats et qui propose de redéfinir en profondeur les statistiques et les conditions de rejet d'une hypothèse testée. Il est nécessaire de prendre de la distance avec les résultats des études statistiques, de les nuancer et de les compléter avec des observations et méthodes qualitatives.

²³⁴ Les analyses bivariées sont un cas particulier d'analyses multivariées.

Annexe 7. Aide à la lecture : la régression

La régression est un type d'analyse statistique (explicative) qui permet de tester si des variations d'une variable (la variable à expliquer) sont liées aux variations d'une ou plusieurs autres variables (variables explicatives). Si des relations sont identifiées, le modèle de régression peut être utilisé pour effectuer une *prédiction*, c'est à dire « donner une valeur approchée de ce que l'on voudrait connaître, sur la base de ce que l'on sait » (Le Roux 2014). Cette méthode est notamment utilisée en machine learning.

Lorsque la variable à expliquer est régressée sur *plusieurs variables* explicatives, la régression est dite multiple. La régression multiple permet de tester si les variations de chacune des variables explicatives sont liées à la variable à expliquer, « toutes choses égales par ailleurs » c'est à dire en annulant l'effet des autres variables explicatives régressées. On peut dire que le résultat de la régression multiple permet de caractériser l'association entre chaque variable explicative et la variable à expliquer, avec ajustement sur les autres variables explicatives. **Ce modèle est donc particulièrement intéressant pour identifier, parmi un jeu de variables, celles qui sont plus liées que les autres à la variable à expliquer.**

Le type de régression à utiliser dépend du type de variable à expliquer. Si la variable à expliquer est quantitative, on peut utiliser une régression linéaire. Dans le cas d'une variable qualitative, on utilisera une régression logistique. Il existe plusieurs formes de régression logistique : la *régression logistique ordinaire (ou binaire)* explique une variable binaire. La régression logistique multinomiale permet d'expliquer une variable qualitative à trois modalités ou plus ; la *régression logistique ordinale* est un cas particulier de régression multinomiale car elle permet de travailler sur trois modalités ou plus qui sont ordonnées (Grais 1977).

La notion de **modalité de référence** s'applique aux variables qualitatives dans le cadre d'une régression logistique. La modalité de référence d'une variable est la modalité par rapport à laquelle les coefficients de relation des autres modalités de cette variable sont calculés. Cette modalité de référence doit donc être judicieusement choisie et ne devrait pas être une modalité peu représentée dans l'échantillon. Avant de réaliser chaque régression, chaque variable explicative doit être croisée avec la variable à expliquer via par exemple un tri croisé, afin d'identifier la modalité de référence la plus pertinente et éventuellement regrouper des modalités lorsque les effectifs étaient inférieurs à dix.

La p-value

La p-value correspond à la plausibilité des données observées, dans le cas où il n'y aurait pas de lien entre la variable à expliquer et la variable explicative. La p-value correspond donc à la probabilité que le hasard ait produit les résultats observés. Plus la p-value est faible, moins l'hypothèse de l'absence de lien entre les deux variables est probable.

Des seuils de p-value sont généralement utilisés pour accepter ou réfuter une hypothèse : en médecine on considère une p-value lorsqu'elle est inférieure à 1 % (<0.01) ; ce seuil monte à 5 % en sciences sociales. La valeur p ne suffit en revanche pas à caractériser la relation entre les variables testées dans une régression : il faut interpréter le coefficient *Estimate*.

Estimate et l'Odds-Ratio

Le signe de la valeur indique si la variable explicative (V_{ex}) présentée varie dans le même sens que la variable à expliquer ($V_{àx}$) (signe positif) ou inversement (signe négatif). Cependant, ces coefficients sont rarement interprétés directement. C'est leur exponentielle qui est présentée, car elle correspond à une mesure statistique courante : **l'odds-ratio (OR)**. L'OR exprime le degré de dépendance entre nos deux variables (V_{ex} et $V_{àx}$).

Plusieurs cas de figure se présentent pour analyser un OR :

- $OR=1$: l'événement est relativement indépendant de la V_{ex} testée
- $OR>1$: l'événement est plus fréquent dans le groupe *qui présente la modalité de référence* que la modalité dont le résultat s'affiche
- $OR<1$: l'événement est plus fréquent dans le groupe *la modalité dont le résultat s'affiche* que celui qui présente la modalité de référence

Annexe 8. Aide à la lecture : l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

L'Analyse des Correspondances Multiples est une méthode sophistiquée qui permet de traiter des données multivariées, et qui fait émerger graphiquement des structures présentes dans un grand volume de données avec de nombreuses variables qualitatives. En sociologie, elle est utilisée pour objectiver des relations entre groupes d'individus (Duval 2013).

Il s'agit d'un type d'analyse que l'on peut classer dans les analyses géométriques des données multidimensionnelles (Le Roux 2014), comme l'Analyse en Composante Principale (ACP) qui exploite des variables quantitatives. On dit qu'il s'agit d'une analyse géométrique car c'est l'information géométrique (et non numérique) qui est interprétée. L'ACM permet de dresser une typologie des individus, c'est à dire voir si il existe des « groupes d'individus homogènes du point de vue de leurs ressemblances » ; mais elle permet également de dresser un bilan des liaisons entre variables (Husson et al. 2016). C'est un outil particulièrement adaptée à l'analyse de questionnaire, surtout lorsque le panel de répondants est conséquent.

L'ACM est une méthode développée par des mathématiciens, statisticiens et sociologues français dès les années 60 (par Benzécri), qui a connu un essor important dans les années 80 chez les sociologues (Lebaron, Le Roux 2015). Elle a notamment trouvé usage dans le travail de Pierre Bourdieu, un sociologue français qui a eu un intérêt constant pour la quantification dans son travail. **L'ACM est donc une approche développée et utilisée historiquement plutôt en France, qui a trouvé peu de reconnaissance internationale** (Lebaron, Le Roux 2015). Aucune étude sur le BIM n'a eu recours à l'ACM, malgré le nombre d'enquêtes par questionnaire réalisées sur l'adoption du BIM. Ceci est dû à l'uniformisation des méthodes de recherche et d'analyse statistique. Dans notre cas, l'ACM porte donc un fort potentiel.

L'ACM permet de produire principalement deux types représentation graphique : le nuage des individus et le nuage des modalités. Ces représentations sont issues du calcul de la distance entre des individus sur la base des modalités qu'ils ont choisies dans le questionnaire. L'ACM permet de comparer les individus modalité par modalité, mais tient compte également la rareté ou le caractère général de celle-ci (Husson et al. 2016) :

- deux individus qui ont pris les mêmes modalités ont une distance qui les sépare qui est nulle.
- deux individus qui ont beaucoup de modalités en commun seront proches
- deux individus ont en commun une modalité rare sont davantage rapprochés.

Le **nuage des individus** est une représentation en deux dimensions d'un nuage de points dans lequel chaque point représente un individu. Si des groupes de points proches les uns des autres apparaissent séparés d'autres groupes dans le nuage des individus, alors il existe des groupes d'individus aux caractéristiques communes et distinctes des autres groupes d'individus.

Le **nuage des modalités** permet de dresser un bilan des liaisons entre les variables. Toujours sur une représentation en deux dimensions, chaque modalité (représentée par un point) est positionnée au barycentre de tous les individus qui présentent cette modalité. La comparaison du positionnement (éloignement) entre les modalités des variables permet de dégager des tendances générales sur le comportement des variables les unes par rapport aux autres. En sociologie, ce nuage de modalités accompagné d'une analyse poussée est appelé « espace social », et permet de différencier les groupes d'individus les uns par rapport aux autres, par la position qu'ils occupent dans cet espace (Croizer 2002).

Annexe 9. Données : les pratiques BIM dans les agences

Tableau 40. Nombre de réponses pour chaque pratique numérique testée par étape du processus d'adoption (tableau ayant permis d'élaborer la *Figure 66*).

	0 : je ne sais pas de quoi il s'agit	1 : je sais que cela existe, sans plus	2 : nous y pensons	3 nous souhaitons le faire bientôt	(3) : c'est exclu	4a : nous essayons actuellement	4 b : certains collaborateurs le font	(4) : nous avons essayé mais cela n'a pas fonctionné	5 : nous le faisons tous à l'agence
P1	10	64	97	39	109	49	102	27	377
P2	25	136	140	66	126	62	108	22	182
P3	91	179	128	53	148	36	51	5	129
P4	46	188	148	86	117	71	92	4	89
P5	19	136	135	71	110	79	120	21	174
P6	19	148	155	89	114	72	116	19	122
P7	15	141	175	94	65	89	97	16	171
P8	33	204	164	93	159	54	62	19	56

Le tableau ci-dessus contient de nombreuses informations et est difficile à appréhender. Un nuancier a été utilisé pour visualiser les résultats du tableau (**Figure 140**) et ainsi les appréhender plus facilement.

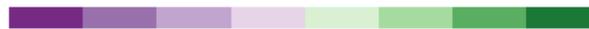


Figure 140. Nuancier utilisé pour transposer graphiquement le tableau de valeurs précédent il fonctionne du violet foncé (peu de réponses) au vert foncé (beaucoup de réponses)

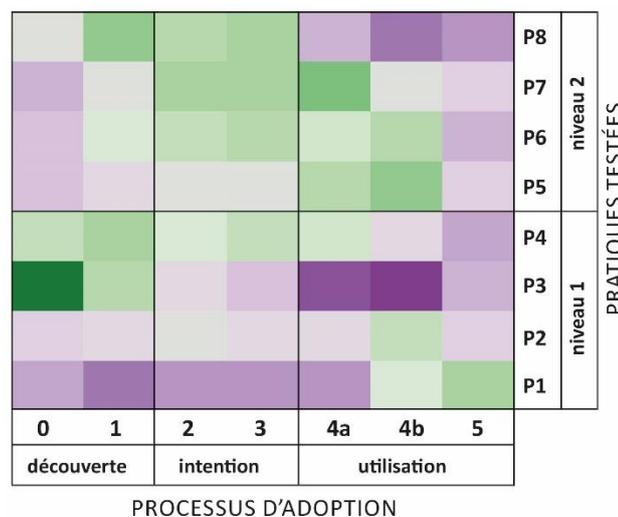


Figure 141. Version graphique du tableau précédent représentant le nombre de réponses pour chaque pratique numérique testée par étape du processus d'adoption

Note de lecture :

- Lorsque le graphique est **lu en lignes** (par pratiques), il permet de savoir à quelle phase d'adoption se trouve la majorité des agences par rapport à cette pratique. Il est possible de comparer les lignes entre elles, et d'identifier les tendances générales par niveau de maturité.
- **Lu en colonnes**, il permet d'identifier les pratiques qui sont inconnues, ou en cours d'implémentation.
- Pour faciliter l'interprétation, le tableau est divisé en deux zones de niveaux de maturité (1 et 2) et trois zones d'adoption (découverte - intention - utilisation)

Interprétation :

Beaucoup d'agences ont indiqué ne pas savoir (D) ce que signifie « utiliser un serveur de travail collaboratif interne » (P3). C'est peut-être dû à la forme de la question, dans le cas contraire cela signifie que très peu d'agences ont mis en place un partage de fichier interne, voire un serveur collaboratif type BIM cloud d'ArchiCAD ou Revit.

Une tendance se dégage sur les *pratiques caractéristiques du niveau 2* (P5-8). Un « creux » d'agences (cases vertes) est identifiable dans la zone d'utilisation au niveau de P5, et se propage de manière linéaire vers la zone de découverte de P8. **Cela indique que plus la pratique de niveau 2 est avancée, moins les agences sont avancées dans son adoption**, ce qui est un résultat attendu. On note que la zone d'intention pour le niveau 2 est presque intégralement verte : les répondants ont répondu majoritairement qu'ils souhaitent mettre en place des pratiques de niveau 2. Concernant les *pratiques caractéristiques du niveau 1* (P1-P4), elles semblent être adoptées de manière plus disparate au sein des agences. La zone d'utilisation des pratiques caractéristiques du niveau 1 est, dans l'ensemble, plus violette que celle du niveau 2 ; cela signifie que les agences ont indiqué plus fréquemment avoir mis en place des pratiques de niveau 2 que des pratiques de niveau 1. La zone d'intention du niveau 1 est également moins verte que celle du niveau 2 : les agences ont indiqué vouloir mettre en œuvre des pratiques de niveau 1 plus fréquemment que des pratiques caractéristiques du niveau 2. La zone de découverte du niveau 1 comptabilise de plus nombreuses réponses que celle du niveau 2, mais présente des résultats ici également plus disparates : les agences sont moins au fait des pratiques BIM niveau 1 que niveau 2. En revanche, lorsqu'on regarde la n°5 (« tout le monde a cette pratique à l'agence »), les pratiques caractéristiques du niveau 1 comptabilisent largement plus de réponses que celles du niveau 2.

Annexe 10. Méthode de calcul du niveau de maturité

Conditions rédigées en R²³⁵.

```
maturite<-NULL
for (i in 1:nrow(Pratiques.rep)) {
  for (I in 1:10) {assign(paste(« P »,I, sep=" »), Pratiques.rep[i,I]) #Pour chaque Ligne (répondant),
    créer Les variables de P1 à P10, qui correspond au code de La pratique testée.

### NIVEAU 1
  if (rep$Q23.SQ007[i]=="Oui"|rep$Q23.SQ003[i]=="Oui"|rep$Q23.SQ004[i]=="Oui ») {
    logiciel.BIM<-TRUE} else logiciel.BIM <- FALSE
    #test si à L'agence on utilise ArchiCAD (SQ007), Revit (3) ou ALLplan(4)

  if(P1==100){EST1<-NA} #SI NON REPONDU pour La pratique 1 (P1)
  else if (P1==5 & logiciel.BIM==TRUE) {EST1<-TRUE} else EST1<-FALSE

  if(P1==100){IMP1<-NA} #SI NON REPONDU
  else if (P1==4) {IMP1<-TRUE} else IMP1<-FALSE #SI P1 est à létape d'implém.

  if(chg.out==100 & P1==100){DEC1<-NA} #SI NON REPONDU
  else if (chg.out==2 | chg.out==3) {DEC1<-TRUE} else DEC1<-FALSE

  if (P1==1) {ECH1<-TRUE} else ECH1<-FALSE
  if (P1==2) {NON1<-TRUE} else NON1<-FALSE
  if(P1==100){ #SI NON REPONDU
    ECH<-NA
    NON1<-TRUE}

### NIVEAU 1.5
  if((P2==100&P3==100&P4==100)|is.na(EST1)){EST1.5<-NA} #SI NON REPONDU
  else if ((P2==5|P3==5|P4==5)&EST1==TRUE) {EST1.5 <- TRUE} else EST1.5 <- FALSE
  if((P2==100&P3==100&P4==100)|is.na(EST1)){EST1.5<-NA} #SI NON REPONDU
  else if (P2==1|P3==1|P4==1) {ECH1.5<-TRUE} else ECH1.5<-FALSE

### NIVEAU 2
  if((P5==100|(P6==100&P7==100))|is.na(EST1)){EST1.5<-NA} #SI NR
  else if (P5==5&(P6==5|P7==5)&EST1==TRUE){EST2<-TRUE} else EST2<-FALSE

  if((P5==100|(P6==100&P7==100))|is.na(EST1)) {IMP2<-NA} #SI NR
  else if (P5==4&(P6==4|P7==4)&EST1==TRUE) {IMP2<-TRUE} else IMP2<-FALSE

  if ((P5==2|P5==3)&(P6==2|P6==3|P7==2|P7==3)) {DEC2<-TRUE} else DEC2<-FALSE
  if (P5==1&(P6==1|P7==1)) {ECH2<-TRUE} else ECH2<-FALSE
  if (P5==2&(P6==2|P7==2)) {NON2<-TRUE} else NON2<-FALSE
  if (P5==100|P6==100|P7==100) { #SI NR
    DEC2<-NA
    ECH2<-NA
    NON2<-NA }

### NIVEAU 2.5
  if (P8==100|is.na(EST2)) {EST2.5<-NA} #SI NR
  else if (P8==5&EST2==TRUE){EST2.5<-TRUE} else EST2.5<-FALSE

### NIVEAU 0
  if(is.na(EST1)|is.na(EST2)) {EST0<-NA}
  else if (EST1==FALSE& EST2==FALSE) {EST0<-TRUE}
  else EST0<-FALSE

  agence <- c(EST0,logiciel.BIM,EST1,IMP1,DEC1,ECH1,NON1,EST1.5,ECH1.5,EST2,IMP2,DEC2,ECH2,NON2,EST2.5)
maturite <- rbind(maturite, agence)
}
```

²³⁵ Aide à la lecture : en langage R, la condition « OU » se note « | » et « ET » se note « & ». NB : pour retrouver les questions testées, le code « Q23.SQ004 » correspond par exemple à la sous question 4 (ou modalité de réponse 4) (SQ004) de la question (Q23).

Annexe 11. Tableaux de valeurs : les caractéristiques des agences d'architecture

Tableau 41. Position du répondant dans l'entreprise

	<i>stagiaire</i>	<i>dessinateur</i>	<i>collaborateur</i>	<i>chef de projet</i>	<i>associé</i>	<i>dirigeant</i>	<i>indépendant</i>
nb. réponses	6.0	16.0	70.0	124.0	156.0	349	317.0
pourcentages *	0.7	1.8	7.8	13.9	17.4	39	35.5

* Pourcentage sur total de réponses au questionnaire, plusieurs réponses possibles

Tableau 42. Régions d'origine des agences ayant répondu

	<i>Auvergne-Rhône-Alpes</i>	<i>Bourgogne-Franche-Comté</i>	<i>Bretagne</i>	<i>Centre-Val de Loire</i>	<i>DOM-TOM</i>	<i>Grand Est</i>	<i>Hauts-de-France</i>	<i>Île-de-France</i>	<i>Normandie</i>	<i>Nouvelle-Aquitaine</i>	<i>Occitanie</i>	<i>Pays de la Loire</i>	<i>Provence-Alpes-Côte d'Azur</i>	<i>BE (Belgique)</i>	<i>CA (Canada)</i>	<i>LU (Luxembourg)</i>	<i>NR (Non répondu)</i>	<i>total</i>
nb réponses	115	23	46	16	24	89	36	203	41	80	78	56	76	1	2	3	5	894
%	12.9	2.6	5.1	1.8	2.7	10	4	22.7	4.6	8.9	8.7	6.3	8.5	0.1	0.2	0.3	0.6	100

Tableau 43. Nombre de personnes travaillant dans l'entreprise

	<i>Indépendant seul</i>	<i>de 1 à 5</i>	<i>de 6 à 10</i>	<i>de 11 à 20</i>	<i>de 21 à 50</i>	<i>+ de 50</i>	<i>NR</i>	<i>total</i>
nb réponses	261.0	363.0	120.0	82.0	33.0	33.0	2.0	894
%	29.2	40.6	13.4	9.2	3.7	3.7	0.2	100

Données complémentaires sur les caractéristiques des répondants :

Tableau 44. Fréquence de type de marchés réalisés par les agences

	<i>Privés</i>	<i>Publics</i>
rarement/jamais	29	236
occasionnellement	113	228
régulièrement	736	399

Tableau 45. Type de projet réalisé

	<i>Amén. int.</i>	<i>mais. indiv.</i>	<i>lgts coll.</i>	<i>Indus&stock</i>	<i>bur&co mm</i>	<i>amen. urb.</i>
rarement/jamais	217	186	216	313	109	519
occasionnellement	335	314	267	322	424	212
régulièrement	258	333	359	158	317	61

Tableau 46. Taille des projets réalisés

	< 200 m ²	200-1 000 m ²	1 001-5 000 m ²	5 001-10 000 m ²	> 10 000 m ²	proj. urb.
rarement/jamais	159	67	222	430	557	534
occasionnellement	232	376	276	207	110	144
régulièrement	425	394	301	117	53	47

331 indépendants n'ont pas eu accès aux questions concernant les pratiques collaboratives. Seules 563 personnes ont donc eu accès à ces questions

Tableau 47. Mode de division des tâches à l'agence

	par projet	par tâche	Autre	Non répondu	total
nb réponses	288.0	172.0	32.0	71.0	563.0
%	51.2	30.6	5.7	12.6	100.1

Tableau 48. Type de hiérarchie présente dans l'entreprise

	Horizontalité	hiér. peu visible	hiér. forte, div. resp.	hiér. forte, faible auton.	Autre	Non répondu	total
nb réponses	126.0	242	137.0	38.0	8.0	12.0	563.0
%	22.4	43	24.3	6.7	1.4	2.1	99.9

Tableau 49. expérience moyenne du dirigeant

	< 5	de 5 à 10	de 11 à 20	de 21 à 30	+ de 30
nb. réponses	14.0	58.0	168.0	158.0	135
Pourcentage*	2.5	10.3	29.8	28.1	24

* Pourcentage calculé sur répondants ayant eu accès à la question, plusieurs réponses possibles

Tableau 50. Expérience moyenne des employés

	< 5	de 5 à 10	de 11 à 20	de 21 à 30	+ de 30
nb. réponses	249.0	306.0	262.0	93.0	45
pourcentage	44.2	54.4	46.5	16.5	8

0 non réponses parmi ceux qui ont eu accès à la question (les non indépendants)

Tableau 51. Turnover déclaré dans les agences

	N/A	Non	Oui	total
Nb. réponses	47.0	347.0	169	563.0
%	8.3	61.6	30	100

Tableau 52. Travaillez - vous régulièrement avec des BET extérieurs ?

	N/A	Non	Oui	total
nb réponses	19.0	73.0	802.0	894
%	2.1	8.2	89.7	100

Tableau 53. Travaillez-vous régulièrement avec les mêmes BET ?

	<i>N/A</i>	<i>Non</i>	<i>Oui</i>	<i>total</i>
nb réponses	38.0	140.0	716.0	894.0
%	4.3	15.7	80.1	100.1

Tableau 54. Avez-vous contenu avec certains BET d'un processus de travail et d'échanges de fichiers commun ?

	<i>N/A</i>	<i>Non</i>	<i>Oui</i>	<i>total</i>
nb réponses	53.0	484.0	357.0	894.0
%	5.9	54.1	39.9	100

Tableau 55. Position du dirigeant par rapport à l'intégration de nouvelles technologies au sein de l'entreprise

	<i>Défavorable</i>	<i>Indifférent</i>	<i>Favorable</i>	<i>Très favorable</i>	<i>NR</i>	<i>total</i>
nb réponses	9.0	42.0	171.0	335.0	6.0	563.0
%	1.6	7.5	30.4	59.5	1.1	100.1

* seules les répondants ayant indiqué ne pas être indépendant ont eu accès à cette question

Tableau 56. Attitude des collaborateurs par rapport aux nouvelles technologies, en particulier le BIM

	<i>réticents</i>	<i>en retrait</i>	<i>intéressés</i>	<i>proactifs</i>	<i>Autre</i>
nb. réponses	46.0	173.0	303.0	166.0	26.0
pourcentage	8.2	30.7	53.8	29.5	4.6

* Pourcentage calculé sur répondants ayant eu accès à la question, Attention : plusieurs réponses possibles

Tableau 57. Logiciels utilisés dans les agences

	<i>AutoCAD</i>	<i>SketchUp</i>	<i>ArchiCAD</i>	<i>Revit</i>	<i>Allplan</i>	<i>Vectorworks</i>	<i>Dynamo</i>	<i>Rhinoceros</i>	<i>Grasshopper</i>	<i>Autre</i>
nb. réponses	430	417	304	238	47	73	31	62	24	104
pourcentage	48.1	46.6	34	26.6	5.3	8.2	3.5	6.9	2.7	11.6

* Pourcentage sur total de réponses au questionnaire, plusieurs réponses possibles

Tableau 58. Raison de la multiplication des outils

	<i>préférences</i>	<i>projets</i>	<i>XP</i>	<i>XP_fin</i>	<i>XP_début</i>	<i>XP_échet</i>	<i>Autre</i>
Nb. réponses	129	116	44	112	44	21	22
Pourcentage	44.0	39.5	15.0	38.2	15.0	7.1	7.5

« 293 agences sont concernées par la pluralité d'outils similaires », Pourcentages calculés sur ces 293 agences.

préférences : Les outils numériques utilisés sont sélectionnés en fonction des préférences et compétences de chacun ; **projets** : Les projets sont très différents et nécessitent l'utilisation d'outils numériques différents ; **XP** : Nous expérimentons différents outils numériques en phase conceptions ; **XP_fin** : Nous sommes en période de transition et travaillons pour l'instant sur plusieurs outils mais souhaitons généraliser l'utilisation de l'un de ces outils ; **XP_début** : Nous réalisons actuellement une expérimentation et l'utilisation d'un outil BIM est pour l'instant très minoritaire ; **XP_échet** : Nous avons essayé d'intégrer un « outil BIM », mais sommes revenus à nos précédentes pratiques ; **Autre** : Autre

Tableau 59. Utilisation de versions différentes pour un même logiciel

	<i>NR</i>	<i>Ne sait pas</i>	<i>non</i>	<i>oui+pb</i>	<i>oui-pb</i>	<i>total</i>
nb réponses	47	11	540	104	192	894
%	5.3	1.2	60.4	11.6	21.5	100

NR : Non répondu ; **Oui+pb** : « Oui, et cela entraîne des problèmes à l'agence ». **Oui-pb** : « Oui, mais cela n'est pas problématique ».

Tableau 60. Niveaux de maturité des agences

	<i>Niv.0</i>	<i>Niv.1</i>	<i>Niv.2</i>	<i>Inconnu</i>	<i>total</i>
nb réponses	513	258	104	19	894
%	57.4	28.9	11.6	2.1	100

Annexe 12. Facteurs d'adoption pour le domaine « contexte interne » étudiés dans l'enquête

Tableau 61. Mise en relation des facteurs évoqués dans le questionnaire avec les questions et noms de variables utilisés (contexte interne)

<i>Catégorie</i>	<i>Facteur</i>	<i>Question associé</i>	<i>Description</i>	<i>Nom de variable</i>	
Culture	efficacité	Q15c	mise en place de processus d'échanges avec BET	process.ech.BET	
		Q55	différentes versions du même logiciel	dif.ver	
	Innovation	Q52	date nouvelles pratiques numériques		
		Q18	dirig.favorable	dirig.favorable	
	Projets	Q21*4SQ	Personnels.favorables	person.favo.inno	
		Q10*6SQ	type de projet	proj.type	
		Q11*6SQ	superficie des projets	proj.sup	
		Q09	type de maîtrise d'ouvrage (public/privé)	proj.mou	
	Stratégie	Q06	Région de localisation de l'agence	region	
		Q07	Année de création de l'agence	anc.ag	
Q08		Nombre de personnes travaillant dans l'agence	nb.pers		
Interactions	Distribution du pouvoir	Q20	Turnover	turnover	
		Q13	Nombre de niveaux hiérarchiques dans l'agence		
	Collaboration	Q14	Type de hiérarchie dans l'agence	typ.hier	
		Q28b[SQ013].	Impact du fonctionnement hiérarchique sur l'implém.		
	Partenaires	Q28b[SQ014].	Impact des pratiques logicielles et collaboratives sur l'implém		
		Q12	Travail occasionnel en équipe à l'agence	trav.equip	
		Q12b	Type de division de tâches	trav.div	
	Systèmes	Processus			
		Matériel	Q22*4SQ	Qualité du matériel informatique	qual.matInfo
	Individuals	Logiciel	Q23*9SQ	Logiciel utilisé à l'agence	
Top management		Q16*5SQ	Expérience (années) du dirigeant	XP.dir	
		Q17	Le dirigeant utilise les outils de production de l'agence	dir.ut.outils	
employés		Q04*5SQ	Position du répondant dans l'entreprise	posit.repondant	
		Q19	Expérience(années) des employés	XP.emp ET prof.emp.varie	
	Q05	Ancienneté dans l'entreprise	anc.emp		

Annexe 13. Tableaux de variables et questions associées pour la partie 7.5

Tableau 62. Facteurs de décision testés (voir partie 7.5.1, p. 238)

<i>Domaine</i>	<i>Catégorie</i>	<i>Facteur</i>	<i>Question associé</i>	<i>Description</i>	<i>Nom de variable</i>
INO	Perception	Utilité	Q25[SQ008][2].	C'est utile pour notre pratique	Usefulness.POS.DEC
			Q26[SQ008][1].	Le BIM n'est pas pertinent pour notre pratique	Usefulness.NEG.DEC
		Facilité d'utilisation	Q25[SQ007][1].	C'est facile à utiliser	EaseOfUse.POS.DEC
			Q26[SQ007][1].	C'est compliqué à utiliser	EaseOfUse.NEG.DEC
		Avantage relatif	Q25[SQ006][1].	[Intégrer le BIM nous donne un avantage concurrentiel	RelAdvant.POS.DEC
			Q26[SQ006][1].	Le BIM nous désavantagerait par rapport à d'autres agences	RelAdvant.NEG.DEC
		Compatibilité	Q25[SQ005][1].	[Le BIM est compatible avec notre pratique et vision du métier	Compatibility.POS.DEC
			Q26[SQ005][1].	Le BIM est incompatible avec notre vision du métier	Compatibility.NEG.DEC
	Propriétés intrinsèques	Observabilité	Q25[SQ004][1].	La notion de « BIM » est claire pour nous	Observability.POS.DEC
			Q26[SQ004][1].	[La notion de BIM est floue	Observability.NEG.DEC
		Disponibilité	Q25[SQ003][1].	Nous savons où trouver des formations et où se procurer les outils BIM	Availability.POS.DEC
			Q26[SQ003][1].	Difficile de trouver des informations ou de se procurer les outils BIM	Availability.NEG.DEC
		Aspects économiques	Q25[SQ002][1].	Le BIM offre des possibilités économiques intéressantes	EconomicalAspc.POS.DEC
			Q26[SQ002][1].	Les outils et la formation sont trop coûteux	EconomicalAspc.NEG.DEC
		Aspects techniques	Q25[SQ001][1].	Les pratiques BIM rendent performants	TechnicalAspc.POS.DEC
Q26[SQ001][1].			Il existe de nombreux problèmes techniques	TechnicalAspc.NEG.DEC	
EXT	Contexte directif	Isomorphisme coercitif	Q25[SQ010][1].	Nos partenaires sont de plus en plus demandeurs	Coercive.POS.DEC
			Q26[SQ009][1].	Les partenaires ne demandent pas	Coercive.NEG.DEC
		Pressions normatives	Q25[SQ009][1].	Nous avons besoin de normaliser nos processus de travail pour être efficaces	Normative.POS.DEC
			Q26[SQ010][1].	Le BIM réduit la liberté de conception	Normative.NEG.DEC
Contexte analysé	Processus mimétiques	Q25[SQ011][1].	De nombreux confrères s'y sont mis	Mimetic.POS.DEC	
		Q26[SQ011][1].	Travailler en BIM serait mal perçu	Mimetic.NEG.DEC	

Tableau 63. Questions relatives à l'implémentation dans le questionnaire et noms de variables associés

<i>Question</i>	<i>Description</i>	<i>variable</i>
Q27	Stratégies d'évitement	strat.evite
Q29	Type d'événement qui a déclenché la transition	declench
Q32	Stratégies mises en œuvre pour intégrer de nouvelles pratiques BIM à l'agence	implementation.moe
S38	Type de formation : objet de la formation	typ.formation
Q34	temps consacré à la formation	formation.tps
Q35	Nombre de formations	formation.nat
Q36	Répartition de ces formations	formation.rep
Q37	Application	formation.app
Q43	personne responsable transition : temps consacré	tps.responsTRAN
Q40	modalités de communication	communication
Q44	Critères selection projet pilote	criteres.projpil
Q46	senti.demuni	senti.demuni
Q45	Les changements à l'agence ont été source de tensions ou fortes résistances en interne	resistance
Q45	résistance - pplus de granularité	resistance.nb
Q48	satisfaits des chgmts à l'agence ?	satisfaction

Tableau 64. Liste des facteurs d'implémentation testés dans l'enquête

<i>Domaine de facteur testé</i>	<i>Question</i>	<i>Description</i>	<i>Variable</i>
INO	Q28.SQ001.	possibilités techniques des outils numériques	TechnicalAspc.IMP
	Q28.SQ002.	aspect économique (retour sur	EconomicalAspc.IMP
	Q28.SQ003.	disponibilité de formation et accès à la technologie	Availability.IMP
	Q28.SQ004.	compatibilité du BIM avec nos pratiques	Compatibility.IMP
	Q28.SQ005.	avantage/désavantage concurrentiel apporté par le passage au BIM	RelAdvant.IMP
	Q28.SQ006.	complexité d'utilisation des outils et méthodes	EaseOfUse.IMP
	Q28.SQ007.	perception de l'utilité/inutilité des changements réalisés	Usefulness.IMP
EXT	Q28.SQ008.	uniformisation des pratiques logicielles et collaboratives à l'agence (mise en place de ressources communes, de fichier type, etc.)	Normative.IMP
	Q28.SQ009.	comparaison avec d'autres agences	Mimetic.IMP
CHG	Q28.SQ010.	perception de la complexité du changement	CHGComplexity.IMP
	Q28.SQ011.	culture de l'agence (identité, vision stratégique)	Culture.IMP
INT	Q28.SQ011.	partenaires avec lesquels nous travaillons	Partners.IMP
	Q28.SQ012.	fonctionnement hiérarchique de l'agence	Hierarchy.IMP
	Q28.SQ013.	pratiques logicielles et collaboratives de l'agence	Systems.IMP
	Q28.SQ014.	communication (ouverture/opacité) sur le changement dans l'agence	Communication.IMP
	Q28.SQ018.	organisation et déroulement de la transition (peu organisée/bien planifiée)	Management.IMP
	Q28.SQ016.	contenu et déroulement des formations	Formation.IMP
	Q28.SQ021.	planning de changement à l'agence (durée de la phase de changement)	Rythm.IMP
	Q28.SQ017.	attitude et investissement des personnes chargées de l'intégration du BIM à l'agence	ChgAgent.IMP
	Q28.SQ019.	caractéristiques du premier projet sur lequel nous avons travaillé	PilotProject.IMP
	Q28.SQ020.	réaction des personnes travaillant à l'agence	Attitude.IMP

Annexe 14. Résultats de la régression

Contexte interne

Liste des variables et modalités de référence

Les trois variables en rouge sont celles qui ont servi successivement de variable à expliquer. Les autres variables sont les variables explicatives

Liste de variables 1. Pour la régression niveau de maturité/contexte interne

```
## « data.frame » : 894 obs. of 31 variables :
## $ NIVO      : 2 levels "1","0" #La première modalité est la modalité de référence utilisée pour la régression
## $ NIV1      : 2 levels "1","0"
## $ NIV2      : 2 levels "1","0"
## $ dif.ver   : 2 levels "1","0" (il existe différentes versions du même logiciel)
## $ process.ech.BET : 2 levels "1","0" (l'agence a formalisé les échanges avec les BET)
## $ dirig.favorable : 3 levels "0","1","2" (le dirigeant est favorable aux nouvelles technologies)
## $ emp.fav.numeric : 4 levels "0","1","2","inconnu" (les employés sont favorables aux nouvelles technologies/au BIM)
## $ Ptyp.amen.int : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des aménagements intérieurs)
## $ Ptyp.mais.indiv : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des maisons individuelles)
## $ Ptyp.log.col : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des logements collectifs)
## $ Ptyp.ind.stock : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des locaux de stockage)
## $ Ptyp.but.com : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des locaux à but commercial)
## $ Ptyp.amen.urb : 3 levels « Non », "Oui", "inconnu » (l'agence réalise des projets urbains)
## $ Psiz      : 5 levels "PlutotPetit",... (Superficie moyenne des projets réalisés par l'agence)
## $ proj.mou  : 4 levels « priv », "priETpub »,... (type de maîtrise d'ouvrage public/privée avec laquelle travaille l'agence)
## $ anc.ag    : 6 levels "A.inf5", "B.ent5et10",... (ancienneté de l'agence)
## $ nb.pers   : 5 levels "B.de1a5", "A.indep",... (taille de l'agence en nombre de personnes)
## $ turnover : 3 levels "0","1","inconnu" (renouvellement de personnel régulier)
## $ BET.mm    : 3 levels « Oui », "Non », "inconnu » (l'agence travaille avec des BET)
## $ BET.mm.svt : 3 levels « Oui », "Non », "inconnu » (l'agence travaille souvent avec les mêmes BET)
## $ typ.hier  : 5 levels "B_hier.leger",... (type de hiérarchie en interne)
## $ trav.equip : 3 levels « Oui », "Non », "inconnu » (les projets sont issus d'un travail en équipe)
## $ trav.div  : 3 levels « divPpersonne »,... (mode de division du travail à l'agence)
## $ qual.matInfo.bon : 2 levels "0","1" (qualité du matériel informatique à l'agence)
## $ XP.dir.unique : 6 levels "D11a20", "D21a30",... (expérience du dirigeant)
## $ Einf5     : 3 levels « Non », "Oui », "inconnu » (expérience moyenne des employés)
## $ E5a10     : 3 levels « Non », "Oui », "inconnu »
## $ E11a20    : 3 levels « Non », "Oui », "inconnu »
## $ E21a30    : 3 levels « Non », "Oui », "inconnu »
## $ E5up30    : 3 levels « Non », "Oui », "inconnu »
## $ dir.ut.outils : 5 levels « participe », "modifs.legeres »,... (niveau d'utilisation des outils numériques par le dirigeant)
```

Tableau 65. Résultats complets des régressions pour le contexte interne

INT	NIVEAU 2		NIVEAU 1		NIVEAU 0	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
(Intercept)	3.07	0.003	1.69	0.003	-1.09	0.054
dif.ver0	0.32	0.336	-0.11	0.572	0.02	0.906
process.ech.BETO	1.56	0.000	-0.27	0.172	-0.31	0.107
dirig.favorable1	16.90	0.987	1.80	0.000	-2.16	0.000
dirig.favorable2	1.04	0.022	1.10	0.000	-1.21	0.000

emp.fav.numeric1	-1.07	0.022	-0.90	0.001	1.14	0.000
emp.fav.numeric2	-2.20	0.000	-0.52	0.139	1.77	0.000
emp.fav.numericinconnu	-0.29	0.802	0.23	0.693	-0.21	0.716
Ptyp_amen.intOui	0.63	0.116	0.54	0.010	-0.72	0.001
Ptyp_amen.intinconnu	-0.40	0.517	0.13	0.760	0.03	0.950
Ptyp_mais.indivOui	0.07	0.846	-0.23	0.277	0.19	0.381
Ptyp_mais.indivinconnu	0.11	0.877	1.03	0.058	-0.84	0.086
Ptyp_log.colOui	0.35	0.289	-0.10	0.632	-0.04	0.825
Ptyp_log.colinconnu	0.25	0.783	0.78	0.161	-0.72	0.176
Ptyp_ind.stockOui	0.20	0.604	0.09	0.734	-0.16	0.528
Ptyp_ind.stockinconnu	-0.10	0.881	-0.41	0.371	0.35	0.432
Ptyp_but.comOui	-0.50	0.158	-0.24	0.276	0.32	0.138
Ptyp_but.cominconnu	0.45	0.660	0.95	0.123	-0.97	0.086
Ptyp_amen.urbOui	-1.01	0.041	-0.23	0.524	0.71	0.043
Ptyp_amen.urbinconnu	0.11	0.855	-0.09	0.825	-0.07	0.865
PsizIndéfini	-0.54	0.389	0.09	0.820	0.12	0.735
PsizMoyen	-0.37	0.452	0.05	0.876	0.13	0.677
PsizPlutotGrand	-1.52	0.006	0.81	0.040	0.13	0.733
PsizVarie	-0.62	0.305	0.50	0.240	0.02	0.968
proj.moupriETpub	-0.25	0.494	0.20	0.351	-0.11	0.609
proj.moupubl	-0.23	0.647	0.41	0.202	-0.29	0.337
proj.mouinconnu	-0.04	0.952	0.40	0.340	-0.40	0.308
anc.agB.ent5et10	0.14	0.806	0.26	0.357	-0.41	0.152
anc.agC.ent11et20	-0.38	0.456	0.41	0.148	-0.32	0.253
anc.agD.ent21et30	-0.40	0.472	0.25	0.434	-0.20	0.515
anc.agE.ent31et40	-0.01	0.991	0.55	0.113	-0.57	0.091
anc.agF.sup40	0.09	0.907	-0.02	0.970	-0.04	0.925
nb.persA.indep	-0.38	0.772	0.37	0.627	-0.22	0.788
nb.persC.de6a10	-0.11	0.805	0.19	0.558	0.04	0.892
nb.persD.de11a20	0.29	0.637	-0.55	0.143	0.64	0.092
nb.persE.+de20	0.39	0.587	0.01	0.983	-0.24	0.614
turnover1	1.43	0.003	-0.44	0.113	-0.07	0.792
turnoverinconnu	-0.74	0.147	0.71	0.061	-0.24	0.484
BET.mmNon	1.02	0.368	0.10	0.786	-0.22	0.535
BET.mminconnu	-0.77	0.483	0.29	0.725	0.15	0.832
BET.mm.svtNon	-0.23	0.657	-0.10	0.701	0.15	0.570
BET.mm.svtinconnu	-0.39	0.656	0.86	0.148	-0.55	0.288
typ.hierA_hier.horiz	-0.92	0.038	-0.17	0.587	0.61	0.057
typ.hierC_hier.moy	-0.34	0.431	0.02	0.952	0.15	0.592
typ.hierD_hier.fort	16.67	0.991	-0.46	0.348	0.26	0.601
typ.hierE_autreEtNA	-0.14	0.887	-1.68	0.001	1.76	0.000
trav.equipNon	0.55	0.510	0.16	0.733	-0.17	0.718
trav.equipinconnu	-0.21	0.840	-0.08	0.895	0.23	0.723
trav.divAutreEtInconnu	0.16	0.779	-0.66	0.078	0.47	0.223
trav.divdivPphase	0.50	0.198	0.00	0.999	-0.21	0.390
qual.matInfo.bon1	-0.91	0.060	-0.34	0.131	0.54	0.016
XP.dir.uniqueD21a30	-0.85	0.096	-0.01	0.978	0.48	0.146
XP.dir.uniqueDinf10	-0.16	0.822	-0.23	0.580	0.23	0.590
XP.dir.uniqueDsup30	0.06	0.921	-0.33	0.378	0.46	0.223

XP.dir.uniqueinconnu	-2.01	0.286	-0.60	0.605	1.74	0.241
XP.dir.uniqueVarie	-0.64	0.281	-0.06	0.885	0.43	0.266
Einf5Oui	0.26	0.444	0.01	0.954	-0.17	0.459
Einf5inconnu	0.73	0.645	0.02	0.983	-0.36	0.680
E5a10Oui	0.11	0.759	-0.14	0.551	0.06	0.784
E5a10inconnu	NA	0.454	NA	0.322	NA	0.444
E11a20Oui	0.27	0.717	-0.23	0.316	0.17	0.210
E11a20inconnu	NA	0.860	NA	0.531	NA	0.674
E21a30Oui	-0.17	0.447	-0.29	0.656	0.37	0.611
E21a30inconnu	NA	0.185	NA	0.730	NA	0.219
Esup30Oui	-0.11	0.083	0.25	0.313	-0.16	0.460
Esup30inconnu	NA	0.703	NA	0.562	NA	0.336
dir.ut.outilsmodifs.legeres	-0.35	0.003	-0.15	0.003	0.17	0.054
dir.ut.outilsinconnu	2.44	0.336	0.39	0.572	-1.79	0.906
dir.ut.outilspas.du.tt	1.57	0.000	-0.39	0.172	-0.29	0.107
dir.ut.outilsvisu.uniqmt	0.18	0.987	0.21	0.000	-0.34	0.000

Contexte externe

Liste des variables et modalités de référence

Les trois variables en rouge sont celles qui ont servi successivement de variable à expliquer. Les autres variables sont les variables explicatives

Liste de variables 2. Régression niveau de maturité/contexte externe

```
## « data.frame » : 894 obs. of 9 variables :
## $ NIVO      : 2 levels "1","0" #La première modalité est la modalité de référence utilisée pour la régression
## $ NIV1      : 2 levels "1","0"
## $ NIV2      : 2 levels "1","0"
## $ Coercive.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]" »
## $ Coercive.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Normative.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Normative.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]" »
## $ Mimetic.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]" »
## $ Mimetic.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]" »
```

Tableau 66. Résultats complets des régressions pour le contexte externe

	NIVEAU 2		NIVEAU 1		NIVEAU 0	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
(Intercept)	4.11	0.000	1.26	0.000	-0.79	0.023
Coercive.POS1	-0.66	0.074	-0.08	0.716	0.33	0.136
Coercive.POS2	-0.95	0.014	-0.01	0.984	0.45	0.069
Coercive.POS[Ø]	-1.21	0.079	0.44	0.369	0.04	0.937
Coercive.NEG1	0.05	0.852	-0.20	0.351	0.16	0.453
Coercive.NEG2	1.31	0.003	-0.24	0.338	-0.19	0.422
Coercive.NEG[Ø]	1.18	0.166	-0.34	0.429	-0.17	0.685
Normative.POS1	-2.58	0.014	-0.79	0.007	1.19	0.000
Normative.POS2	-2.50	0.016	-1.04	0.000	1.42	0.000
Normative.POS[Ø]	-1.60	0.215	-0.45	0.344	0.55	0.235

Normative.NEG1	1.01	0.001	0.60	0.002	-1.05	0.000
Normative.NEG2	2.00	0.000	1.15	0.000	-1.74	0.000
Normative.NEG[∅]	1.33	0.119	1.50	0.000	-1.88	0.000
Mimetic.POS1	-0.03	0.942	0.07	0.738	-0.09	0.687
Mimetic.POS2	0.49	0.278	0.30	0.334	-0.61	0.049
Mimetic.POS[∅]	0.14	0.767	0.15	0.601	-0.22	0.439
Mimetic.NEG1	-0.71	0.075	0.18	0.534	0.11	0.709
Mimetic.NEG2	-1.19	0.029	0.24	0.585	0.35	0.396
Mimetic.NEG[∅]	-0.15	0.765	-0.29	0.285	0.46	0.095

Normative.POS : Nous devons normaliser nos processus de travail pour être plus efficaces
(0 = pas du tout, 1 = un peu, 2 = beaucoup)

	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>[∅]</i>	<i>Total</i>
nb. réponses	157	248	431	58	894
pourcentage	17,6	27,7	48,2	6,5	100

Normative.NEG : L'architecte doit garder une grande liberté de conception et le BIM ne le permet pas
(0 = pas du tout, 1 = un peu, 2 = beaucoup)

	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>[∅]</i>	<i>Total</i>
nb. réponses	347	219	242	86	894
pourcentage	38,8	24,5	27,1	9,6	100

Caractéristiques du BIM

Liste des variables et modalités de référence

Les trois variables en rouge sont celles qui ont servi successivement de variable à expliquer. Les autres variables sont les variables explicatives.

Liste de variables 3. Régression niveau de maturité/perception de l'innovation

```
## « data.frame »: 894 obs. of 19 variables :
## $ NIVO : 2 levels "1","0"
## $ NIV1 : 2 levels "1","0"
## $ NIV2 : 2 levels "1","0"
## $ Usefulness.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Usefulness.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ EaseOfUse.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ EaseOfUse.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ RelAdvant.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ RelAdvant.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Compatibility.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Compatibility.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Observability.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Observability.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Availability.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ Availability.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ EconomicalAspc.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ EconomicalAspc.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ TechnicalAspc.POS : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
## $ TechnicalAspc.NEG : 4 levels "0","1","2","[Ø]"
```

Tableau 67. Résultats complets des régressions pour la perception du BIM

INO	NIVEAU 2		NIVEAU 1		NIVEAU 0	
	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
(Intercept)	5.70	0.002	0.87	0.146	-0.64	0.286
Usefulness.POS1	-2.24	0.083	-0.07	0.850	0.26	0.475
Usefulness.POS2	-2.41	0.077	-0.24	0.576	0.52	0.225
Usefulness.POS[Ø]	-4.05	0.042	0.68	0.417	-0.05	0.947
Usefulness.NEG1	0.11	0.835	0.35	0.196	-0.34	0.187
Usefulness.NEG2	2.56	0.005	0.23	0.481	-0.67	0.035
Usefulness.NEG[Ø]	-0.07	0.947	0.49	0.406	-0.69	0.227
EaseOfUse.POS1	-0.54	0.226	-0.50	0.029	0.61	0.006
EaseOfUse.POS2	-1.58	0.004	0.05	0.885	0.90	0.013
EaseOfUse.POS[Ø]	0.53	0.746	1.04	0.065	-0.96	0.085
EaseOfUse.NEG1	-0.10	0.782	0.30	0.235	-0.39	0.149
EaseOfUse.NEG2	1.07	0.097	0.74	0.025	-1.04	0.002
EaseOfUse.NEG[Ø]	0.69	0.626	0.41	0.441	-0.77	0.153
RelAdvant.POS1	-0.27	0.680	0.19	0.530	-0.10	0.721
RelAdvant.POS2	-0.24	0.718	0.20	0.511	-0.16	0.600
RelAdvant.POS[Ø]	0.61	0.551	0.23	0.619	-0.33	0.490
RelAdvant.NEG1	0.00	0.995	0.48	0.147	-0.51	0.111
RelAdvant.NEG2	-0.75	0.222	0.38	0.268	-0.16	0.631
RelAdvant.NEG[Ø]	-1.21	0.081	0.04	0.910	0.26	0.450

Compatibility.POS1	-0.38	0.662	-0.53	0.156	0.54	0.135
Compatibility.POS2	-0.34	0.706	-0.84	0.038	0.92	0.019
Compatibility.POS[Ø]	-0.38	0.863	-0.43	0.559	0.48	0.495
Compatibility.NEG1	0.53	0.350	0.04	0.893	0.03	0.918
Compatibility.NEG2	-0.97	0.068	0.61	0.076	-0.24	0.461
Compatibility.NEG[Ø]	1.56	0.337	0.17	0.778	-0.33	0.568
Observability.POS1	-0.49	0.689	-0.09	0.798	0.02	0.955
Observability.POS2	-1.60	0.195	-0.17	0.667	0.44	0.260
Observability.POS[Ø]	-2.28	0.288	-0.48	0.625	0.82	0.378
Observability.NEG1	0.15	0.669	-0.40	0.067	0.32	0.164
Observability.NEG2	-0.44	0.356	-0.35	0.217	0.36	0.201
Observability.NEG[Ø]	-0.72	0.630	0.16	0.824	-0.31	0.655
Availability.POS1	1.23	0.131	0.24	0.476	-0.41	0.233
Availability.POS2	0.59	0.465	0.30	0.396	-0.21	0.547
Availability.POS[Ø]	1.31	0.306	0.24	0.643	-0.33	0.535
Availability.NEG1	-0.31	0.432	-0.27	0.241	0.36	0.142
Availability.NEG2	1.27	0.177	-0.24	0.522	0.05	0.894
Availability.NEG[Ø]	-1.26	0.124	-0.89	0.026	1.18	0.005
EconomicalAspc.POS1	-2.63	0.003	0.34	0.231	0.20	0.476
EconomicalAspc.POS2	-2.44	0.007	0.56	0.097	-0.09	0.789
EconomicalAspc.POS[Ø]	-1.70	0.101	0.10	0.784	0.04	0.908
EconomicalAspc.NEG1	-0.32	0.520	0.74	0.033	-0.70	0.073
EconomicalAspc.NEG2	-0.16	0.749	0.60	0.074	-0.62	0.099
EconomicalAspc.NEG[Ø]	-1.26	0.172	0.41	0.425	-0.18	0.745
TechnicalAspc.POS1	2.72	0.001	-0.50	0.159	0.01	0.985
TechnicalAspc.POS2	2.21	0.011	-0.67	0.096	0.42	0.292
TechnicalAspc.POS[Ø]	1.37	0.254	-0.19	0.732	0.00	0.997
TechnicalAspc.NEG1	0.43	0.252	-0.07	0.794	-0.05	0.867
TechnicalAspc.NEG2	0.17	0.717	-0.22	0.485	0.11	0.738
TechnicalAspc.NEG[Ø]	18.16	0.978	-0.21	0.604	-0.22	0.606

Tableau 68. EaseOfUse.POS : Il est facile d'utiliser le BIM

	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>[Ø]</i>	<i>Total</i>
nb. réponses	374	324	100	96	894
pourcentage	41,8	36,2	11,2	10,7	100

Tableau 69. Facteurs d'implémentation testés dans le questionnaire

<i>Domaine de facteur</i>	<i>Nom de variable</i>	<i>Description de la variable</i>
Caractéristiques du BIM	TechnicalAspc	possibilités techniques des outils numériques (trop limitées ou trop nombreuses/très satisfaisantes)
	EconomicalAspc	aspect économique (retour sur investissement ou baisse de productivité)
	Availability	disponibilité de formation et accès à la technologie
	Compatibility	compatibilité du BIM avec nos pratiques habituelles
	RelAdvant	avantage/désavantage concurrentiel apporté par le passage au BIM
	EaseOfUse	complexité d'utilisation des outils et méthodes BIM
Contexte externe	Usefulness	perception de l'utilité/inutilité des changements réalisés
	Normative	uniformisation des pratiques logicielles et collaboratives à l'agence (mise en place de ressources communes, de fichier type, etc.)
Contexte interne	Mimetic	comparaison avec d'autres agences
	Culture	culture de l'agence (identité, vision stratégique)
	Partners	partenaires avec lesquels nous travaillons
	Hierarchy	fonctionnement hiérarchique de l'agence
Caractéristiques du changement	Systems	pratiques logicielles et collaboratives de l'agence
	Communication	communication (ouverture/opacité) sur le changement dans l'agence
	Rythm	planning de changement à l'agence (durée de la phase de changement)
	Management	organisation et déroulement de la transition (peu organisée/bien planifiée)
	Complexity	perception de la complexité du changement
	Formation	contenu et déroulement des formations
	ChgAgent	personne en charge du changement à l'agence
	Attitude	attitude et investissement des personnes chargées de l'intégration du BIM à l'agence
PilotProject	caractéristiques du premier projet sur lequel nous avons travaillé	
React	réaction des personnes travaillant à l'agence	

iciel pas flexible pour les cas de rénovation. La conception est mise de côté et limitée à la connaissance d'un logiciel. Coût non justifié et logiciel pas aboutis. Les agences avec lesquelles nous avons collaborés ont systématiquement transformé leur Bim en Fichier 2D en court de phase EXE car trop long, trop lourd et complexe via logiciel BIM. Nous espérons que SketchUp pourra être full BIM rapidement. //logiciel peu spécialisé, moyens financiers trop faible pour investissement dans nouveau logiciel et dans la formation//Logiciels différents, problèmes de méthodes de travail, trop de MO, de BET ou d'entreprises non équipés : la galère ! //Manque d'intérêt de la part des BET. Problématique de compatibilité entre différents logiciels. //Manque de formation sur le logiciel, pas toujours pertinent suivant le type de projet//Manque de pratique et d'un collaborateur formé qui aurait pu permettre la généralisation du processus BIM sur ArchiCAD//Manque de sérieux des intervenants et pas de sanction du maître d'ouvrage//manque de standardisation des échanges de données : dépendant du logiciel (souvent ArchiCAD pour les Archis et AutoCAD pour les BE), la version logiciel (logiciel ultra récent ou daté de 10 ans), le format d'export (Ifc, DWG, rvt,...) et la plateforme utilisée (souvent MAC pour les Archis et PC pour les BE). //manque de temps à y consacrer//Métrés ArchiCAD trop complexe à paramétrer. //Mon crayon est plus performant que ma souris//N'importe quoi vos questions le BIM niveau 3 n'existe pas encore, ou alors il faudrait être mono logiciel, ce qui n'est même pas concevable. Chaque corps de métier apporte un plus grâce à son savoir faire et bien sûr son logiciel spécialisé, **Revit est une grosse merde pour les architectes, une usine à gaz ou les utilisateurs sont pris en otage.** //Nos deux dessinateurs ont fait des formations BIM. À ce jour seul l'un des deux continue à l'utiliser. \n**Nous sommes revenus en partie sur plan Auto cad et 3 d SketchUp, nous sommes très déçu...** \nUtilisation de REvit sur les gros projets en conception et esquisse de démarrage... mais dès que l'on souhaite des plans précis et détaillé (PRO DCE), on utilise AutoCAD.\nLogiciel qui n'est pas du tout au point pour tout ce qui concerne la rénovation qui est une partie importante de notre travail.\nMise en place très complexe, pour un rendu non satisfaisant et approximatif, énormément de temps à y passer par rapport au résultat obtenu : très décourageant pour l'équipe. //Nous avons travaillé sur un petit projet la maquette BIM, cela est intéressant en phase APS-APD, il permet de vérifier les positions et encombrements des équipements fluides, mais nous le faire plus simplement avec un modèle sketchup. En Esquisse cela est vraiment trop immature pour la pensée du projet ou le dessin 2D, le croquis et la maquette reste beaucoup plus efficace. **Et enfin pour le PRO-DCE la rigidité des modes BIM oriente trop vers une standardisation et des procédé industriel de construction, et fait que l'on passe trop de temps à régler plutôt qu'à dessiner ; c'est à dire proportionner l'espace et la juste dimension matière, au bon endroit...** \nBref tout cela est un excellent travail des lobbies, qui ferme la porte à beaucoup d'artisan et génère des surcoûts énorme, par exemple sur un petit Equipement technique à 1,7 M€ de cout travaux le lot Gros Œuvre Charpente prend 67 000 €HT pour la démarche BIM. Soit presque autant que les honoraires études et chantier confondu... \nPour quel intérêt peut-on s'interroger ? Croyez vous que dans 10 ans on aille fouiller dans un fichier pour savoir si la paroi ou la porte est coupe Feu ?\nComme le disait notre président il y a quelque jours, « il vaudrait mieux que l'on ai des menuisier en France qui travail avec le bois des forêts d'à côté plutôt que des acheteurs qui achète du bois de Roumanie pour fabriquer des portes CF"... **Cela n'a aucun sens, arrêtons rapidement avec le BIM, s'il vous plaît merci !!!** //Nous n'avons pas su le faire fonctionner//Nous ne maîtrisons pas les protocoles d'échanges entre ArchiCAD et REVIT. //Nous travaillons sur le projet en rénovation des bâtis existants. Nous avons essayer travailler sur le Revit et nous pensons que ce logiciel n'est pas adapté pour ce type de projet (les bâtiments construit avant 1960)//On trouve que revit n'est pas le plus adapté pour nos carnets de détail//Outils 3D inadéquate pour production et diffusion de plans 2D//Parce que l'absence de souplesse du Bim et son imprécision ne sont pas adaptées aux modifications multiples à la précision demandées dès le stade DCE//Parce que nous n'avons pas tous les architectes le même logiciel, certains ont AutoCAD avec Revit qui a le "monopole" du BIM... et il y a autant de logiciels variés auxquelles les agences sont habituées avec des échanges dxf et dwg avec B.E. d'après leurs formats...or d'autres ont archicad... un peu moins bim le avec des potentiels que j'ai pu expérimenter en agence en mission chez et pour le compte d'autres ou vectorworks...le risque est que le BIM suive un holding d'une seule firme//pas assez d'expérience//pas de réponse//pas le temps de produire et apprendre en même temps//**Pas les bons moyens matériels, pas la formation, manque de temps, manque d'aptitude à s'adapter à ces évolutions techniques, manque de motivation aussi un peu.** //Pas ou très peu adapté aux projets en question, besoin de réapprendre complètement une façon de travailler, encore de nouveaux logiciels hors de prix, un rendu plutôt moche, la nécessité de pièces classiques 2D pour communiquer avec les entreprises et les maîtres d'ouvrage... pour finalement assez peu d'intérêt pour les lots architecturaux. //Plusieurs logiciels BIM différents ou BET sans ces logiciels ou pas la formation//**Pour l'instant nous sommes trop en avance par rapport à nos BET.** //problème de compatibilité entre logiciels//Problème de vocabulaire dus au fonctionnement des différents logiciels entre architectes et BET.\nClassification des IFC pas assez mis en avant dans le logiciel//Sur notre échelle de projet, cela n'est pas pertinent. La configuration prend beaucoup plus de temps et est souvent moins lisible qu'un bon dessin 2D au trait. La 3D a sa place pour les visualisations uniquement. Il ne me semble pas que le BIM (ou équivalent) doive s'adresser à tout les projets. //Transition Revit imposée sans benchmark des logiciels. Sans aménagement du plan de charge. Sans réflexion sur les méthodes de travail. Sans mise en place sur un projet simple. Avec 3 jours de formation sans suivi. En perdant les acquis des 3D rapides et précises dans Rhino. //trop complexe à paramétrer, nécessite Bim manager, License trop chère//Trop complexe pour des petites agences. Pas adaptés pour des petits projets. //trop complexe\n trop de bug\n trop long à mettre en œuvre\n gains douteux//Trop d'erreurs à la fin. //Trop de perte d'information//Votre questionnaire est mal fait, il exclu la possibilité de maîtriser ses outils mais de considérer qu'ils n'apportent aucune amélioration sur la qualité du projet architectural et sa gestion"

Annexe 16. Réponses à la question libre “pensez-vous qu’un guide pour aider les agences à mettre en place des pratiques BIM soit utile ?”

Oui///Oui, cela me paraît indispensable. Une petite agence fonctionnant “à l’ancienne” ne sait pas par où commencer./// Non car chacun y trouvera son compte, en revanche je trouve que la réticence des architectes à opérer une transition vient essentiellement d’un manque d’information sur le sujet, ou simplement d’un manque d’intérêt. C’est une réaction aussi à l’obligation progressive d’utiliser ces outils et le poids des lobbies (abvent et autodesk) vis à vis du CNOA.///Non. Ils existent. Il suffit de s’y intéresser///Cela semble difficile à mettre en place, tant les fonctionnements sont différents d’une agence à l’autre. Et si ce guide existait, il pourrait donner l’impression de contraindre les agences, en imposant la marche à suivre pour y arriver (si tant est que cette recette miracle existe, ce dont je doute...)Oui///Il faut aider les agences, mais aussi les maîtres d’ouvrage et les entreprises///Oui///Oui///De nombreux documents sont disponibles sur le Web à ce sujet///Oui///surtout revoir la loi MOP obsolète///Oui. Cela serait un atout majeur de pouvoir proposer un guide “BIM” pour les agences d’architectes.///oui///Oui très utile///Oui pour étendre le savoir et les pratiques existantes///oui ! excellente idée///oui très important///Oui, très utile.Non///Oui car cela peut paraître très compliqué et difficile à mettre en place pour une agence ne travaillant pas encore avec ce type de méthode///Non, le problème du BIM est plutôt l’excès Et l’abondance de littérature rendant in fine inefficaces tout guide au autre documentoui///Le changement mérite d’être accompagné car il touche directement aux habitudes d’une entreprise. Elle a parfois élaborer des pratiques sur la base d’un héritage d’expériences et d’améliorations successives. Les performances des entreprises reposent sur un équilibre délicat entre des pratiques très formalisées et conscientes et d’autres beaucoup plus intuitives, informelles et non dites. Ici réside les bases du pouvoir interne de l’architecte dirigeant, soufflant le froid ou e chaud sur une équipe contrainte d’être performante sans connaître très bien le cadre des processus à l’œuvre. Donc oui je crois utile de formaliser les processus en les écrivant ou les dessinant. Il y a beaucoup à dire sur les besoins de l’accompagnement au changement. Genre “ le BIM pour les nuls” pour démystifier le sujet, une intro sur les enjeux du BIM pour la profession par rapport au concert des métiers, schéma processus, calendrier rythme, scénarios de formation en fonction des équipes, glossaire, “ qui fait quoi” pour impliquer le plus possible le groupe, donnée financière/retour sur expérience, facture du changement sur 1 an, sur 5 ans, analyse économique du besoin BIM, calcul de retour sur investissement, etc. »///oui///NON///“Cela peut être une piste de développement. Pour une petite entreprise ayant accès à des petits marchés de maîtrise d’œuvre, le BIM représente un surplus de temps sur la conception et la définition exact des produits utilisés dans la construction. Or, le MOA privé peut hanger d’avis très sensiblement tout au long du projet rendant obsolète le travail effectué. D’autre part, le surplus de temps de conception ne peut être valorisé car la demande des MOA privés limite l’augmentation du coût de la prestation d’architecte. Enfin, la réalisation d’un BIM n’est pas exploitée par les petites entreprises ni par le MOA qui n’ont pas les outils nécessaires à son exploitation. L’usage du BIM peut être intéressant sur des constructions complexes pour faciliter la mission de SYN et la lisibilité des produits préconisés (normalement décrits au CCTP). En revanche, la réalisation de petits projets nécessite un dialogue et un travail collaboratif avec les petites entreprises afin d’adapter au mieux une conception à leur savoir faire, rendant l’usage du BIM obsolète à moins de l’actualiser très régulièrement. Cette actualisation du BIM ne saurait être valorisée dans une telle mission de maîtrise d’œuvre déjà très tendue financièrement. »///Non, je pense qu’il faudrait s’interroger sur la pertinence et les conséquences cette pratique.///“Nous « pensons” seulement à intégrer le BIM, rien n’est mis en œuvre pour l’instant, ni l’acquisition des logiciels, ni la méthode, donc pas d’expérience. Seuls 2 salariés ont fait une formation initiale. Le frein au développement du BIM à l’agence est l’investissement financier à la formation, aux logiciels, et surtout l’investissement en temps pour la formation et la maîtrise d’un logiciel totalement nouveau qui allonge le temps de production. »///oui///Oui ce serait certainement appréciable.///Oui, bien sûr !///Le BIM : c’est un moyen parmi les autres, pas une finalité. réfléchir à travers ce filtre me semble très abrutissant et dommageable pour notre planète.///OUIIIII///oui///“Ce serait temps d’y penser... ///ce qui est rebutant c’est le fait d’être pied et main lié avec les logiciels qui dorénavant sont en location annuelle. »///OUI///Pourquoi pas///oui///Oui///OUI TOUT A FAIT CE GUIDE NE PEUT QU’ÊTRE LE BIEN VENU///Oui///sans opinion///pourquoi pas///“Effectivement, je pense que OUI . ///Plus facile avec des entreprises de plus de 10 salariés . »///éditer un guide pour ne pas être obligé de passer au BIM, vu le nombre d’entreprise ou de maître d’ouvrage réellement concerné !///Oui///Oui éventuellement.///“Nous avons bénéficié d’un accompagnement à la mise en place de REVIT à l’agence après la période de formation. Cet accompagnement a été rassurant et nous a permis de nous lancer. »///oui///Oui///“Oui cela serait utile de proposer un guide///MAIS AUSSI un guide spécifique pour les petites structures, et les architectes qui travaillent avec des particuliers///TOUT est fait pour les grosses agences, qui travaillent marché public///Le travail collaboratif peut aussi être hyper positif pour les petites agences, et cela permettrait d’être plus performant sur les marchés de la maison individuelle”///“Actuellement je perçois trois freins au développement du BIM N3 :Difficulté de certains architectes avec les outils informatiquesDifficulté pour les petites structures à mettre en place une plateforme en ligne avec des licences (locatives ?) disponibles pour les différents partenairesL’extension du réseau fibre optique qui permet de travailler en direct sur une plateforme en ligne”///OUI///Oui formation à la conduite du changement nécessaire///Contre l’imposition du BIM, on se débrouille bien sans///Oui///Non///Je pense qu’il est possible de se renseigner en dehors mais pour les agences pour qui ça constitue un gros changement ça peut être utile///oui///“je pense qu’il faut proposer à ceux qui proposent le BIM un guide sur l’impact écologique, social et économique d’une t

elle proposition.//Il n'y a aucune analyse critique sur la position de l'architecte dans notre société et donc l'architecte suit la société... Évidemment, il ne pèse rien, donc il répond à la commande,... sans moi merci bien... »//oui pourquoi pas mais s'il n'est pas rédigé par un éditeur de logiciel.//J'aimerais surtout un retour objectif de la part des agences qui ont la même taille que la mienne"//oui//UI si cette pratique devient obligatoire il faut renforcer les prises en charge de formation et former les étudiants//Oui fortement nécessaire//oui//OUI//Non, chaque agence est spécifique et s'organise en fonction de sa méthodologie propre.//Non ! Que pourrait bien dire un tel document : détailler UNE méthode pour intégrer le BIM quand chaque agence fonctionne de manière bien spécifique ? uniformiser les manières de travailler au travers d'un outil nuirait à l'épanouissement des agences dans ce qu'elles font toutes de manière unique : créer. Le BIM n'est qu'un outil, une évolution dans la lignée du crayon, puis de l'ordinateur,... la transition donne naissance à des conflits intergénérationnels qui comme pour le passage du papier à l'informatique touche tous les corps de métiers.//pourquoi pas ?//Mais je doute que le BIM soit un outil adapté à toutes les petites agences : trop de complexité ! »//Oui bien sûr !!!//OUI//oui//oui//oui//oui//Peut être. Il manque surtout une aide financière et un manque de liberté sur le choix du BIM. Il manque surtout une définition claire et systématique des responsabilités de chacun dans l'utilisation de fichiers communs. »//Tout le temps que l'on passe à s'adapter au BIM, on oublie de passer à travailler l'architecture. On peut très bien faire de la 3D sans faire de BIM. À l'exception de certains gros projets pour lesquels il est parfaitement justifié soit pour leur taille soit pour leur complexité volumétrique, le BIM est un outil coûteux et qui ne présente aucune valeur ajoutée pour la gestion de plus de 80 % des projets. Il devient par contre un alibi pour permettre aux grosses agences d'accaparer une partie de la commande en éliminant les cabinets de taille artisanale. C'est donc une imposture.//oui//Formaliser via un guide me semble être une entreprise très délicate car aucune démarche de conception BIM ne peut être pérenne et qualitative sans le renfort permanent d'une ressource humaine dédiée//Le prérequis n°1 est d'avoir au sein de l'équipe de production/une collaborateur(rice) reconnu(e) expert(e) en la matière//La seconde condition est de veiller à la bonne tenue des pratiques BIM au fur et à mesure des contraintes de chaque projet car le BIM doit servir l'Architecture et non l'inverse"//Oui pour car si dans la pratique les outils de production sont bien utilisés il n'en reste pas moins que ce n'est toujours pas du travail collaboratif proprement dit c'est du partage de documents or donc l'intérêt du BIM réside dans son aspect collaboratif-intersectoriel ce qui est loin d'être le cas pour l'instant .//oui//oui//Il faut arriver à faire comprendre aux agences que le BIM est une philosophie (ou stratégie) de travail avant d'être un outil. C'est-à-dire que l'utilisation de l'outil sans stratégie globale est vouée à l'échec.//Pourquoi pas//oui, il serait bien utile !//Certainement mais un document simple//Tout à fait. Tout en gardant à l'esprit que le BIM doit également concerner les entreprises et autres intervenants qui ne sont pas du tout au fait de ce système.//Des formations dans les agences en accompagnement d'un projet concret me semblent plus adaptées.//oui//oui//Pourquoi pas, mais avec moult retours d'expériences (réussies et moins, les plus illustrantes...)//OUI//Les petites agences ne sont pas assez mises au pied du mur vis-à-vis du BIM et rechignent à y passer. Les gérants préférant compter les années qui les séparent de la retraite, ils ne s'intéressent pas au BIM et préfèrent laisser ça aux « jeunes » sans pour autant s'inquiéter des démarches (informatique, logiciel, formation) à mettre en œuvre pour y arriver.//Oui pourquoi pas.//Tout à fait//Oui//pourquoi pas//Non et il faut arrêter de faire croire aux architectes que l'on va devoir changer de méthode de travail en utilisant le BIM. La base de nos missions est esquisse APS, etc.//oui//Utile//oui//Oui bonne idée//NON, il faut arrêter de proposer et diffuser cet outil//oui//C'est nous qui allons proposer un pense-bête aux éditeurs de logiciels pour qu'ils nous fassent la paix.//OUI//Je pense qu'il faut parler des problèmes de mise en place du BIM, du coût, du temps perdu, de son adaptation à certains types de projets, du temps de saisie supplémentaire à intégrer les éléments dus au BIM, la capacité d'adaptation des salariés au BIM, etc...//non, les éditeurs de logiciels nous soutiennent suffisamment....//Oui//non//Le principal blocage est financier et la non pertinence du BIM pour des projets simples.//Je pense que chaque agence doit s'adapter à son rythme sans obligation. Tous les projets ne sont pas voués à être faits en BIM et toutes les agences ne sont pas vouées à passer au BIM. Pour les agences désireuses d'évoluer un « guide » pourrait être bien.//Absolument !//oui c'est nécessaire, mais surtout, pour les agences de petite et moyenne taille il s'agit de formation en profondeur sur les renseignements techniques à saisir en phase projet, formats IFC, etc.. qui est impossible à trouver hors de métropole.//oui//oui//oui ce serait une bonne idée//Non//oui//Oii//OUI mais en dissociant les agences soumises à la commande publique et celles uniquement à la commande privée.//très certainement indispensable//Oui si pas trop long à lire et pas trop complexe à comprendre. Il faudrait pouvoir expliquer comment mettre en place progressivement le BIM car en une seule fois c'est trop lourd pour les agences moyennes et petites//OUI//oui//Oui, indispensable pour les agences mais également pour les MOA avec qui nous travaillons//Un guide sur les outilsUne définition du métier de BIM manager et ses responsabilités BIM manager Vs mandataireLa place de l'innovation et l'expérimentation à l'heure du BIMLe BIM manager doit-il être architecte ? l'intérêt ? »//Oui//OUI//oui, surtout concernant les formations liées au BIM//Oui//Oui !!!//Un guide serait très utile, facile à s'approprier. check-list et risques à anticiper.//Logiciel inadapté à la pratique... l'Architecte est contraint par le logiciel//Oui probablement, les maîtres d'ouvrages publics et privés également.//bonne idée pour le guide. Toutefois, l'utilisation du BIM ne peut se faire qu'avec des BET et des entreprises l'utilisant, ce qui élimine d'office les petits et moyens projets. »//oui, calendrier des obligations nationales de concevoir les projets en BIM pour les différentes maîtrises d'ouvrage publique et privées. Établir un barème d'honoraires comme mission complémentaire pour les architectes et l'équipe de maîtrise d'œuvre ; Car beaucoup de maîtres d'ouvrage pensent et disent qu'il n'y a pas de travail supplémentaire pour réaliser une maquette numérique. Ils sont prêts à payer une maquette physique, mais pas une maquette virtuelle. Le coût estimé dans notre agence par rapport à notre expérience pratique est de 1,5 % du montant estimé des travaux qui viennent s'ajouter aux honoraires d'une mission complète. »//oui//non il faut interdire l'obligation du BIM//oui si concis et clair.//nous n'avons pas encore d

e BIM///"QUI VA LIRE VOS GUIDES !!!!! Il n'y a que l'expérience qui permettra d'apprendre ! »///"oui certainement ce qui me semble le plus complexe au delà des normes 19650-1 et 19650-2, etc., du guide miqcp t du guide hexabim ou PNTBje trouve extraordinaire que les normes 19650-3 et -5 et la norme ISO 29481-3 qui devait définir les vues du modèle 3dbim ne soient pas encore sorties, on les attend depuis 2017 !!!! une intervenante du Moniteur lors d'un webinaire m'a répondu que c'était le travail du Bim manager et que ce n'est pas aux normes de définir les éléments contractuels du BIM. On voit bien là où est le souci quand les bim manager ne sont pas architectes ! ///Nous nous posons surtout la question de savoir si c'est la bonne chose à faire, si c'est la bonne démarche, lorsque l'on voit la dimension de certains projets et la réalité économique de notre métier.///Pourquoi pas///non///Oui, un guide serait utile pour la transition des agences et Maitrise d'ouvrage au BIM.///ne sais pas///Oui/Oui///"intéressant mais pas nécessaire.///La culture du BIM doit se partager avec les partenaires usuels, et peut être dangereuse pour certaines agences. »///Oui///Pourquoi pas///Oui///oui, cela serait bien///Oui, sans doute/C'est toujours utile.///oui///Oui///Oui un guide serait utile///oui///"Que de théories fumeuses et de masturbation intellectuelle... tout ça pour rendre le BIM soit disant incontournable ?///Les vrais changements de proximité dans notre société ne sont pas là, mais bien dans la limitation du recours au « tout informatique », dans la maîtrise des matériaux et matières avant même celle de la 3D... ///NON, pas de guide... ///Pensez-vous qu'il faille donner à tout citoyen un guide pour respirer, car l'air est indispensable à la vie ? Vous me ferez une thèse sur cette question... pense-bête pour ne rien oublier, conséquences et risques possibles... En conclusion : l'art de rendre ompliqué ce qui n'est que complexe... ///C'est indispensable si le BIM reste et s'ancre dans les pratiques et n'est pas réservé aux gros projets publics. Sinon ce sera un métier de plus qui échappera à l'architecte... ///Bof... ce qu'il faut surtout c'est de la motivation et faire taire la peur de l'inconnu.///"Formation pur conserver la main sur la gestion du BIM Information auprès de BET"///"Oui ce serait une bonne idée. ///l'intérêt conceptuel car difficile de concevoir une esquisse 3 D en intégrant tout les paramètres (type de mur, type d'enduit). On fait du bricolage au début. ///C'est pour l'instant beaucoup de temps passé et peu de possibilités en réhabilitation de proposer ces heures passées au client... »///Oui///non///oui///Oui, ce sera bien utile.///Oui///Tout dépend de son contenu///Oui///Pour notre part, nous avons acheté un livre présentant un retour d'expérience sur le BIM. Celui-ci a été utile, mais surtout parce qu'il présentait une solution avec les avantages et inconvénients, sans pour autant être sectaire.///oui///Il serait nécessaire d'expliquer aux agences, que le BIM n'est qu'un outil qui permet de faire la synthèse entre plusieurs intervenants, mais qu'à la fin c'est à l'architecte de faire la synthèse (cela fait partie de sa mission)///pourquoi pas///Oui///oui///oui, mais surtout la désignation d'une ou plusieurs personnes responsable de cette transition. Et surtout, une direction ouverte au changement.///oui très bonne idée///indispensable///OUI TRES UTILE POUR LES REFRACATAIRES///Peut-être envisageable... ///non///non, il n'y a pas de règles communes///il faut que chacun adapte la mise en place son propre fonctionnement"////Je pense que le BIM ne devrait être réservé qu'aux seuls « praticiens » n'ayant pas les moyens de penser autrement leur métier que par le biais d'outils inadéquats à l'exercice d'une profession complexe qui s'apprend et s'exprime - à toutes les échelles et définitions du projet - par le DESSIN.///pourquoi pas... ///"je ne comprends pas bien la question. si le BIM est avoir un logiciel type Allplan... alors rien à faire pour la majorité des agences.si le BIM c'est rendre une esquisse en BIM avec les réseaux CVC alors je suis hostile"///Il existe un petit ouvrage, que je recommande, accessible, édité par Eyrolles. Tout y est !///non///absolument, si ce guide est réalisé par des personnes ayant elles mêmes fait la démarche vers le Bim .///le plus utile serait de définir des niveaux dans le « BIM » qui devient une abréviation fourretout allant de la maquette numérique 3D de base (maquette que j'utilise depuis 1992 avec le logiciel ARC+ à l'époque) qui permet de concevoir, de communiquer et de quantifier les principaux éléments constitutifs du projet à une projet Global, avec l'intégration de toutes les références produits et prise en compte des éléments dynamique du bâti, (apport solaire, déperdition, consommation, etc...)Chaque cas étant très différent et surtout en fonction de l'échelle du projet car construire en hôpital à Paris n'a pas les mêmes enjeux que de faire l'extension de la Mairie du petit village de Champagne. Car qui utilisera la maquette après la construction, même pas certain que l'hôpital le fasse pour des raisons de compétences et de moyens.///Non, il s'agit (malheureusement) d'une démarche incroyablement exigeante et personnelle pour chacun d'entre nous : il est inutile de trop « bavarder » sur le sujet. « Il faut y passer », s'y mettre SOI MEME, travailler et encore travailler... il faut y passer de nombreux week-ends, énormément d'heures assis derrière un écran ! Il faut une patiente INOUIE, reprendre les mêmes problèmes, jour après jour, pour enfin progressivement les apurer. Les éditeurs de logiciels croient résoudre les problèmes d'ergonomie ou de fonctions que l'on est en droit d'attendre et passent facilement à autre chose : à nous d'en subir les conséquences et de dépenser un temps extraordinaire pour contourner un problème et au final le résoudre.///Non, ce n'est pas aux architectes de supporter le surcoût et la surcharge de travail que représente le BIM. Je pense qu'il devrait être externalisé et entièrement à la charge du MOU, comme c'est le cas pour un bureau de conseil. Il pourra ainsi directement se rendre compte de son hypothétique utilité.///oui///oui///Un guide, je ne sais pas. Mais piloter des groupes d'échanges entre agences sur un réseau collaboratif sera constructif. Là serait là culture du changement. Les agences sont isolées et entretiennent cet isolement.///pourquoi pas///ce sera certainement probable///Oui///oui, peu d'agences se lancent, alors que ce n'est pas insurmontable. Il faut impulser une dynamique///oui ce serait très utile///"Nous avons certains de nos confrères qui pensent encore que le BIM n'a pas d'intérêt pour le métier... ///Oui au guide... »///non///Sans objet///Oui///Oui///très nécessaire///Oui cela me semble indispensable///OUI OUI OUI///OUI Annuaire de formation, calendrier de la transition, guide pour les partenaires, check-liste///Non///oui///le guide crée plus de problème qu'il n'en règle.///oui///oui, ainsi qu'un guide des bonnes pratiques///Non.///Oui///Oui///"Oui, mais tout ce que l'on peut lire ou voir reste théorique et abstrait. Et toujours la même chose depuis plus de 10 ans.///Il n'y a qu'à voir le profil des premiers « BIM managers" » ...///Il faudrait plutôt du retour d'expérience et des ateliers pratiques.///Une chose importante serait aussi de travailler sur une négociation de branche avec les fournisseurs de logiciels... ils n'ont rien

performants et savent la valeur du numérique.///NON///"Oui, mais cela reste très complexe.///La majorité des agences archis et BE ne savent pas exporter un projet en 3D : - 1) parce qu'ils dessinent en 2D (Hé oui, il y en a encore !) - 2) comme dit précédemment, il n'y a pas de standardisation des échanges de données. Ce qui provient sans aucun doute des fabricants de logiciel qui veulent un monopole !!! »///Oui, mais également aux partenaires et aux maîtres d'ouvrages///OUI///"C'est bien à condition de laisser chaque ARCHITECTE choisir son logiciel... D'une part : il serait bien plutôt d'équiper les clients... par exemple les collectivités territoriales pourraient être équipées de pièces pour faire de la 4D qui coûtent une fortune... seules les grands agences peuvent se permettre actuellement de faire de la réalité augmentée ou des projections virtuelles avec du BIM. D'autre part... si c'était un équipement collectif mutualisé... pour les architectes et utilisable à l'ordre en local dédié pour les transferts sur internet et la transposition en réalité virtuelle augmentée avec casque 4D pour montrer au client... ce serait amortir ce tout car 1 pièce 4D coûte près de 15000 € à 40000 € et on ne peut pas tous investir dedans... Enfin, attention au monopole absolu de certains logiciels qui serait créer une concurrence sélective par le BIM or l'architecture est une expression de la culture... la culture numérique n'est pas l'apanage d'une seule grande marque pour ne pas la citer... Cordialement"///oui///pourquoi pas///OUI///Oui///Pourquoi pas, mais je pense surtout qu'il faut désacraliser le BIM, ce n'est rien d'autre que l'évolution de nos outils, il faut bien insister que ça facilite notre travail même si au début du on a l'impression de perdre du temps à bien renseigner nos murs, nos poteaux nos poutres nos objets etc. Pour le chantier il ne faut surtout pas utiliser la maquette du DCE et faire une maquette en se basant uniquement sur les plans d'exécution des entreprises, le pot de fleur et la jolie femme sur la maquette c'est lourd à gérer et tout le monde s'en fout. Il faut rappeler à tout le monde qu'il y a plus de trente ans c'était des calques que l'on superposait avec 3 tonnes de documentation. Maintenant on se promène avec tout notre dossier dans la poche notamment avec des softs comme BIMx ou similaire.///Oui.///Oui et surtout un accompagnement continu Cela semble intéressant mais il existe déjà beaucoup d'informations liées au Bim. Le problème de sa mise en place est véritablement et essentiellement financier.///Si ce guide impose l'utilisation de revit archicad sans penser aux autres logiciels disponibles, non, le matraquage commercial de ces 2 boutiques tend à imposer un monopole///Oui///Je pense que ce guide ne peut être que positif! Surtout pour les anciennes générations qui ne comprennent pas encore tous les aspects de l'intérêt du BIM et surtout la nécessité d'y passer pour garder la maîtrise du projet et ne pas sous-traiter la maquette BIM au BET par exemple... ///"sert à quoi ? le rôle serait au éditeurs de logiciels et centre de formation de s'adapter aux tailles des agences !///ex de REVIT, au pris de la licence, il serait judicieux d'avoir des gabarits Français livre au démarrage et une logique ax programmes rencontrés. aujourd'hui alors que nous avons beaucoup de mal à trouver de vrai dessinateur avec une culture de dessinateur, on nous demande désormais des profils de manipulateurs informatique A quand un modèleur à la puissance de Revit mais à la simple utilisation de sketchup ? »///Un guide serait utile - s'il dépasse l'approche générique du BIM pour adresser les spécificités de transition d'un logiciel CAD à un logiciel BIM. Les erreurs courantes au démarrage sont souvent liées à un décalage de compétences entre les personnes qui exigent qu'un projet se fasse en BIM (les décideurs), et ceux qui doivent produire le projet.///Cela peut être utile///oui//oui plutôt///surtout pas///Indispensable à mettre en place : un guide pour savoir OU trouver les bonnes informations pour améliorer sa pratique et résoudre ses problèmes avec le logiciel (qui sont permanents)///Oui !///Oui !///cela peut être intéressant///Indispensable !///oui///Oui, tous documents pédagogiques unifiés sont les bienvenus///Oui mais le problème ne se limite pas aux architectes, une maquette BIM qui n'arrive pas sur un chantier n'atteint pas son objectif !///Oui cela peut être pertinent... cela permettrait d'optimiser la phase de prise en main et de transition///NON///Cela serait très utile !///Oui//Oui ce serait un bon outli

Annexe 17. Ressources pour la constitution de lignes directrices pour l'implémentation du BIM

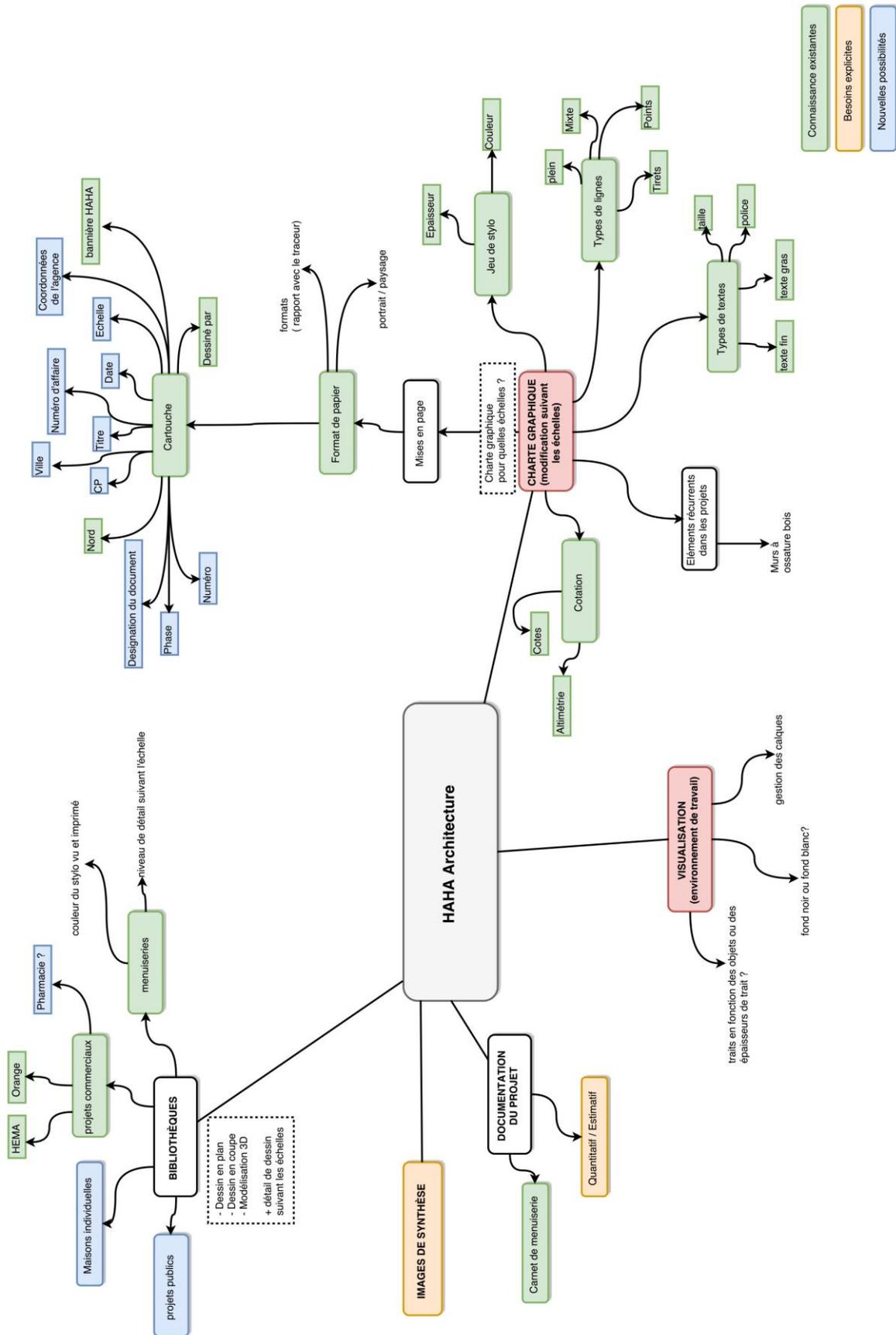
Tableau 70. Corpus de références pour l'étude des méthodes d'implémentation du BIM

<i>ID</i>	<i>Type</i>	<i>Référence</i>
01	Ouvrage	(Smith, Tardif 2009)
02	Article	(Arayici et al. 2011a; 2011b)
03	Ouvrage	(Epstein 2012)
04	Article	(Khosrowshahi, Arayici 2012)
05	Mémoire de master	(Panaitescu 2014)
06	Ouvrage	(Kensek 2014)
07	Article	(Abuelmaatti, Ahmed, Baban 2014)
08	Article	(Kouider, Paterson 2014)
09	Article	(Poirier, Staub-French, Forgues 2015a)
10	Ouvrage	(Hardin, McCool 2015)
11	Article	(Ghaffarianhoseini et al. 2016)
12	Article	(Bonanomi, Paganin, Talamo 2016)
13	Article	(Machado, Underwood, Fleming 2016)
14	Article	(Almuntaser, Sanni-Anibire, Hassanain 2018)
15	Article	(Joseph Garcia, Mollaoglu, Syal 2018)
16	Article	(Hochscheid, Halin 2018b)

Tableau 71. Divers noms donnés aux lignes directrices pour l'implémentation

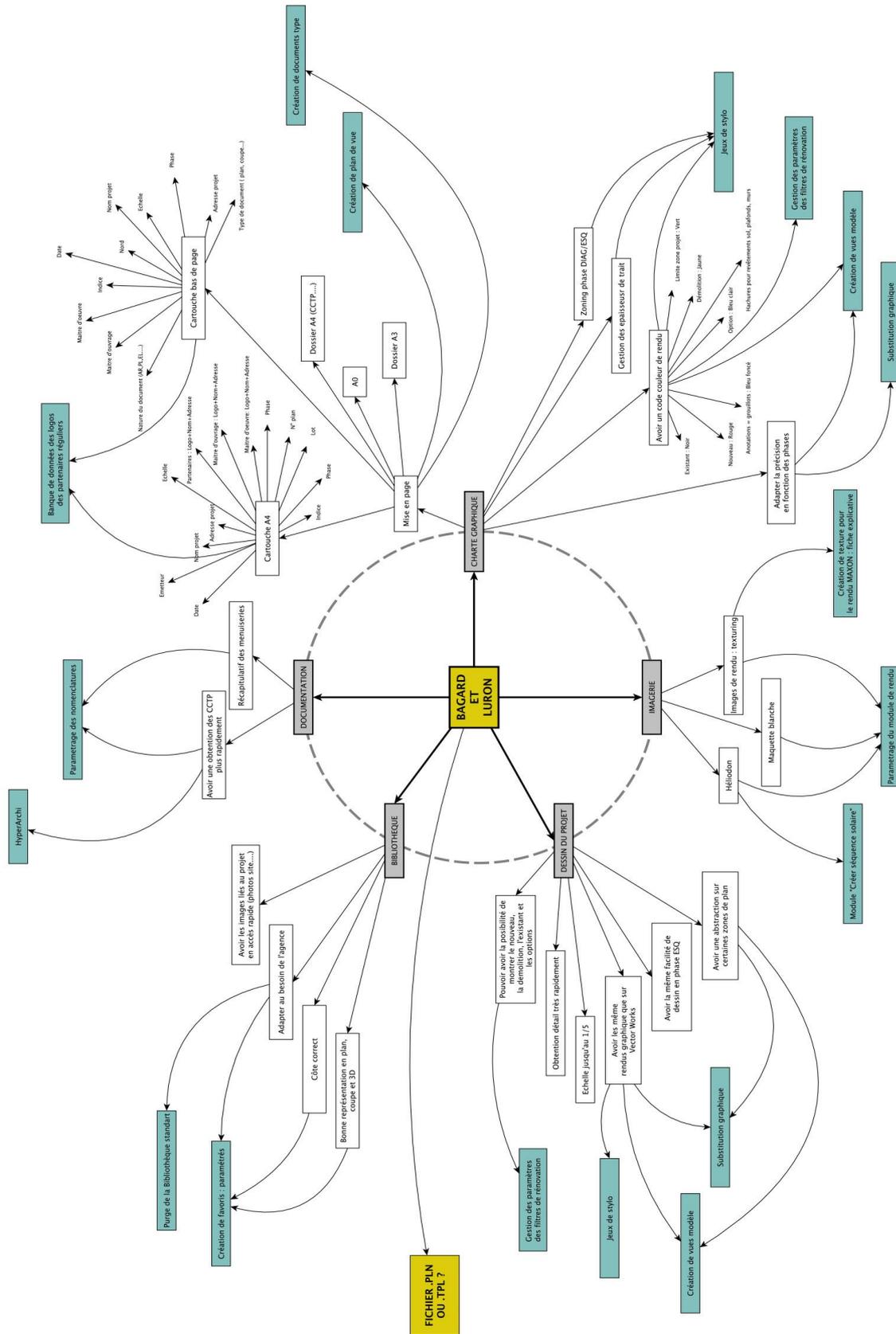
<i>Nom (anglais)</i>	<i>Nom (français)</i>	<i>Référence</i>
<i>Business Process reform</i>	Réforme des processus métier	(Smith, Tardif 2009)
<i>Implementing successful Building Information Modeling</i>	Implémentation du BIM	(Epstein 2012)
<i>Roadmap for implementation</i>	Feuille de route pour l'implémentation	(Khosrowshahi, Arayici 2012)
<i>Structured implementation process, BIM implementation plan framework</i>	Processus structuré pour l'implémentation du BIM ; cadre pour le plan d'implémentation	(Panaitescu 2014)
<i>Steps towards implementation</i>	Étapes vers l'implémentation	(Kensek 2014)
<i>Migration phases</i>	Phases de migration	(Kouider, Paterson 2014)
<i>Managing change</i>	Management du changement	(Hardin, McCool 2015)
<i>BIM implementation strategy</i>	Stratégie pour l'implémentation du BIM	(Ghaffarianhoseini et al. 2016)
<i>Implementation framework</i>	Cadre d'implémentation	(Bonanomi, Paganin, Talamo 2016) (Almuntaser, Sanni-Anibire, Hassanain 2018)
<i>BIM implementation approach</i>	Approche pour l'implémentation	(Machado, Underwood, Fleming 2016)
<i>Phases of BIM implementation</i>	Phases d'implémentation	(Joseph Garcia, Mollaoglu, Syal 2018)
<i>Implementation method</i>	Méthode d'implémentation	(Hochscheid, Halin 2018b)

Annexe 18. Carte heuristique des éléments à développer pour l'étude de cas n°2. Source : (Mertes 2017)

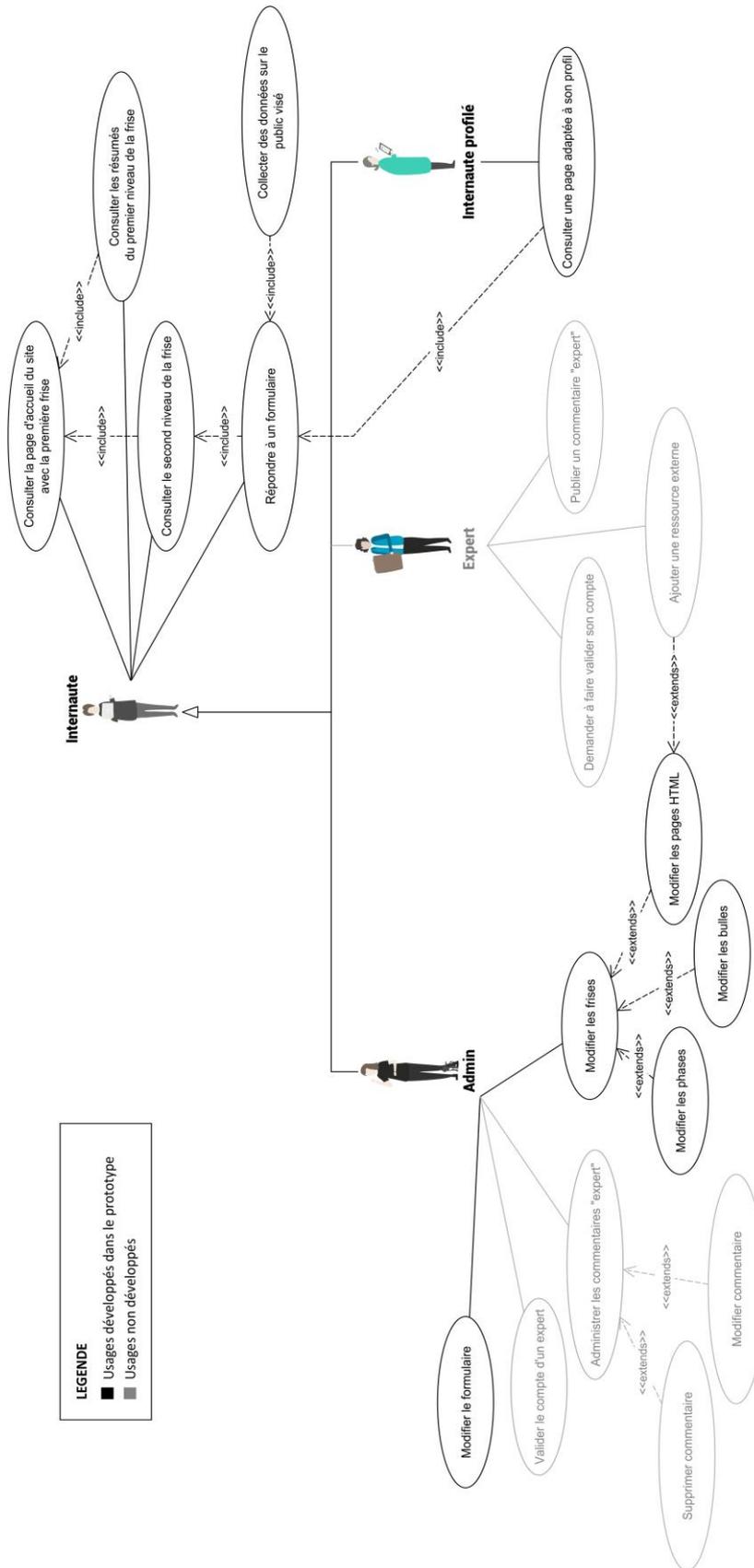


- Connaissance existantes
- Besoins explicites
- Nouvelles possibilités

Annexe 19. Carte heuristique des éléments à développer pour l'étude de cas n°4. Source : (Guillaumond 2018)



Annexe 20. Diagramme de cas d'utilisation de la feuille de route interactive



Annexe 21. Liste de publications de l'auteure

2020

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 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*. N°9/10 «L'agence d'architecture», 28 décembre 2020. DOI 10.4000/CRAUP.6201

https://bit.ly/EH_CRAUP20

Gilles HALIN, Veronika BOLSHAKOVA, Elodie HOCHSCHEID, Henri-Jean GLESS, Aida SIALA, 2020. **Four approaches for integrating BIM practices in AEC projects.** *25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, Conférence virtuelle, août 2020.

https://bit.ly/EH_CAADRIA20

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2020. **Baromètre BIM : une enquête sur l'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France.** *Séminaire Conception on Architecture Numérique (SCAN'20)*. Conférence virtuelle, novembre 2020.

https://bit.ly/EH_SCAN20

Souhail ELHOUAR, Elodie HOCHSCHEID, Ammar ALZARRAD, Chance EMANUELS, 2020. **Will artificial intelligence (AI) take over the construction world? A multidisciplinary exploration.** *Proceedings of the Creative Construction Conference 2020 (CCC2020)*, Conférence virtuelle, juillet 2020.

https://bit.ly/EH_CCC20

2019

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2019. **Generic and SME-specific factors that influence the BIM adoption process: an overview that highlights gaps in the literature.** *Frontiers of Engineering Management (FEM)*. 24 juillet 2019. DOI 10.1007/s42524-019-0043-2

http://bit.ly/EH_FEM2019

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2019. **A framework for studying the factors that influence the BIM adoption process.** *Proceedings of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction Conference (CIBw78)*. Newcastle, Angleterre. 18 septembre 2019. p. 275-285.

http://bit.ly/EH_CIB2019

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2019. **Micro BIM adoption in design firms: Guidelines for doing a BIM implementation plan.** *Proceedings of the Creative Construction Conference 2019 (CCC2019)*. Budapest, Hongrie. 29 juin 2019. DOI 10.3311/CCC2019-119

http://bit.ly/EH_CCC2019

2018

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2018. **L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France.** *Actes du Séminaire Conception on Architecture Numérique (SCAN'18)*. Nantes, France. 17 octobre 2018. p. 257-264. DOI 10.1051/shsconf/20184701009

http://bit.ly/EH_SCAN18

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2018. **BIM implementation in architecture firms : Interviews, case studies and action research used to build a method that facilitates implementation of BIM processes and tools.** *Proceedings of the 36th eCAADe annual conference (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe)*. Lodz, Pologne. septembre 2018

http://bit.ly/EH_eCAADe2018

Elodie HOCHSCHEID, Gilles HALIN, 2018. **A model to approach BIM adoption on process and possible BIM implementation failures.** *Proceedings of the Creative Construction Conference 2018 (CCC2018)*. Ljubljana, Slovénie. Juin-juillet 2018. DOI 10.3311/CCC2018-034

http://bit.ly/EH_CCC2018

2016

Elodie HOCHSCHEID, Marc RIBEREAU-GAYON, Gilles HALIN, Damien HANSER, 2016. **Intégration de pratiques BIM en agence : Bilan d'une expérience de coopération numérique entre une entreprise et des architectes.** *Actes du Séminaire Conception Architecture Numérique (SCAN'16)*. Toulouse, France. septembre 2016.

http://bit.ly/EH_SCAN16

Elodie HOCHSCHEID, Marc RIBEREAU-GAYON, Gilles HALIN, Damien HANSER, 2016. **BIM Implementation in SMEs: an Experience of Cooperation between an Architect Agency and a Carpentry Firm.** *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering conference (ICCCBE)*. Osaka, Japon. juillet 2016.

http://bit.ly/EH_ICCCBE16

Annexe 22. Soutenance de thèse

L'enregistrement vidéo de la soutenance est disponible sur le lien suivant :

<https://www.youtube.com/watch?v=yaVg8nzMuog>