



HAL
open science

Vers une conception architecturale BIM-agile : proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une meilleure appropriation de la technologie BIM

Henri-Jean Gless

► To cite this version:

Henri-Jean Gless. Vers une conception architecturale BIM-agile: proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une meilleure appropriation de la technologie BIM. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Lorraine, 2019. Français. NNT: 2019LORR0033. tel-02157569v1

HAL Id: tel-02157569

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02157569v1>

Submitted on 17 Jun 2019 (v1), last revised 14 Oct 2019 (v3)

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>

VERS UNE CONCEPTION ARCHITECTURALE BIM-AGILE

Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une
meilleure appropriation de la technologie BIM

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : « Sciences de l'architecture »

par

Henri-Jean GLESS

le 21 mai 2019

Rapporteurs :	Mme Catherine ELSÉN Professeure associée, ingénieure-architecte	Faculté des Sciences Appliquées - ULiège Chercheuse au LUCID
	M. François GUÉNA Professeur des ENSA, HDR, architecte	ENSArchitecture de Paris-La Villette Directeur du MAACC
Examineurs :	M. Damien HANSER Maître de conférences des ENSA, architecte	ENSArchitecture de Nancy Chercheur au CRAI
	Mme Sylvie JANCART Professeure associée, mathématicienne	Faculté d'Architecture - ULiège Directrice du LNA
	Mme Sandra MARQUES Enseignante contractuelle des ENSA, architecte	ENSArchitecture de Toulouse Chercheuse au LRA
Directeur :	M. Gilles HALIN Maître de conférences, HDR	Université de Lorraine Directeur du CRAI

UMR MAP n° 3495 (CNRS/MC) – Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

École doctorale IAEM Lorraine – Université de Lorraine

VERS UNE CONCEPTION ARCHITECTURALE BIM-AGILE

**Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue
d'une meilleure appropriation de la technologie BIM**

VERS UNE CONCEPTION ARCHITECTURALE BIM-AGILE

**Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue
d'une meilleure appropriation de la technologie BIM**

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mention : « Sciences de l'architecture »

par

Henri-Jean GLESS

le 21 mai 2019

Résumé de la thèse

L'objectif de ce travail de recherche est de proposer des pratiques agiles de gestion de projet pour la conception architecturale collaborative afin de permettre aux acteurs de cette collaboration de s'approprier la technologie BIM et les nouvelles pratiques numériques. La technologie BIM a été identifiée comme vectrice d'importants changements dans les méthodes de travail des architectes ; générant incompréhensions, retards et erreurs aussi bien dans la conception que dans la construction.

Nous nous intéressons dans ce mémoire de thèse aux activités collectives d'assistance à la communication et la coordination de l'acte de concevoir collaborativement en architecture ainsi qu'à la méthode ayant permis leur identification, leur sélection, leur adaptation, leur expérimentation puis leur évaluation. Il s'agit de pratiques ayant pour objectif l'amélioration de l'intelligence collective, la meilleure intégration du maître d'ouvrage, la réalisation régulière de livrables ou l'adaptation au changement des concepteurs. Ces pratiques se focalisent sur l'élicitation, le raffinement et l'évaluation des intentions architecturales et des tâches de conception BIM. Nous avons développé la matrice de conception, permettant aux concepteurs d'échanger sur leurs intentions de conception afin de satisfaire les besoins fonctionnels du projet ; le micro poker, qui s'articule autour d'un jeu de cartes permettant de confronter les joueurs aux connaissances des autres ; le *stand-up meeting*, pratique d'assistance à la réunion instaurant un cadre régulier d'échanges ; et enfin le BIM-agile coach, rôle porté par un concepteur et destiné à être un facilitateur technique, un animateur, un représentant du maître d'ouvrage tout en étant le garant du cadre méthodologique BIM et agile.

Remerciements

Cette thèse de doctorat représente l'achèvement de trois années de recherche au sein du laboratoire du MAP-CRAI et constitue pour moi l'occasion d'adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont encadré et soutenu tout au long de ce travail de recherche.

Je souhaite tout d'abord remercier mon directeur de thèse et directeur du laboratoire, Gilles Halin, pour sa disponibilité, pour son aide précieuse quant à l'orientation de cette présente recherche ainsi que pour m'avoir donné les moyens matériels et intellectuels nécessaires pour avancer tout en instaurant un climat de travail serein et agréable au sein du laboratoire.

Je tiens également à remercier Damien Hanser pour son accompagnement déterminant, pour ses conseils avisés, ses références pointues ainsi que pour la confiance qu'il m'a accordée depuis ces nombreuses années au travers de projets pédagogiques et scientifiques.

Merci aux membres du laboratoire et de l'école, permanents et marginaux, stagiaires, doctorants, jeunes docteurs, chercheurs, techniciens, enseignants-chercheurs et administratifs avec qui j'ai eu le plaisir de travailler et de partager des locaux dans deux écoles d'architecture différentes pour leur accueil, leur aide et leur amitié.

Enfin je souhaite naturellement remercier et adresser une pensée particulière à mes proches, famille comme amis qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de ce travail de recherche et de rédaction.

Sommaire

Résumé de la thèse	9
Remerciements	11
Sommaire	13
Introduction	17
Contexte général de la recherche.....	18
Problématique	20
Objectifs et plan de la recherche.....	21
Première partie : conception architecturale collaborative en France .	25
Chapitre 1 : Impact de la technologie BIM dans le secteur français de l'architecture	27
1.1 L'assistance à l'activité de conception	28
1.2 Le contexte socio-économique français de la conception architecturale .	35
1.3 Les agences en France	37
1.4 La formation des diplômés.....	39
1.5 Une méconnaissance de la technologie BIM	40
1.6 Conclusion du chapitre.....	42
Chapitre 2 : Conception architecturale et activité collective	45
2.1 La conception architecturale.....	46
2.2 Les activités cognitives de la conception	50
2.3 La conception collective et les modes de coordination.....	56
2.4 L'individu au sein d'un groupe	62
2.5 Conclusion du chapitre.....	67

Chapitre 3 : Technologie BIM et transition numérique	69
3.1 La technologie BIM est une Technologie de l'Information et de la Communication	70
3.2 La transition numérique en architecture.....	72
3.3 Le BIM : information et collaboration	75
3.4 Les tâches BIM et les activités de coordination	82
3.5 Conclusion du chapitre	86
Chapitre 4 : Une évolution de la gestion de projet : l'agilité	89
4.1 De l'orienté processus à l'orienté engagement.....	90
4.2 La conception en génie logiciel.....	101
4.3 Une transition agile.....	106
4.4 Conclusion du chapitre	115
Seconde partie : Proposition de pratiques BIM-Agiles.....	117
Chapitre 5 : L'agilité en conception architecturale	119
5.1 Verrous de l'étude et enjeux de la proposition	120
5.2 Qu'est-ce qu'une pratique architecturale agile ?	123
5.3 Méthode suivie	125
5.4 Conclusion du chapitre	126
Chapitre 6 : Identification et sélection de pratiques agiles dédiées à la conception BIM	129
6.1 Genèse de l'identification des pratiques agiles	130
6.2 Méthode de sélection des pratiques agiles et innovantes.....	131
6.3 La pratique du <i>stand-up meeting</i>	138
6.4 La pratique du <i>planning poker</i>	142
6.5 La pratique de la matrice de Suh	147
6.6 La pratique du rôle de facilitateur	150
6.7 Conclusion du chapitre	153
Chapitre 7 : Adaptation, expérimentation et validation des pratiques agiles sélectionnées.....	155
7.1 Présentation du protocole expérimental général	156
7.2 Expérimentations préliminaires : la matrice de conception et le <i>planning poker</i>	158

7.3	Expérimentations croisées des pratiques agiles	171
7.4	Conclusion du chapitre.....	188
	Conclusion	191
	Adapter les pratiques agiles à la conception architecturale BIM.....	191
	Apports de l'approche	193
	Limites de l'approche.....	194
	Perspectives de recherche.....	194
	<i>Bibliographie</i>	197
	<i>Annexes.....</i>	215
	Annexe 1 : Synthèse des enseignements en architecture	217
	Annexe 2 : Résultats de l'expérimentation du planning poker	221
	Annexe 3 : Micro poker version 3.....	223
	Annexe 4 : Matrices de conception des groupes SDC.....	225
	Annexe 5 : Base de la matrice de conception finale	248
	Annexe 6 : Matrice de conception du chapitre 7.....	250
	<i>Glossaire.....</i>	253
	<i>Tables des figures et des tableaux</i>	257
	Table des figures	257
	Table des tableaux	259
	<i>Table des matières.....</i>	261

Introduction

La recherche présentée dans ce mémoire de thèse a pour sujet la conception architecturale collaborative pratiquée dans un contexte numérique, plus particulièrement dans un contexte de conception faisant usage de la technologie *Building Information Modeling*¹ (BIM) et s'inscrit aux croisements des sciences de l'architecture et des sciences de la gestion de projet.

Le secteur du bâtiment est tout à fait spécifique. Un projet architectural constitue un travail original et complexe du fait que chaque projet est unique, répondant à une commande spécifique, sur un terrain spécifique, avec un programme spécifique.

Par ailleurs, si chaque projet est unique, chaque équipe de conception l'est également. Au cours de la conception collaborative d'un projet architectural, les conditions de travail, les missions ainsi que les compétences de chaque acteur sont différentes. L'arrivée de la technologie BIM soulève de nouvelles problématiques, à la fois numériques et humaines et apporte au métier de l'architecte un élément supplémentaire auquel faire face. Cela complexifie les pratiques, et plus particulièrement les échanges d'informations, qu'elles soient verbales, papiers ou numériques, ainsi que les relations entre les acteurs du projet.

¹ La technologie BIM, où le M veut à la fois dire « *Model* », « *Modeling* » ou « *Management* », est une technologie reposant sur la modélisation numérique d'un bâtiment et ayant pour objectif de faciliter les échanges d'informations entre les acteurs d'un projet architectural.

Les questions de communication et de coordination entre ces acteurs sont au cœur de l'acte de concevoir collaborativement et reposent sur un subtil mélange d'échanges implicites et explicites. Dans ce contexte fragile de collaboration, il peut en résulter des prises de décisions entraînant incompréhensions et retards dans la conception ou dans la réalisation du chantier mettant ainsi le projet en danger.

Notre travail de recherche questionne les méthodes de gestion de projet pour identifier celles qui peuvent pallier ces changements de pratiques numériques et collaboratives.

Contexte général de la recherche

Un changement de paradigme : la transition numérique

Nous assistons depuis les années 1980 à la transformation des pratiques en conception collaborative architecturale, et ce grâce à l'apparition et à la démocratisation de l'informatique dans les sphères professionnelles puis familiales. Le monde professionnel de la conception, et plus particulièrement celui des agences d'architecture est confronté à des évolutions numériques majeures : le passage du dessin à la main à celui du Dessin Assisté par Ordinateur (DAO), l'envoi numérique d'informations de manière instantanée et l'apparition de diverses tâches ou activités en rapport avec le numérique.

Dans les années 1990 se démocratise la suite logique de cette nouvelle évolution, celle de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), qui a amené les architectes à changer à nouveau leur manière de travailler et à faire évoluer leurs pratiques afin de suivre l'évolution numérique. Nous passons d'une modélisation orientée géométrie dans laquelle nous dessinons des éléments topologiques tels que des traits, des courbes ou encore des surfaces, à une modélisation orientée objet dans laquelle nous dessinons des ouvrages possédant des caractéristiques non seulement géométriques, mais également sémantiques, telles qu'une épaisseur pour un mur, ou l'allège pour une menuiserie.

Peu après, dans les années 2000, c'est l'arrivée de la technologie BIM qui se base en grande partie sur les apports de la CAO. Cette technologie est l'évolution logique de la CAO, et vise à faciliter les échanges d'informations contenues dans les modélisations du projet entre les différents acteurs, ainsi que l'interopérabilité logicielle. Cette évolution n'est plus centrée sur l'outil, mais sur les activités collectives autour d'un modèle numérique.

La technologie BIM est une technologie de rupture

Avec la technologie BIM, il s'agit de réunir idéalement dans un seul modèle numérique toutes les informations concernant le projet architectural. Ce modèle sera alors utilisable dans plusieurs logiciels différents, correspondant chacun à un usage ou à un corps de métier particulier. Cela demande une nouvelle approche de la conception et de la collaboration pour les professionnels de la construction, notamment les architectes, au premier plan de cette conception.

La technologie BIM présente de nombreux avantages, aussi bien lors de la phase de modélisation en elle-même que lors des échanges entre les différents acteurs du projet. Elle facilite la production des documents graphiques, ainsi que la communication entre les corps de métiers puisqu'ils travaillent tous sur le même modèle, mais également avec le maître d'ouvrage grâce à la centralisation des informations dans ce même modèle et représente donc une véritable technologie de rupture.

Une crainte de la part des architectes

Cependant, les agences d'architecture, et en particulier les petites agences, sont peu nombreuses à avoir déjà mis en place la technologie BIM et seulement quelques-unes commencent à s'y intéresser. Un climat de méfiance s'est créé autour de cette technologie, celle-ci ne suscitant pas autant d'enthousiasme pour les architectes que pour le reste du secteur de la construction. La technologie BIM n'est effectivement pas perçue d'un œil positif par la profession malgré ses nombreux avantages : paramétrisation, centralisation, coordination, etc. Elle apporte changements et interrogations quant à la manière dont les architectes font de la conception.

Grâce à l'informatisation des agences et à l'évolution des techniques, la conception architecturale évolue tandis que les méthodes de gestion de projet associées non. Il existe un décalage important entre ces méthodes de gestion de projet et le besoin actuel de communication et de coordination au stade actuel des connaissances en sciences de gestion.

La recherche est orientée sur les outils et non sur les pratiques

Si la technologie BIM est une technologie qui se concentre sur les échanges d'informations entre tous les acteurs de la conception, il nous semble pertinent d'aborder la transition numérique comme relevant non seulement de la technique, mais également des pratiques et méthodes de gestion de projet qui peuvent être mises en place pour maîtriser les échanges et la technique. Que ce soit dans le champ professionnel ou dans le champ pédagogique, la transition numérique enclenchée par la technologie BIM n'est bien souvent appréhendée que par le prisme technologique et non pas par celui des sciences sociales et de la gestion de projet, pourtant largement identifié comme vecteur d'amélioration.

Problématique

La transition numérique concentre actuellement ses efforts de recherche sur les outils et les processus et non pas sur les différentes manières de les appréhender. Cette recherche s'oriente sur l'assistance à la communication et à la coordination et sur les moyens humains pouvant être mis en œuvre pour intégrer la transition numérique et permettre aux concepteurs de s'approprier la technologie BIM.

D'autres secteurs industriels ont fait face à des changements dans leurs manières de concevoir et gérer leurs projets. Je me suis intéressé aux solutions qui ont émergé pour faire face à ces changements. Nous pouvons citer les méthodes orientées processus, la famille des méthodes *Lean*, ou encore les méthodes agiles.

Cette recherche soutient que l'insertion de pratiques agiles de gestion de projet, inspirées du domaine du génie logiciel, dans un environnement BIM en

phase de conception architecturale collaborative peut améliorer la communication et la coordination entre les acteurs et, par conséquent, contribuer à l'appropriation des nouvelles pratiques numériques, telles que l'utilisation de la technologie BIM.

Objectifs et plan de la recherche

Cette recherche se propose d'identifier les pratiques agiles les plus efficaces et les plus simples à mettre en place afin qu'elles puissent être utilisées pour améliorer *in fine* l'acte de concevoir collaborativement en architecture. L'objectif est d'arriver à la proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives permettant une meilleure appropriation de la technologie BIM par l'identification, l'expérimentation et l'adaptation de pratiques collaboratives dans des contextes de conception architecturale.

La première partie de cette thèse de doctorat s'intéresse au contexte des pratiques collaboratives en conception architecturale et est en quatre chapitres. Nous nous intéresserons tout d'abord dans le chapitre premier à l'impact de la transition numérique dans le secteur de l'architecture afin d'avoir une meilleure vision de la situation actuelle en France. Le chapitre 2 se concentrera sur l'activité collective et la conception architecturale. Il s'agira de définir ces termes et de nous interroger sur les différents modèles de coordination et la place de l'individu dans un groupe de travail. Ensuite, le chapitre 3 décrit plus précisément la technologie BIM et précise les besoins que cette dernière exprime en matière de communication et de coordination. Enfin, le chapitre 4 s'intéresse à l'évolution de la gestion de projet dans divers secteurs et amène la réflexion autour des méthodes agiles et de leur apparition comme réponse à l'évolution du domaine du génie logiciel.

Après nous être intéressés au contexte des pratiques collaboratives en conception architecturale, nous verrons dans une seconde partie les propositions de pratiques BIM-agiles ainsi que les expérimentations mises en place le long de ce travail de doctorat. Le chapitre 5 consistera en un passage en revue des enjeux d'une proposition d'agilité en conception architecturale avant de présenter une méthode générale pour les expérimentations. Le

chapitre 6 nous permettra d'identifier les pratiques agiles candidates pour l'assistance de la conception architecturale BIM. Les différents scénarios d'expérimentation de ces pratiques candidates seront ensuite décrits dans le chapitre 7. Nous concluons ensuite avec les apports et les perspectives proposés par cette recherche (cf. Figure 1).

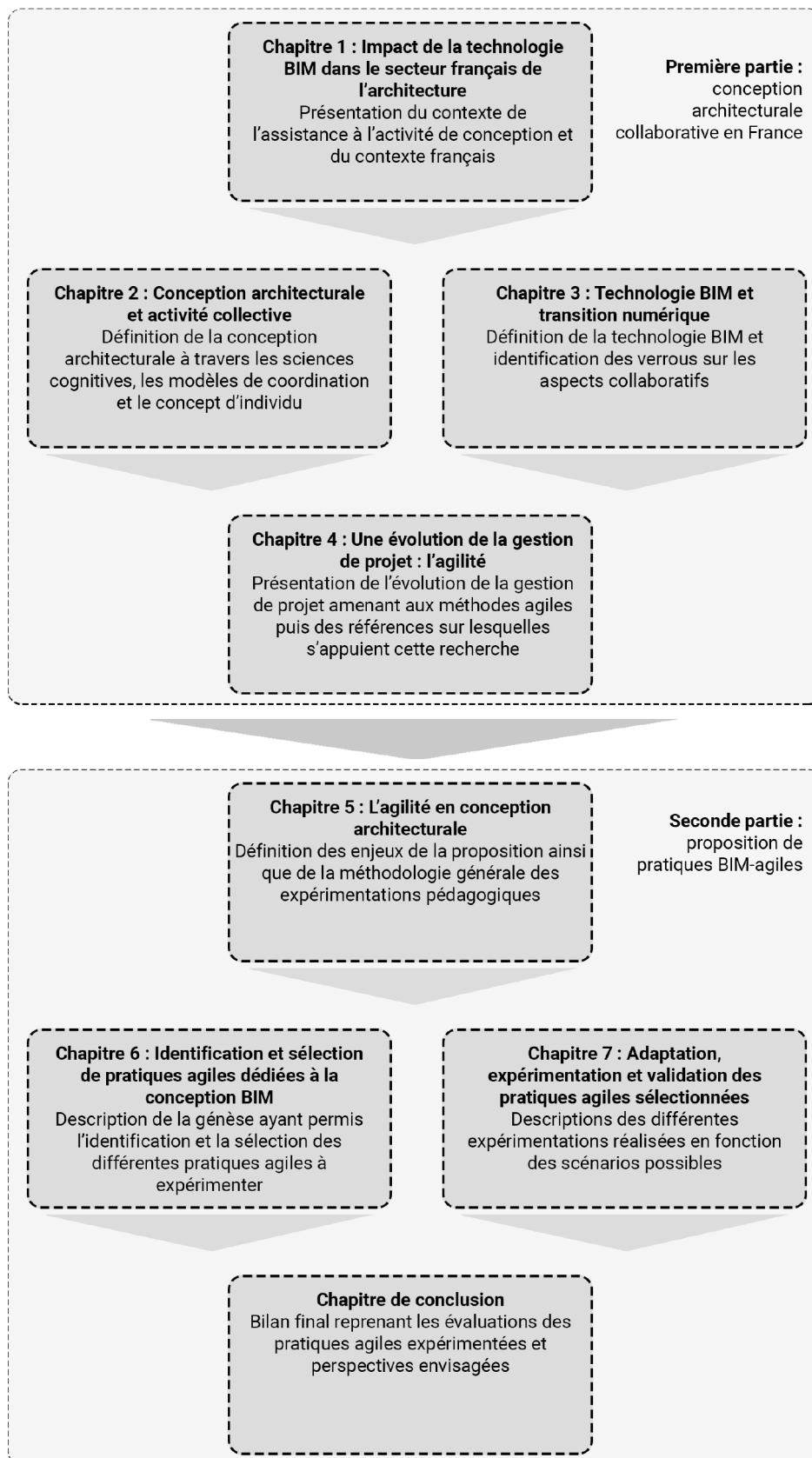


Figure 1 : plan en deux parties du travail de recherche

Première partie : conception architecturale collaborative en France

L'objectif de cette première partie est de proposer une définition du contexte actuel de la conception architecturale collaborative en France. Nous allons nous intéresser à l'impact de la transition numérique et de la technologie BIM sur le secteur de l'architecture et en particulier sur celui des architectes. Nous aborderons ensuite la conception architecturale et les activités collectives en conception. L'objectif sera de définir la conception et les différentes activités et modèles qui l'animent. Il s'agira ensuite de donner une définition à la technologie BIM dans l'objectif d'identifier les besoins et les opportunités permettant son appropriation par les acteurs de la conception. Enfin, nous nous pencherons sur l'évolution des méthodes de gestion de projet dans des secteurs voisins ayant dû faire face à des changements majeurs de leur industrie.

Chapitre 1 : Impact de la technologie BIM dans le secteur français de l'architecture

Nous allons dans ce premier chapitre traiter les concepts relatifs à l'assistance de l'activité collective de conception qui ont été développés dans les travaux de recherche menés au sein du laboratoire MAP-CRAI avant moi. Ces concepts nous permettront de dessiner le contexte de cette recherche et de l'inscrire dans la continuité des travaux du laboratoire. Il s'agira ensuite de décrire le contexte de la conception architecturale en France ainsi que celui de l'apparition de la technologie BIM afin d'identifier les différents facteurs pouvant constituer les verrous de son appropriation par les acteurs du secteur de l'architecture.

Nous considérerons alors les spécificités des agences d'architecture en France, que ce soit au niveau de leur taille, de leur composition ou des contraintes financières que représente la transition numérique. Ensuite, nous nous intéresserons à la formation que suivent les architectes à propos de la technologie BIM et enfin à la perception que les acteurs du secteur ont vis-à-vis de cette technologie.

1.1 L'assistance à l'activité de conception

Au sein du laboratoire MAP-CRAI, mes prédécesseurs se sont attachés à travailler sur la question de la modélisation du contexte de l'activité collective de conception en France. Mon travail s'inscrit dans une problématique générale de l'assistance à l'activité collective de conception qui constitue un des thèmes principaux du laboratoire, et se positionne logiquement dans le prolongement des thèses réalisées dans ce thème. Avant de nous pencher sur les verrous et le contexte qui ont permis la construction de la problématique de ce travail de doctorat, il est nécessaire de nous intéresser aux apports des thèses réalisées au laboratoire et aux notions explicitées avant moi dans celles-ci.

Damien Hanser a modélisé des situations d'activités collectives au travers de trois concepts que nous développerons par la suite : l'activité, l'acteur et le document (Hanser, 2003). Il proposa un métamodèle d'autocoordination en conception basé sur ces trois concepts et permettant définir des modèles spécifiques d'auto-organisation comme celui de la conception architecturale.

Mohammed Bouattour introduit ensuite le concept d'objet dans le métamodèle afin de caractériser les espaces bâtis au travers des ouvrages (Bouattour, 2005). Il s'agit de se focaliser sur la sémantique de l'ouvrage.

Sylvain Kubicki mena sa recherche autour de l'outil d'assistance à la collaboration en conception architecturale, aboutissant à un modèle de visualisation des vues métiers dans un contexte de collaboration (Kubicki, 2006). Il propose alors la notion d'artefact dans le métamodèle, recouvrant celle d'outil.

Anne Guerriero représenta la confiance dans l'activité collective, et plus particulièrement dans le contexte des chantiers de construction (Guerriero, 2009).

Daniel Zignale a apporté la notion de pratiques métiers dans le métamodèle, et a développé celles d'outils et d'usages de ces outils dans la conception d'un service d'aide à la coordination (Zignale, 2013). Ici aussi, nous reviendrons sur les notions de pratique et d'usage.

Ces différents travaux forment le socle théorique dans lequel vient s'inscrire ce travail de recherche. Nous allons donc considérer dans cette partie les notions et concepts développés dans ces précédentes recherches et qui forment ensemble le contexte de l'activité collective en conception/construction architecturale dans le but de nous les approprier et de nous positionner dans la continuité de cette modélisation. Nous nous intéresserons donc plus particulièrement à l'activité, à la tâche, à l'acteur, à l'artefact, à l'outil, à l'usage et enfin à la pratique.

1.1.1 L'activité

Le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL) nous propose plusieurs définitions pour l'activité : « Caractère de ce qui est actif [...] sous le rapport de son pouvoir ou de sa volonté d'agir ; exercice ou manifestation concrète de ce pouvoir » ou « Déploiement actuel du pouvoir ou de la volonté d'action efficace. » L'étymologie précise que cela vient du latin *activitas* dérivé de *activus* (actif, relatif à l'action), de *actus* (action) et de *agere* (agir). L'activité est donc un phénomène relevant de l'action, produite dans un but spécifique.

(Hanser, 2003) synthétise les travaux des psychologues Lev Vygotsky et Alexis Leontiev qui travaillèrent sur la place de l'activité humaine et donc de l'individu au sein de son environnement : la théorie de l'activité. Il s'agit d'une école de pensée qui se définit par l'analyse des processus d'apprentissage d'un individu et qui montre que ce dernier est lié à son environnement lors de la réalisation d'une activité. Le développement cognitif est alors social, ainsi « l'action d'un sujet ne peut être séparée du contexte dans lequel il évolue » (Wertsch, 1991).

(Leontiev, 1978) distingue trois concepts au sein de la théorie de l'activité : l'activité elle-même, l'action et l'opération :

- L'activité est un processus ayant pour finalité un objectif général, et qui se décompose en plusieurs étapes : les actions.
- Les actions, individuelles ou collectives, représentent plutôt la traduction dans le domaine physique de la représentation

mentale que peut être l'activité, et qui matérialisent la motivation d'atteindre l'objectif de l'activité.

- Les opérations, situées du point de vue de l'inconscient, constituent les mécanismes de réalisation des actions.

(Hanser, 2003) illustre ces trois notions de la manière suivante : l'activité de construire un abri se décompose en actions telles que l'assemblage de l'ossature, alors constituée d'opérations comme visser ou scier.

Il conclut cependant qu'il reste difficile de parfaitement différencier ces trois concepts et d'en poser les limites. Un projet architectural est un objectif à réaliser, et donc une activité, mais peut être divisé en sous-activités telles que la réduction des coûts ou l'obtention d'une certification thermique. Il en va de même pour les actions, qui peuvent être divisées en sous-actions. La distinction entre ces trois niveaux dépend de l'individu, de son contexte et de ses acquis d'apprentissage.

1.1.2 La tâche

Après avoir vu les notions d'activité, d'action et d'opération, et avoir conclu que leurs limites sont floues, nous allons maintenant nous intéresser à la notion de tâche. Le CNRTL nous propose cette définition : « Travail défini et limité, imposé par autrui ou par soi-même, à exécuter dans certaines conditions » ; avec pour étymologie le latin médiéval *taxa*, du latin classique *taxare*, « estimer ». La tâche est donc un travail à réaliser dont les contours sont préalablement définis.

La tâche se définit également comme une fraction d'activité attribuée à un acteur du projet (Zignale, 2013). Nous nous situons alors dans le champ de la coordination et de la répartition du travail dans un groupe de projet (Henri et al. 2001 ; Piquet, 2009). Cette attribution des tâches diffère selon le modèle de coordination² (Kvan, 2000 ; Henri & Lundgren-Cayrol, 2005 ; Piquet, 2009). Les tâches peuvent également être individuelles ou collectives.

² Les modèles de coordination décrivent comment se font la répartition du travail et la manière de le partager (cf. 2.3.2 Les modes de coordination).

Tandis que (Malone & Crowston, 1994) la définissent comme « la gestion des dépendances entre les activités », (Zignale, 2013) précise qu'une tâche amène vers « la production d'un livrable » dont la nature dépend également du modes de coordination. Nous obtiendrons un livrable s'apparentant plutôt à une version d'un projet, ou à une partie d'un projet.

Nous pouvons distinguer trois types de tâches, qu'elles s'inscrivent dans l'un ou l'autre des modes de coordination, en fonction de leur nature, et de ce qu'elles servent à accomplir (Hanser, 2003) :

- Les tâches de coordination qui s'occupent de la gestion des ressources, de la répartition et du personnel.
- Les tâches de production qui touchent à la génération et à la manipulation d'objet.
- Les tâches de synthèse qui permettent la validation.

1.1.3 L'acteur

La définition de l'acteur, d'après le CNRTL, est la suivante : « Celui qui joue un rôle important, qui prend une part active à une affaire ; protagoniste », du latin *actor*, celui qui agit. L'acteur constitue dans un projet individuel ou collectif une personne qui est impliquée dans ce projet, et qui par ses actions ou son comportement permet de faire avancer le projet vers un objectif. Il a des responsabilités, et *a fortiori* un rôle en fonction de sa position au sein du projet.

« Les rôles sont le point fondamental de tout modèle destiné à représenter l'activité de groupe, car le rôle matérialise la participation d'un acteur à une activité » (Hanser, 2003). Nous trouvons deux types de rôles : les rôles organisationnels, et les rôles opérationnels.

- Le rôle organisationnel possède une responsabilité vis-à-vis du projet, de son cadre contractuel et de sa coordination.
- Le rôle opérationnel est chargé des missions de production d'objets et d'informations permettant de faire avancer la conception puis la construction de projet.

Notons qu'un acteur peut être une personne physique ou une personne morale, représentant alors une organisation, et que dans le premier cas, ils peuvent être identifiés par un titre (architecte, ingénieur, maître d'œuvre, etc.). Enfin, un individu peut supporter plusieurs rôles, comme l'architecte qui sera à la fois concepteur et coordinateur.

1.1.4 Les artefacts, les outils et l'usage

Après avoir vu la notion d'acteur, il nous est essentiel de nous pencher sur la notion d'artefact. Lorsqu'un acteur est placé dans un contexte d'activité, il interagit avec des machines, des logiciels, des outils, des méthodes ou encore des lois ; ce sont des artefacts. Cette interaction est dite médiatisée par des artefacts (Kuuti, 1996 ; Engeström, 1987 ; Hanser, 2003).

Cependant, (Hanser, 2003) précise que dans un contexte de projet AEC, un artefact peut également être un livrable, alors médiateur de l'activité de conception, permettant de véhiculer le produit de l'activité de conception. (Zignale, 2013) de préciser : « le document "plan" est dans un premier lieu un produit de conception, puis est utilisé comme support lors de la construction de l'ouvrage ».

Par ailleurs, l'artefact a tout d'abord été assimilé à un outil, mais (Kubicki, 2006) propose de distinguer ces deux concepts :

- L'outil concerne l'objet physique ou numérique mettant en relation l'acteur et l'artefact.
- L'artefact, comme objet produit par l'outil et qui désigne un objet ou un document, réel ou virtuel.

Dans une activité de conception, nous dirons qu'un acteur a l'usage d'un outil lui permettant d'interagir avec des artefacts, qu'il fait alors évoluer au fur et à mesure.

1.1.5 La pratique

Afin de mieux cerner le contexte de l'acteur, nous allons aborder la notion de pratique, telles que conceptualisée par (Zignale, 2013). Le CNRTL donne la

définition suivante : « Activité qui vise à appliquer une théorie ou qui recherche des résultats concrets, positifs », « Manière habituelle d'agir, comportement habituel » du bas latin *practicus*, du grec *praktikos*.

D'après (Schmidt & Wagner, 2004), dans un projet architectural, le travail coopératif ne peut être défini comme un processus complet, car les acteurs agissent de façon « hautement distribuée à travers de nombreuses pratiques et artefacts ». « La bonne pratique » serait « la transformation collective – institutionnellement secondée – de l'activité en instrument d'une autre activité » (Clot, 2007). De continuer : « c'est un comportement adopté par une ou plusieurs personnes dans le but d'atteindre un objectif métier ».

(Zignale, 2013) distingue ensuite les pratiques génériques « que l'on retrouve dans tous les projets AEC » et les pratiques spécifiques « qui sont propres à un contexte de projet particulier ». Enfin, nous ferons également la différence entre les pratiques collectives et les pratiques individuelles.

La pratique est étroitement liée à la théorie de l'activité, dans le sens où les pratiques des acteurs sont comme des actions « individuelles ou collectives, mais toujours dirigées vers un but conscient », faisant le parallèle avec les actions structurées d'une activité. Une action étant donc très fortement « dépendante de l'activité » qu'elle constitue (Zignale, 2013).

Théorie de l'activité	Approche de Zignale	Exemple
L'activité	Le projet	Concevoir un abri
Les actions	Les pratiques	Modéliser le terrain
Les opérations	Les tâches	Importer un nuage de points

Tableau 1 : l'approche de Zignale par rapport aux concepts de la théorie de l'activité

1.1.6 Conclusion

Nous avons défini l'activité comme un processus ayant pour finalité un objectif général et pouvant se décomposer en plusieurs étapes. La tâche se définit comme une fraction d'activité donnée à un acteur dans le but d'atteindre l'objectif de l'activité. Cet acteur est une personne impliquée dans le projet,

ayant un ou plusieurs rôles particuliers et qui par ses actions, ses pratiques, fait avancer le projet vers l'objectif.

Nous avons dans cette partie fait apparaître les différentes notions liées à l'activité collective que mes prédécesseurs ont explicitées dans leurs travaux. L'activité est un processus ayant une finalité et qui se divise en succession d'étapes ; la tâche se place du côté de la coordination et amène à la production d'un livrable. L'acteur est un individu qui a un rôle et qui peut être amené à réaliser une tâche. L'artefact est l'objet avec lequel travaille l'acteur, médiatisé par l'outil et peut également être un livrable. Enfin, la pratique, individuelle ou collective, constitue ce que l'acteur fait de manière consciente pour faire avancer le projet dans un contexte métier.

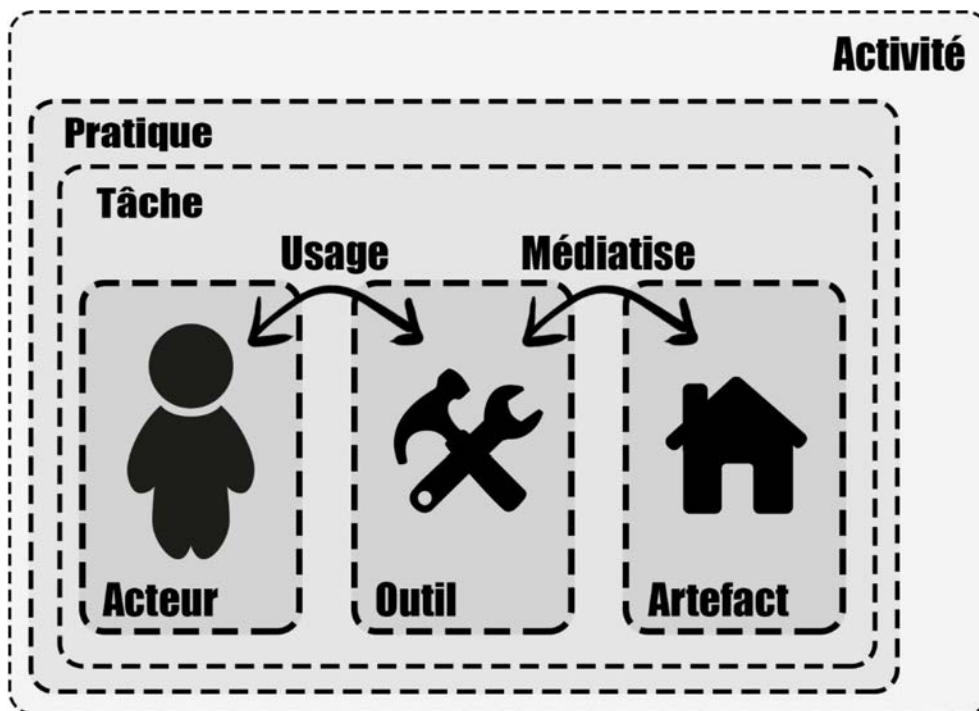


Figure 2 : synthèse des principales notions de l'activité collective

Il s'agit de nous inscrire dans ces notions, et de nous appuyer sur le métamodèle de l'activité collective pour guider notre approche. Maintenant que nous avons vu le cadre conceptuel dans lequel s'inscrit ce travail de thèse, nous allons nous intéresser à comment caractériser la conception collaborative dans le contexte professionnel français et quel peut être l'apport d'une démarche agile dans ces activités.

1.2 Le contexte socio-économique français de la conception architecturale

1.2.1 Généralités sur les particularités de la conception en architecture

Nous avons évoqué en introduction que le secteur du bâtiment était spécifique. Contrairement à la majorité des autres secteurs industriels, il s'agit de répondre à la commande d'un client pour un projet qui sera dans la grande majorité réalisé en un seul exemplaire. De plus, la conception d'un projet architectural est un processus long et complexe, impliquant à la fois des facteurs humains, techniques et artistiques (Bouchlaghem *et al.*, 2005).

Un projet architectural est par essence collaboratif, dans le sens où l'architecte est en constante liaison avec le maître d'ouvrage, mais également avec des bureaux d'études, des entreprises ou des collectivités. Plusieurs acteurs venant de divers corps de métiers forment une équipe de conception/construction non pérenne et interviennent alors à la réalisation d'un objet complexe par définition.

De plus, la conception en architecture n'a jamais cessé d'évoluer, changeant au gré des évolutions techniques, économiques et sociétales. De nouveaux outils apparaissent, ainsi que de nouveaux matériaux, de nouveaux enjeux tels que l'environnement, ou encore de nouvelles réglementations. La volonté et la nécessité de ce travail sont de réussir à assister cette conception architecturale tandis que les outils numériques progressent.

Nous avons donc affaire à une conception relevant de projets innovants (très créatifs en phase amont), de projets changeants selon l'avancement, et de projets complexes (acteurs différents, planification ingérable), et dont le cadre technique, esthétique et législatif est en perpétuelle évolution ; et où la gestion de projet n'a que peu évolué durant ces dernières années. Aujourd'hui, c'est l'arrivée de la technologie BIM qui complexifie encore plus cette conception architecturale.

1.2.2 La transition numérique

L'arrivée de la technologie BIM dans un environnement aussi complexe que celui de la conception architecturale collaborative soulève dès lors de nombreuses questions et positionne donc son adoption comme l'un des enjeux majeurs du moment. Le rapport Mission Numérique Bâtiment (Delcambre, 2014) liste les enjeux et les défis à relever par le programme lancé en 2014 par le gouvernement intitulé « Transition Numérique ». Il s'agit de permettre aux TPE et aux PME de s'approprier les nouveaux usages et pratiques numériques. La technologie BIM n'est en effet pas en soi une évolution des techniques de mise en œuvre, ou à proprement parler une nouvelle manière de modéliser, mais plutôt une nouvelle manière de renseigner et de partager de l'information, qui amène alors de nouveaux outils, de nouveaux usages et donc de nouvelles pratiques. Dès lors, il est tout à fait compréhensible que l'arrivée d'une telle technologie nécessite de nouvelles pratiques de travail.

Le BIM est par définition une technologie. Le CNRTL définit la technologie par « Science des techniques, étude systématique des procédés, des méthodes, des instruments ou des outils propres à un ou plusieurs domaine(s) technique(s), art(s) ou métier(s) ». C'est également l'ensemble des « savoirs et des pratiques dans un certain domaine technique », du grec *tekhnologia* ou *technologia* (τεχνολογία) *téchnē* (τέχνη), « art », « compétence », ou « artisanat » et *-logía* (-λογία), l'étude d'une branche de la connaissance, d'une discipline. Une technologie est la constitution (1) d'un outil ou d'une technique, (2) d'un processus, ainsi que (3) d'une méthode (Liddell *et al.*, 1996). Si la transition numérique en conception se veut être une réussite, il faut dès lors travailler à l'intégration de l'outil, du processus, mais également d'une méthode de gestion du travail et de pratiques associées.

1.2.3 L'intégration du BIM perturbe la conception

Le plus grand défi auquel cette intégration fait face est le manque de coordination et de communication entre les personnes, les outils, les produits livrables et les besoins en informations (Ruikar *et al.*, 2006 ; Succar, 2009 ; Succar *et al.*, 2012).

La technologie BIM augmente le volume de travail en amont (Kensek, 2014), modifie les pratiques numériques et collaboratives et génère des malentendus, ce qui crée un climat de méfiance entre les acteurs d'un projet et rigidifie la coordination (Sakikhales & Stravoravdis, 2017).

Si la technologie BIM décale la quantité de travail en amont, cela est naturellement suivi par un déplacement de la communication entre les acteurs. De plus, nouvelle technologie signifie nouveaux outils, donc nouveaux usages, et donc nouvelles pratiques de projet BIM (Zignale *et al.*, 2011). La technologie BIM n'est accompagnée d'aucune solution de gestion de projet. Or il ne s'agit pas d'un simple transfert vers l'amont, mais d'un transfert des efforts, accompagnés de nouvelles pratiques individuelles numériques. On doit donc accompagner ces nouvelles pratiques de nouvelles méthodes de gestion de projet, et donc de nouvelles pratiques collectives.

Lors d'entretiens avec des architectes et pendant nos cours de projet, nous avons remarqué que divers problèmes de communication et de coordination de groupe dans un environnement de projet BIM pouvaient apparaître : les acteurs éprouvent des difficultés à partager les résultats de leur idéation, tandis que l'utilisation de nouveaux outils BIM crée de nouvelles tâches que les acteurs ont du mal à identifier, quantifier, et à projeter sur des outils numériques (Gless *et al.*, 2017).

L'intégration de la technologie BIM est donc vectrice de perturbations lors des activités de conception, ce qui n'est pas sans créer de la méfiance chez les architectes. Nous allons voir dans les prochaines parties que la technologie BIM représente une opportunité pour les agences d'architecture, mais également un risque.

1.3 Les agences en France

Le contexte des agences d'architecture en France est particulier. Plusieurs facteurs expliquent en partie la situation actuelle dans laquelle les architectes ne se sentent pas prêts à pleinement s'investir dans la transition numérique accélérée par l'apparition de la technologie BIM.

1.3.1 Des agences de petite taille

S'il existe de grands noms dans l'architecture, possédant de grandes agences, aux commandes de grands projets partout dans le monde, que certains appellent sarcastiquement des « starchitectes », la majorité de la profession se retrouve plutôt dans de nombreuses petites structures.

Les chiffres du rapport Archigraphie 2018 du Conseil National de l'Ordre des Architectes pour 2016 (CNOA, 2018) montrent que la très grande majorité des architectes sont salariés dans de petites agences ou travaillent en monoarchitecte. Nous trouvons 93,4 % d'agences comptant 9 personnes ou moins, et 81,5 % d'agences comptant 4 personnes ou moins, au 31 décembre 2016³ (cf. Fig. 3).

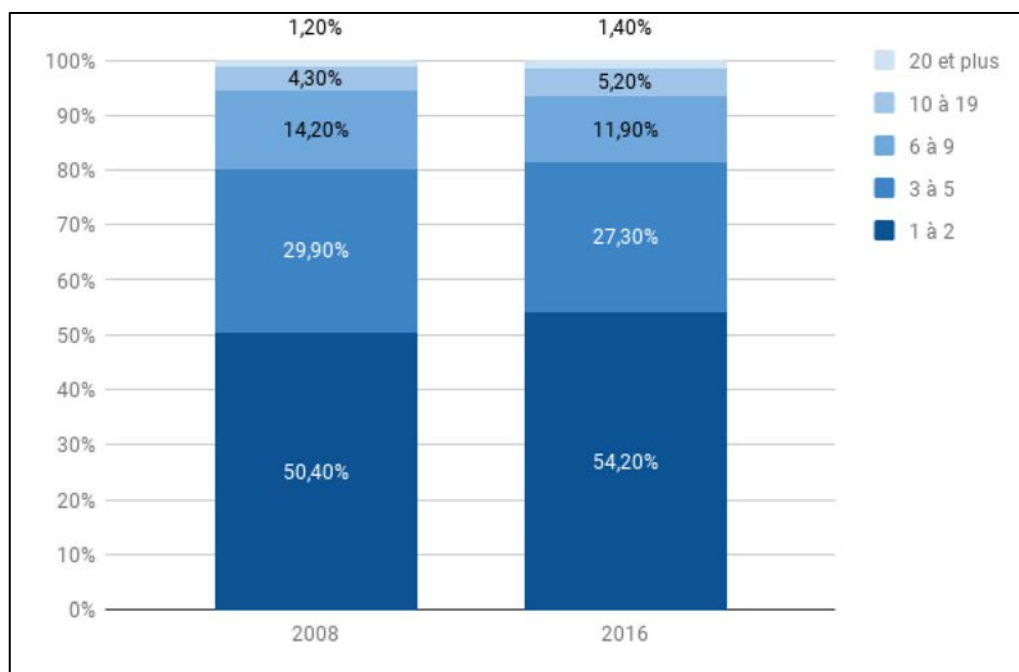


Figure 3 : évolution du nombre de salariés dans les agences d'architecture

1.3.2 Un investissement important

Nous avons donc un très grand nombre de « petites agences » pour lesquelles la technologie BIM représente dans l'immédiateté un investissement important. Pour les trois plus grands éditeurs de logiciels BIM dédiés à

³ Selon Actalians (Organisme Paritaire Collecteur Agréé des Professions Libérales, des établissements de l'Hospitalisation privée et de l'Enseignement privé).

l'architecture, nous trouvons en moyenne les prix suivants : entre 5990 et 6990 euros HT pour une licence d'Archicad, entre 6990 et 7990 euros HT pour une licence Revit⁴, et entre 5990 et 6990 euros HT pour une licence Allplan. Ces prix ne tiennent pas compte des éventuels frais de formation, de maintenance, ni de l'investissement matériel pour acquérir des ordinateurs permettant l'exploitation correcte des logiciels BIM. Cela engendre donc des coûts pour les agences, un socle d'investissement incompressible plus élevé, qui peut mettre en danger l'agence.

Nous observons donc une certaine inertie de la part des architectes envers la technologie BIM et son adoption. Le passage au BIM représente un risque non négligeable dans un contexte socio-économique qui favorise un faible niveau d'investissement à moyen et long terme. La technologie BIM apporte également son lot de questions et de défis à relever, tant au niveau de la technique que de la gestion de projet.

1.4 La formation des diplômés

Nous remarquons également que parmi les formations proposées par les vingt écoles publiques d'architecture, rares sont celles qui offrent un enseignement spécifiquement destiné à la technologie BIM (cf. Annexe 1).

Parmi les 20 Écoles Nationales Supérieures d'Architecture françaises :

	BIM dans le titre ou la description	Notion d'échange d'informations	Formation ou spécialité BIM	Pas de mention
Bordeaux	1			
Bretagne	1			
Clermont-Ferrand				1
Grenoble				1
Lille				1
Lyon	1			
Marne-la-Vallée		1		

⁴ Revit propose depuis début 2018 un abonnement annuel de 2930 euros HT à la place d'une licence, à accompagner d'un coût de frais de maintenance de 1000 euros HT par an (<https://www.lemoniteur.fr/article/bim-pourquoi-des-architectes-lancent-une-petition-contre-un-editeur-de-logiciels-exclusif.1020364>).

Marseille				1
Montpellier			1	1
Nancy	1		1	
Nantes	1			
Normandie				1
Paris Belleville	1			
Paris La Villette	1			
Paris Malaquais				1
Paris Val de Seine	1			
Saint-Étienne	1			
Strasbourg	1			
Toulouse	1			
Versailles			1	1
Total	11	1	3	8

Tableau 2 : les formations proposées en 2018-2019 dans les 20 écoles d'architecture de France

Nous constatons que la moitié des écoles d'architecture proposent des enseignements dont le titre ou la description comprend le mot BIM. Marne-la-Vallée propose un enseignement faisant mention aux échanges d'informations numériques, tandis que trois écoles proposent une formation BIM destinée aux professionnels ou un Master spécialisé. Dans les faits, rares sont les écoles à mettre en avant la technologie BIM dans leurs enseignements, et s'il y est fait mention, il s'agit plutôt d'enseignements destinés à l'apprentissage des outils de modélisation BIM. On y apprend donc théoriquement à correctement utiliser les logiciels de modélisation, à maîtriser l'outil, mais rarement à travailler en collaboration. L'usage de nouveaux outils est donc très peu encadré par l'apprentissage de nouvelles pratiques. Il faut donc des méthodes adaptées aux nouvelles pratiques numériques.

1.5 Une méconnaissance de la technologie BIM

De nombreux facteurs peuvent présenter des risques pour une agence d'architecture lors de l'implémentation de la technologie BIM (Azhar Salman, 2011 ; Luciani *et al.*, 2012 ; Olawumi *et al.*, 2018) ou lors de ses premières utilisations (Hajian & Becerik-Gerber, 2010).

Au-delà de la spécificité des agences d'architecture en France, et du global manque de formation à propos des pratiques BIM, nous pouvons nous interroger quant à la méfiance, voire la défiance qu'ont les architectes vis-à-vis de la technologie BIM.

Il n'est pas rare d'entendre des architectes dire qu'ils ne veulent pas passer au BIM, et ce pour plusieurs raisons. Nous avons réalisé des entretiens avec des architectes, libéraux, chefs d'agence, diplômés d'État, ou encore étudiants. Nous avons pu identifier sept raisons qui peuvent expliquer la méfiance vis-à-vis de la technologie BIM :

- Nous trouvons d'abord la résistance à l'utilisation de l'ordinateur, parfois chez des personnes qui ont déjà accepté d'utiliser la DAO, mais qui refusent le passage à la CAO et encore plus au BIM, trouvant l'utilisation ordinateur « trop froid, pas assez sensible ».
- Ensuite vient la méconnaissance du BIM. Ces personnes ont peur des changements négatifs que pourrait apporter le BIM. Cela concerne par exemple le fait de ne pas savoir ce que peut apporter la technologie en matière de rapidité et de facilité de modélisation, ou encore de ne pas savoir en quoi consiste la réalisation d'une « tâche BIM », ou des nouvelles tâches engendrées par le BIM.
- Nous trouvons ensuite la peur de la perte de la vision globale que peut avoir un architecte sur un projet. L'idée est que si d'autres acteurs sont impliqués plus tôt dans le processus de création, et *a fortiori* autour d'un fichier numérique partagé, l'architecte perdra son pouvoir de coordinateur.
- Viennent logiquement ensuite les questions de responsabilité quant à ce qui est modélisé dans le fichier numérique, en cas de litige, ou d'erreur de conception.
- Des questionnements quant à l'implémentation, et à la perte de temps provoquée, voire de l'échec de l'implémentation.

- Viennent ensuite les craintes quant à l'exploitation des outils BIM, de la formation ou du recrutement de collaborateurs maîtrisant ces outils et donc du coût en ressources humaines.
- Le coût de l'investissement en matériel.

Nous remarquons que, excepté le premier point concernant la nature même de la représentation numérique d'un projet et de la sensation de ne plus faire de l'architecture si l'on utilise le numérique, les architectes craignent en particulier la simple arrivée du BIM et les changements que cela peut provoquer, tant au niveau de leur manière de concevoir du projet, qu'au niveau de la coordination qu'ils devront assurer en interne et en externe.

Ces craintes sont fondées non seulement sur le fait qu'un changement aussi disruptif que l'arrivée de la technologie BIM déclenche des phénomènes classiques de peur ou de résistance au changement, mais également sur le fait que si la conception en architecture évolue sans cesse, la manière dont on collabore ne change pas. La technique évolue, mais pas la gestion de projet.

1.6 Conclusion du chapitre

Nous avons tout d'abord rappelé dans ce chapitre les différentes notions que nous allons utiliser tout au long de ce mémoire : l'activité, la tâche, l'acteur, l'artefact, l'outil, l'usage et la pratique. Le rappel de ces notions nous permet de dessiner le cadre conceptuel de la conception collaborative en architecture et d'y inscrire ce travail de recherche.

Nous avons ensuite vu que la transition numérique BIM représente un changement plus conséquent pour les architectes que celui apporté par la DAO et la CAO. Il n'est par ailleurs souvent vu que par le prisme technologique, alors que l'apparition d'une technologie comme le BIM doit être supportée à la fois par certes des outils et des processus, mais également par des pratiques et des méthodes.

Nous avons ensuite abordé le contexte général des agences d'architecture en France. Ces dernières sont majoritairement de petites tailles, ce qui ne favorise pas l'investissement. Le coût des logiciels BIM est également

prohibitif, entre environ 5000 et 7000 euros HT par licence, en plus du coût des ordinateurs. En résulte de la part des architectes un climat de méfiance envers les changements concernant le numérique et plus particulièrement la technologie BIM.

Nous nous sommes ensuite posé la question de la formation BIM des architectes en France. La moitié des écoles d'architecture en font mention dans leur programme, et celles qui le font ne proposent souvent que des cours sur la manière dont on utilise les logiciels et pas sur la manière d'échanger entre concepteurs.

Enfin, nous avons vu que les architectes formulent de nombreuses craintes autour de la technologie BIM, pour des questions de formation, de coûts, de responsabilité ou encore de perte de vision globale de l'architecte. Ces craintes sont principalement orientées vers des questions concernant la coordination et la communication au sein des agences d'architecture.

Notre recherche prend place dans le domaine de la conception architecturale en France, où la transition numérique est en cours, la technologie BIM n'étant toujours pas correctement implantée. Le cadre conceptuel de cette recherche et le contexte socio-économique de l'architecture en France nous orientent donc vers une approche progressive pour permettre la transition numérique. Nous nous dirigeons vers des pratiques permettant aux différents acteurs d'un projet d'améliorer la communication et la coordination au sein d'un groupe de conception dans l'objectif d'une appropriation de la technologie BIM.

Chapitre 2 : Conception architecturale et activité collective

Nous allons dans ce deuxième chapitre préciser les caractéristiques de la conception architecturale. La conception architecturale est une conception particulière, relevant notamment du domaine de l'activité collective en raison de sa nature multiacteurs. Nous développerons la notion de collaboration dans pratique du projet. Il est important, dans le contexte de notre recherche sur l'appropriation de la technologie BIM, d'identifier les notions qui caractérisent le travail en groupe dédié à la conception.

Nous nous intéresserons dans un premier temps à apporter une définition à la conception, avant de nous pencher sur les notions d'objet, de pensée graphique par le concept et d'itération qui caractérisent notamment la conception architecturale. Nous verrons ensuite les différentes activités cognitives intervenant dans la conception et plus particulièrement dans la conception collaborative. Enfin, nous définirons les modes de coordination au sein d'un groupe puis l'individu évoluant au sein de ce groupe, possédant besoins, motivations ou encore savoirs uniques et constituant le premier maillon d'une conception collaborative en architecture.

2.1 La conception architecturale

La nature itérative du processus de conception architecturale et les interrelations entre les acteurs d'un projet rendent la gestion du processus BIM difficile. Le manque de méthodes de gestion de projet se fait ressentir. La conception architecturale est un processus complexe, non linéaire et itératif qui exige une collaboration efficace entre les équipes multidisciplinaires dès les premières étapes afin d'obtenir des résultats qualitatifs (Bouchlaghem *et al.*, 2005).

Nous avons évoqué dans le premier chapitre que la conception architecturale évoluait dans un cadre particulier. Elle relève de projets innovants, changeants et complexes dont le cadre est en perpétuelle évolution. Nous allons dans ce chapitre préciser les caractéristiques de ce contexte, en général et en architecture, puis définir quelles sont les caractéristiques et les spécificités de la conception, puis de la conception architecturale.

2.1.1 Définition de la conception

La définition de la conception par le CNRTL est la suivante : « Action d'élaborer quelque chose dans son esprit, de le concevoir ; du latin *conceptio*, -*onis*, action de concevoir ». Il s'agit donc de l'étape préparatoire à la réalisation d'un objet, qu'il soit réel ou virtuel.

(Newell & Simon, 1972) sont parmi les premiers à proposer une définition de la conception. Ils proposent « d'assimiler la conception à une résolution de problèmes où l'espace des solutions est très vaste et où il n'existe pas d'algorithme permettant d'énumérer l'ensemble des solutions possibles ». Ils précisent que la démarche est alors heuristique. Ce sont les critères que se sont fixés les concepteurs ainsi que la qualité du processus de création qui déterminent si la solution proposée est satisfaisante. La conception peut également être l'optimisation d'objectifs exprimés avec des contraintes contradictoires (Pahl & Beitz, 1988).

(Halin, 2004) précise que toute forme de conception répond à un ou plusieurs besoins identifiés d'un utilisateur, que la solution soit un objet, un

bâtiment, un service, ou encore un logiciel. Il précise le cadre dans lequel évolue la conception (cf. Fig. 4) :

- Un objectif à atteindre, représenté dans la plupart des cas par un objet à concevoir, plus ou moins précis dans sa définition initiale et dans le rôle qu'il doit jouer une fois réalisé.
- Une transformation progressive de l'objet en conception rythmée par un ensemble d'étapes, non forcément linéaire, que l'on nomme processus.
- Un ensemble d'activités réalisées à l'intérieur de ce processus : des activités de création, de recherche d'idées, de recherche d'informations, de modélisation, de représentation, de transformation, de sélection, de simulation, de calcul, de validation, etc.
- Un ensemble de représentations de l'objet relatant son évolution, décrivant ses différents états.
- Un ensemble d'acteurs, si l'on considère la conception comme une activité collective.

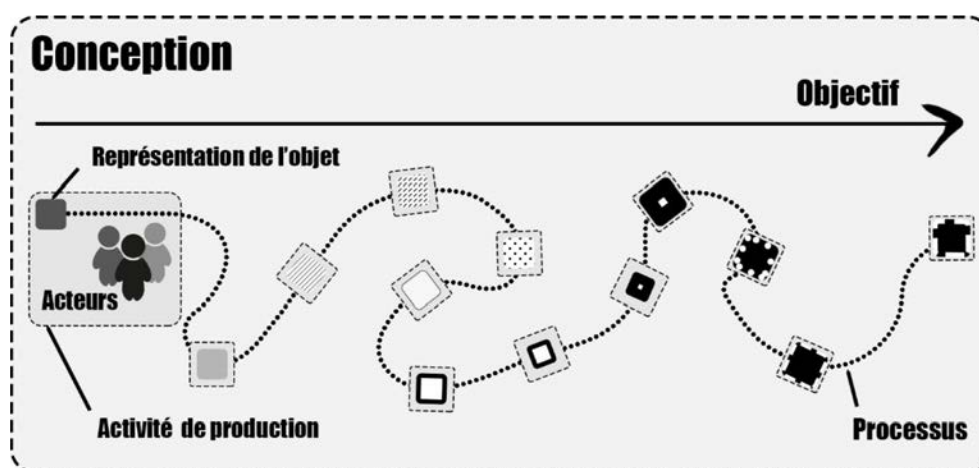


Figure 4 : interprétation schématique de la conception selon Halin

La figure 4 montre que la conception consiste l'évolution des représentations de l'objet à travers des activités de production multi acteurs en suivant un processus non linéaire dirigé vers un objectif.

(Steele, 2000) a reconnu que « la principale difficulté à tenter de décrire rationnellement le processus de conception réside dans la nature même de cette étape intuitive, créative, novatrice, heuristique, cognitive et inspirée de la conception ».

Ces caractéristiques augmentent la difficulté de rendre explicite la connaissance tacite des professionnels de la conception. Les éléments de créativité et de traitement cognitif de l'information font de la conception la partie la plus difficile à automatiser du processus de conception (Newsome & Spillers, 1989). Il conclut qu'il n'existe pas de terme universel pour désigner la conception. Néanmoins, « un processus qui permet la transparence des flux de travail collaboratifs peut faciliter l'élaboration d'une définition commune entre les acteurs de la conception afin de réduire l'incertitude » (Zanni, 2017).

La conception a donc pour objectif de proposer une solution pour répondre à un besoin particulier en répondant aux problèmes soulevés par le contexte de ce besoin. C'est une activité contextualisée, par essence collective, non linéaire et non prévisible qui produit, sur la base des connaissances et de l'expérience des concepteurs, un « objet », qui vise à satisfaire l'ensemble explicite des exigences du client ou de l'utilisateur final.

2.1.2 L'objet

L'objet final, apporté comme la solution satisfaisant le maximum d'exigences du client et de l'utilisateur final, passe par une série d'états intermédiaires au fur et à mesure de l'avancement du raisonnement de conception (Jeantet *et al.*, 1996 ; Gregori *et al.*, 1997). Ces états intermédiaires serviront de support d'échanges et de négociations avec le client.

Les objets intermédiaires étant par définition des parties de la proposition finale des concepteurs, ils sont souvent de la forme de schémas, de textes ou d'autres modes d'expressions. Ils sont appelés représentations, et nécessitent donc que les concepteurs adoptent un langage commun afin d'avoir une communication efficace.

2.1.3 La pensée graphique

Les solutions proposées par les architectes et leurs collaborateurs sont à la fois des solutions spatiales, techniques et esthétiques. Les objets intermédiaires sont principalement des plans, des coupes, des détails, des maquettes et des perspectives, et passent par de fréquents allers-retours de conception, par de nombreuses remises en question. (Laseau, 2000) a décrit le processus de réflexion sur la conception comme une « pensée graphique », qui est une tradition très forte pour communiquer en architecture (Zanni, 2017).

La conception architecturale utilise beaucoup la notion de concept, de parti pris, ou d'intention, ayant un rôle central dans l'activité cognitive de l'architecte servant à la fois de contrainte et de moteur à la conception (Safin, 2011). Il s'agit d'une notion qui oriente le raisonnement des concepteurs (Heylighen & Martin, 2004), et structure l'activité cognitive.

2.1.4 L'analogie par itérations

L'avancement du raisonnement de conception passe par analogies (Bonnardel & Rech, 1998 ; Conan, 2000 ; Leclercq & Heylighen, 2002 ; Borillo & Goulette, 2004). L'objet intermédiaire est consolidé par les choix des concepteurs, alimenté par leurs expériences, leurs connaissances et leurs références. Ce raisonnement par analogie « peut être chaotique, libre, semé d'embûches, planifié, rationalisé, incrémental, effectué seul ou en équipe, couronné d'un succès ou stoppé par un échec » (Halin, 2004).

(Simon, 2004) a initié l'étude de la conception et a montré qu'elle consistait en « une recherche heuristique d'une solution non optimale ». Il considère également la phase préliminaire de conception comme l'étape la plus intéressante de la conception, car elle présente des problèmes encore mal définis. L'étape de la conception consiste plus à trouver des problèmes et moins à les résoudre (Sebastian, 2007). Le concepteur imagine une solution adaptée aux besoins, puis l'encadre et la recadre de nouveau de manière itérative (Schon, 1984 ; Schon & DeSanctis, 1986). (Cornick, 1991) a décrit la nature itérative de la conception comme étant constituée des possibilités suivantes : analyse, synthèse, évaluation et itération. La nature itérative de la conception

architecturale s'explique par le besoin de faire des essais et des erreurs pour avancer, cumulé au fait que les exigences et le contexte évoluent pendant la conception (Pahl & Beitz, 1988). Il faut expérimenter jusqu'à parvenir à une solution satisfaisante (Goldschmidt, 2014).

La conception architecturale repose sur un processus de réflexion telle une « pensée graphique », où la notion de concept permet de cadrer et de faire avancer le raisonnement, par analogies successives, tout en structurant l'activité cognitive et est par essence itérative et expérimentale.

2.2 Les activités cognitives de la conception

Après avoir vu les spécificités de la conception en architecture, nous allons désormais nous intéresser aux activités cognitives prenant place lors de l'activité de conception, qui se divisent en trois classes et qui sont mobilisées ensemble. Nous comptons les activités cognitives centrées sur la tâche de conception, celles centrées sur le processus, et celles centrées sur les interactions (Visser, 2001 ; Stempfle & Badke-Schaub, 2002 ; Détienne *et al.*, 2004).

2.2.1 Les activités centrées sur la tâche

Les activités cognitives orientées sur les tâches de conception sont au nombre de trois : l'idéation, la génération, et l'évaluation (cf. Figure 5). (Newell & Simon, 1972) décrivaient déjà le processus de conception comme possédant trois phases : la phase d'intelligence, la phase de conception et la phase de sélection. Ces activités peuvent être individuelles ou collectives, mais (Safin, 2011) précise que dans ce dernier cas, « un processus d'argumentation » est mobilisé.

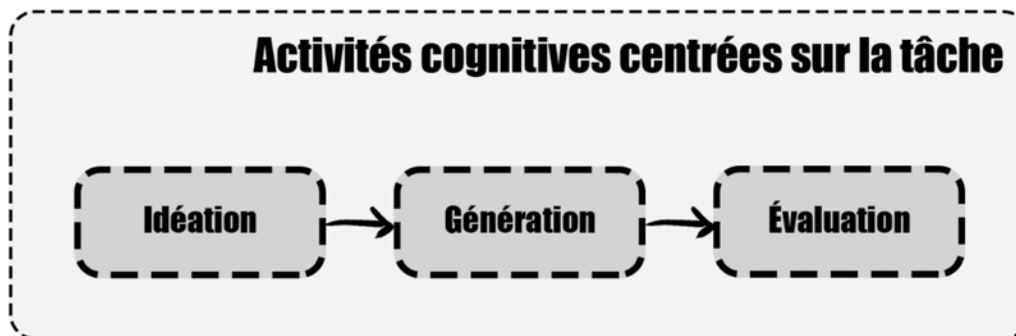


Figure 5 : avancement des activités cognitives centrées sur la tâche selon le temps

(Visser, 2001) note que l'organisation des activités centrées sur la tâche est plus complexe à mettre en place lors d'une conception collaborative à cause de la grande part de spontanéité s'y trouvant. Nombre d'actions se déroulent sans requêtes des intervenants (évaluations de solutions, épisodes argumentatifs, contre-propositions, etc.) ou consistent en de nombreuses actions au caractère implicite. (Safin, 2011) précise que l'activité de conception collaborative arbore « un caractère opportuniste ».

2.2.1.1 La structuration ou l'idéation

L'idéation se définit comme la faculté de structurer une idée. On parle également de structuration du problème. Il s'agit ici d'analyser, de décomposer puis de restructurer un problème de conception pour y apporter des solutions. Lors d'un travail collaboratif, les activités d'idéation individuelle et collaborative sont parallèles, se déroulant en même temps.

Cependant, une activité d'idéation collaborative est influencée par le contexte de groupe (Stempfle & Badke-Schaub, 2002). Le travail collaboratif permet d'échanger des idées, de les confronter aux autres acteurs, ce qui améliore la réflexivité, élément moteur d'une conception efficace (Schon, 1984). Cela permet également au groupe de se construire un contexte commun, permettant de réduire au fur et à mesure les conflits d'idées et les remises en cause.

2.2.1.2 La génération

La génération consiste à produire des solutions à partir de la précédente phase d'idéation. Chaque acteur de la collaboration procède à l'exposition de

ses idées aux autres acteurs. S'en suit alors une phase d'argumentations d'un côté puis de l'autre en vue de justifier ses propositions ou de créer des contre-propositions.

2.2.1.3 L'évaluation

Enfin, l'évaluation consiste à apporter un avis à une solution générée. Cet avis repose sur des critères positifs ou négatifs, et est souvent spontané. Un avis négatif ne relève en revanche pas du refus, mais plutôt de la contre-proposition. Il s'agit d'une phase de critique (Darses & Falzon, 1996 ; Oh *et al.*, 2004) permettant de diversifier les points de vue.

(Martin *et al.*, 2001) listent trois modes d'évaluation : analytique, comparative et analogique. Ils ajoutent ensuite trois modes hybrides comme trois combinaisons des trois premiers. (Safin, 2011) précise qu'en contexte de conception collaborative, l'activité d'évaluation permet aux observateurs de mieux détecter les erreurs que les concepteurs. Il conclut que « la critique est vectrice de transfert de connaissances ».

2.2.2 Les activités centrées sur le processus

Les activités cognitives orientées sur le processus sont des activités se concentrant sur la synchronisation entre les acteurs en vue de gérer l'interdépendance des tâches et de créer un contexte commun. Nous trouvons deux types de synchronisation : la synchronisation tempo opératoire, et la synchronisation cognitive.

2.2.2.1 La synchronisation tempo opératoire

La synchronisation tempo opératoire consiste à gérer l'interdépendance des tâches (Détienne, 2006) en assurant leur répartition entre les concepteurs et en gérant la dimension temporelle. Deux approches permettent d'assurer cette synchronisation : l'approche sociotechnique et l'approche communicationnelle.

- L'approche sociotechnique consiste à découper le problème en tâches indépendantes ou à gérer de manière très stricte les tâches dans un flux de production.
- L'approche communicationnelle consiste à compléter la gestion des interdépendances en établissant une coordination sur la base de communication informelle.

La gestion de ces deux approches est néanmoins rendue difficile à cause des caractéristiques mêmes de la conception et de la communication : organisation opportuniste, évolution du problème et des objectifs pour la première approche, manque de volonté de communiquer, difficultés d'établir le contact et difficultés dans les échanges informations pour la deuxième approche (Détienne, 2006 ; Safin, 2011).

Néanmoins, (Schmidt & Wagner, 2004 ; Safin, 2011) estiment que l'utilisation d'artefacts et de représentations externes permettent de pallier les problèmes rencontrés dans ces deux approches. Un support de type planning partagé permet par exemple de positionner les concepteurs face aux échéances des tâches à accomplir et de se répartir sur ces tâches à accomplir.

2.2.2.2 La synchronisation cognitive

La synchronisation cognitive consiste à coordonner les différents points de vue des acteurs tout en construisant une vision commune de la conception. En échangeant des connaissances à la fois générales et techniques, ces connaissances deviennent mutuelles, et les acteurs participent à la construction d'un référentiel commun (Darses & Falzon, 1996). Cette synchronisation dépend de la quantité de connaissances partagées (Safin, 2011).

Deux phénomènes spécifiques à cette classe d'activité se côtoient lors de la synchronisation cognitive : l'*awareness* et le *grounding*.

- L'*awareness* permet aux acteurs d'avoir une conscience mutuelle et une vision globale du projet.
- Le *grounding* coordonne les points de vue des acteurs permettant la création d'un espace de références, favorisant l'intelligence collective et l'intercompréhension.

L'*awarness*, ou conscience mutuelle consiste en la construction d'un contexte commun où les acteurs sont conscients de la situation, des actions effectuées sur l'objet de la conception, des tâches à accomplir par chacun, et de leurs compétences respectives. Cela passe par la communication directe et indirecte tout en évitant les phénomènes d'interprétation (Busby, 2001).

Nous trouvons trois formes de conscience mutuelle : (1) *le social awareness*, (2) *l'action awareness* et (3) *l'activity awareness* (Carroll *et al.*, 2003). (Safin, 2011) les résume respectivement ainsi : « qui est là ? », « que se passe-t-il ? », et « comment les choses se passent-elles ? ». Dans la première forme de conscience mutuelle, il s'agit donc de savoir quels sont les acteurs impliqués, et quelles sont leurs disponibilités. Dans la deuxième, il s'agit de savoir les actions de chacun ainsi que leur contribution sur l'objet de conception. Enfin, dans la dernière, plus globale, il s'agit de savoir les rôles, les compréhensions et les plans des acteurs, ainsi que la distribution des tâches et leur avancement.

Le *grounding* quant à lui, consiste en la gestion et l'intégration des points de vue des acteurs en vue de construire une vision commune. Cette vision commune permet l'installation d'une intercompréhension, nécessaire à la résolution de problèmes communs. Cela passe par l'explicitation des connaissances propres à chacun, puis de leur appropriation (Beers *et al.*, 2006). Le *grounding* concerne à la fois le problème, mais également « les procédures et représentations ainsi que la connaissance que les partenaires ont les uns des autres » (Safin, 2011).

Nous trouvons plusieurs types de points de vue : (1) le point de vue partagé, (2) le point de vue spécifique et (3) le point de vue intégré. Le premier regroupe les contraintes communes à l'ensemble des acteurs, le second les contraintes propres à chaque discipline, et le dernier les contraintes spécifiques à des disciplines différentes (Martin *et al.*, 2001). L'intégration de ces points de vue dans la vision commune se fait par négociations et externalisation des connaissances, facilitant la génération et l'évaluation de solutions. Un processus structuré peut faciliter l'optimisation efficace en définissant la portée

et le calendrier des décisions critiques pour un meilleur alignement, une meilleure conscience de groupe des équipes (Zanni, 2017).

2.2.3 Les activités centrées sur la gestion de l'interaction

Les activités cognitives orientées sur la gestion de l'interaction sont des activités se concentrant principalement sur l'organisation de la communication. La communication est un constituant essentiel pour la collaboration. La première est une médiatrice de la seconde, tandis que la seconde est nécessaire lors d'un dialogue, en permettant son bon fonctionnement (Falzon, 1994).

La communication s'inscrit dans un contexte dont les caractéristiques varient (Maher *et al.*, 2011). Nous trouvons tout d'abord son mode (synchrone ou asynchrone), son type (direct ou indirect), son contenu (sur le problème ou le processus), sa structure (sur quel réseau), sa localisation (localisée, alocalisée ou délocalisée) et enfin son média (verbale, geste, dessin ou encore regard).

Par ailleurs, la communication en conception possède des caractéristiques propres. Tout d'abord, elle peut être non intentionnelle. Des informations peuvent transiter d'une personne à l'autre sans que cela soit voulu, ou tout simplement être interceptées : « il est impossible de ne pas communiquer » (Watzlawick *et al.*, 1979). Elles peuvent également servir plusieurs objectifs en même temps (transmettre une information et rassurer un partenaire) (Falzon, 1994). L'interaction graphique peut également jouer ce rôle dans notre domaine (Détienne *et al.*, 2006 ; Détienne & Visser, 2006). Enfin, (Safin, 2011) écrit que la communication « est d'une importance particulière dans les situations de conception collective, car celles-ci sont régies par des mécanismes d'argumentation, eux-mêmes portés par le langage ».

La communication est un axe très important de travail et d'amélioration. Si la communication est une base de la collaboration, améliorer la première améliorera la seconde.

2.2.4 Les espaces fonctionnels

Ces trois activités cognitives s'inscrivent dans des « espaces fonctionnels » (Ellis & Wainer, 1994) aussi appelés « trèfle fonctionnel » (Salber *et al.*, 1995 ; Piquet, 2009) :

- L'espace de communication qui supporte les activités d'échanges d'informations entre les acteurs de la conception.
- L'espace de coordination qui supporte les activités de répartition des tâches et de planification.
- L'espace de production qui supporte les activités de génération et de modification des objets et des solutions proposées par les concepteurs.

Ces espaces sont couverts par les différentes activités, pratiques, usages ou encore outils que les concepteurs mènent ou utilisent tout au long de la conception. Les activités cognitives centrées sur la tâche s'inscrivent dans l'espace de production, les activités cognitives centrées sur le processus dans celui de la coordination, et les activités cognitives centrées sur la gestion de l'interaction dans celui de la communication. Les espaces de communication et de coordination sont par nature collaboratifs et supportent la conception collective.

2.3 La conception collective et les modes de coordination

2.3.1 La conception collective

Lorsque des individus partagent un objectif commun, ils se mettent à travailler en groupe pour y aboutir. La conception elle-même est souvent caractérisée par son essence collective. « Un projet n'est le propre d'aucun métier, [...] il est le fruit de la rencontre d'individus divers et de circonstances variées, dont il importe que les futurs architectes apprennent à mieux comprendre les processus et les ressorts s'ils veulent construire les formes qu'ils dessinent » (Cheaneau, 2018). De nombreux auteurs notent la rareté de la conception individuelle pure, au profit de la conception collective (Visser, 2001), ou décrivant la conception comme étant composée d'activités

individuelles et collectives qui se superposent pour arriver au produit final (Pahl *et al.*, 1999). Ces derniers évaluent dans le domaine de la mécanique à 30 % la proportion de travail d'équipe et à 70 % celle du travail individuel. (Safin, 2011) estime probable que cette proportion ait évolué vers un pourcentage plus élevé de travail d'équipe, notamment en architecture, où « l'objet mobilise nécessairement plusieurs disciplines ».

(Safin, 2011) précise également qu'en se basant sur de nombreuses situations de terrain, ces auteurs « insistent sur le caractère complémentaire des situations collaboratives et individuelles en conception : les premières seraient plus efficaces pour l'analyse du problème, la détermination du but, pour la génération d'idées et pour l'analyse de la solution (y compris les critiques et les évaluations) ; alors que les secondes seraient dirigées vers l'acquisition et la fourniture d'informations, le développement des solutions, les calculs et la clarification de certains problèmes détaillés ». Il est logique de considérer de nos jours que la conception, pour la création de nouveaux produits, des plus simples aux plus complexes, est essentiellement collective, du fait de l'intervention de nombreux corps de métiers et du besoin de leurs compétences : dessinateurs, ingénieurs, techniciens, communicants, etc., mais également du client. Le travail en architecture est lui, devenu nécessairement collectif (Schmidt & Wagner, 2004), dans la mesure où les pratiques sont sujettes à évoluer du fait de l'innovation rapide, faisant de la collaboration l'enjeu majeur (Darses, 2004 ; 2009).

(Schmidt, 1994) notait déjà que l'intérêt des approches collectives dans la conception était de « transcender les limites cognitives des collaborateurs pris individuellement ». Le travail en groupe permettant de se confronter à d'autres individus, et donc de combiner les compétences, de diversifier les perspectives et de multiplier les évaluations. Une communication cohérente est essentielle tout au long d'un processus de conception.

Dans le domaine spécifique de l'architecture, les nouvelles technologies ainsi que le fait d'amener plus de réflexions en phase amont de conception, tel que des réflexions d'usages ou de maintenance imposent un défi majeur aux

architectes. Nous pouvons ajouter que cela concerne également les réflexions techniques et environnementales.

Cette partie a montré que la conception est principalement collective. Afin d'aboutir à la réalisation d'un objectif commun, plusieurs modes de coordination coexistent. Le travail coopératif et le travail collaboratif (Roschelle & Teasley, 1995), dont les termes et les pratiques se rapprochent, doivent être définis.

2.3.2 Les modes de coordination

Les principales différences entre ces modes de conception sont la répartition du travail et la manière de le partager. Les échanges au sein de ces groupes, ainsi que les interactions entre les individus, varient alors en fonction du type de travail, mais également en fonction des équipes de conception.

Le CNRTL propose les définitions suivantes :

- **Coopérer** : « Agir, travailler conjointement avec quelqu'un en vue de quelque chose, participer, concourir à une œuvre ou à une action commune » ; « coopérer à une entreprise (voir contribuer) » ; « apporter son aide, être coopératif (anglicisme). »
Du latin *cooperare*, de *operare* : œuvrer.
- **Collaborer** : « Travailler en collaboration » ; « Participer à l'élaboration d'une œuvre, contribuer à un résultat. » Du latin *collaborare*, de *laborare* : travailler.

Coopérer c'est travailler ensemble, à une œuvre commune. La coopération implique une dépendance et de la solidarité vis-à-vis d'un groupe. La coopération est donc le fait, pour une personne, de s'adonner consciemment à une activité complémentaire de celle d'autres personnes dans le cadre d'une finalité commune.

Collaborer c'est participer à un travail impliquant au moins deux acteurs. Les membres du projet travaillent ensemble pour atteindre un objectif. Le travail est fondé sur une hiérarchie non standard, où les collaborateurs communiquent sur un pied d'égalité.

Ces deux définitions montrent qu'il existe des similitudes entre ces deux modes de travail en groupe. La hiérarchie fait partie des différences qui placent les membres d'un groupe à des positions différentes, et influe donc sur les relations et les comportements sociaux au sein des groupes.

2.3.2.1 Coopération : conception distribuée

La coopération consiste alors à créer des rôles et des tâches, réparties entre les individus ou entre équipes dites spécialisées. Les responsabilités associées à ces tâches sont spécifiques aux équipes. L'objectif final est atteint lorsque chaque équipe (ou membre) a terminé sa partie du travail et lorsque le groupe a assemblé toutes les parties.

On parlera également de conception distribuée. Dans ce mode de coordination, en fonction de ses compétences ou de son rôle, chaque acteur effectue une tâche particulière, interdépendante de celles effectuées par ses pairs (Zignale, 2013). Chaque acteur est responsable de sa tâche et en répond à son groupe organisé hiérarchiquement. Les tâches sont réalisées de manière simultanée avant d'être assemblées. La coordination des acteurs dans le temps est primordiale, et on parlera alors de synchronisation tempo opératoire⁵ (Darses & Falzon, 1996).

Le travail coopératif induit par ailleurs des rapports verticaux entre les individus et les équipes spécialisées : une entité se trouve au-dessus de ces derniers et coordonne les actions entre eux. Le résultat final est donc connu de tous et inscrit dans un cahier des charges. Chacun sait donc ce qu'il a à faire, et à qui s'adresser en cas de problèmes ou de questions. Chaque intervenant se doit de communiquer, d'échanger et de partager savoirs et connaissances pour arriver à son objectif final personnel. La confiance au sein du groupe est alors primordiale : tant au niveau des compétences de chacun que moralement.

Le processus de création reste linéaire et ancré dans un planning impliquant délais et coordination. L'assemblage final des éléments de chacun

⁵ cf. 12.2.2.1 La synchronisation tempo opératoire.

créé alors l'objet final. Cependant, les travaux de chacun restent en théorie identifiables.

2.3.2.2 Collaboration : co-conception

La collaboration quant à elle mise sur la discussion, l'échange et la mise en commun des idées. Chaque individu continue de travailler à finaliser l'objectif commun, mais en misant sur l'aspect participatif. Il s'agit d'un travail d'égal à égal, sans réelle hiérarchie verticale ni rôles (Piquet, 2009), mais plutôt horizontale, où chaque individu a son mot à dire, et peut participer à la génération de solutions et à l'évaluation. Nous parlerons également de co-conception.

Plus difficile à mettre en œuvre, cette méthode de travail nécessite confiance, mais également consensus entre tous les membres du groupe. Comme les discussions et les échanges de savoirs sont à la base du travail, l'objet final n'est plus connu à l'avance, et seule une description sommaire est connue de tous. Cette production non linéaire, induisant des allers-retours dans la conception, ne permet plus de clairement identifier le travail de chacun des acteurs.

Le travail avance par accumulation de savoirs, de connaissances, et de modifications permanentes de l'objet intermédiaire. Les acteurs travaillent à la résolution commune d'un problème (Kubicki, 2006). La coordination se réalise ici grâce à une communication forte dans les équipes, afin de créer un contexte commun et d'agir de manière plus efficace. L'idée est de favoriser la synchronisation cognitive (Darses & Falzon, 1996 ; Halin, 2004) pour s'assurer que les acteurs se situent dans le même contexte et qu'ils ont le même savoir général.

2.3.2.3 Les deux s'appliquent simultanément

Nous observons que le travail coopératif permet la réalisation de multiples objets intermédiaires individuels, validant de multiples sous objectifs communs, tandis que la collaboration est plus globale, plus floue, et permet aux actions d'être évaluées, négociées, et intégrées (Kvan, 2000).

Dans les projets de conception, la coopération est souvent ponctuée de moments de collaboration (Axelrod & Hamilton, 1981 ; Axelrod, 1997). Une grande partie du travail se fait de manière autonome, individuelle et spécialisée, par des acteurs à qui on a attribué une tâche en fonction de ses compétences, puis glisse vers une concertation globale, permettant aux équipes de se synchroniser opérationnellement et cognitivement.

Ces deux notions de travail coopératif et collaboratif nous permettent de mieux appréhender les méthodes de conception en groupe. Appliquées à l'architecture, les deux façons de travailler se côtoient également. Les acteurs de la conception se répartissent les tâches selon les savoirs, les préférences, et les compétences de chacun. Un acteur pourrait être dédié à la conception de la maquette finale, tandis qu'un autre se chargerait de dessiner les plans. Cependant, ce sont généralement des phases finales de projets qui sont spécialisées, et on assiste alors à un glissement de méthode.

Inversement, en phase amont de projet, les participants décident de s'associer pour trouver un concept, dessiner un espace, ou définir un programme. Il n'y a pas de répartition des tâches, et on propose généralement au début une forme de plan, des coupes, des points forts ainsi que des références. La spécialisation se fait parfois lorsque les protagonistes se répartissent des espaces à dessiner. Néanmoins, nous observons bien que les deux types de travail cohabitent.

Le passage d'un mode de coordination à l'autre est alors perceptible, non seulement en fonction des situations, mais également en fonction des tâches effectuées. (Safin, 2011) note que « la collaboration est relative aux activités conceptuelles », tandis que « la coopération est observable lors d'activités de formalisation ou d'exécution ». Le premier mode est en action lorsque les acteurs proposent collectivement leurs intentions tandis que le second intervient lorsqu'il s'agit de dessiner individuellement plan, coupes ou perspectives.

Dès lors que les deux modes sont globalement utilisés dans la plupart des projets de conception et s'y côtoient, nous avons décidé d'indifféremment

utiliser dans ce travail de recherche les termes d'activités collectives, de collaboration, ou de coopération.

2.4 L'individu au sein d'un groupe

L'activité collective de conception architecturale s'appuie sur la collaboration d'un groupe de travail, constitué d'au moins deux acteurs. Ces acteurs possèdent des caractéristiques uniques et sont motivés par des facteurs qui leur sont propres, ce sont des individus. Le CNRTL propose la définition suivante : « Tout être concret, donné dans l'expérience, possédant une unité de caractères et formant un tout reconnaissable. » L'individu représente le maillon le plus petit de l'activité collective et la granularité la plus fine sur laquelle nous pouvons nous appuyer. Il est donc nécessaire de nous intéresser aux concepts le caractérisant.

2.4.1 Les besoins, la motivation et les désirs

Un mode de coordination implique d'avoir plusieurs acteurs travaillant à la réalisation d'un objectif commun. Cet objectif est le résultat de la coordination et du travail de plusieurs acteurs. Cependant, ces acteurs ont des attentes différentes quant à la finalité du projet, de la manière dont doit se dérouler sa coordination ou ont simplement des compétences et des savoirs différents (Gless, 2014). Nous allons donc définir ce que sont le besoin, la motivation, le désir, et enfin le savoir et les connaissances.

2.4.1.1 Les besoins

Le besoin chez l'être humain est un sentiment ressenti, qui concerne autant (1) le mental, (2) le social, que (3) l'état physique. Ce sentiment tend à être satisfait et se traduit à travers de sensations telles que la soif pour le besoin de boire, la peur pour le besoin de sécurité, ou encore l'orgueil pour le besoin de reconnaissance.

Répartis en plusieurs catégories théorisées par (Maslow, 1954), les besoins sont donc un état tout autant qu'un sentiment, qu'il est nécessaire de satisfaire, sans quoi les processus de développement de l'individu

s'interrompent (besoins vitaux, sociaux, et mentaux). Les catégories précédentes sont disposées sous la forme d'une pyramide et un individu ne peut en théorie satisfaire le besoin d'un étage sans satisfaire le besoin de l'étage d'en dessous.

Nous trouvons au premier étage la survie, associée aux besoins physiques de l'individu. Satisfaire ce besoin primaire en mangeant, en buvant, et en respirant correctement permet de passer à l'étage supérieur : la sécurité. Ce besoin de protection permet d'accéder à la socialisation, puis à l'estime de soi, puis enfin l'accomplissement.

Cette hiérarchisation des besoins est une théorie élaborée sur l'observation des motivations des années 1940 et reste scientifiquement critiquée de nos jours (Louart, 2002).

2.4.1.2 La motivation

En complément des besoins, (Mcgregor, 2006) émet l'idée que l'Humain se base également sur des motivations pour avancer. En découlent deux théories appelées les théories X et Y :

- Théorie X : l'Humain n'aime pas travailler, il est improductif s'il n'est pas surveillé ; il ne travaille que sous la contrainte ou la menace.
- Théorie Y : l'Humain aime travailler, il a besoin d'autonomie tandis que sa créativité doit être suscitée.

D'un côté, la théorie pessimiste de la proposition X dit clairement que l'individu moyen en entreprise, en études ou dans sa vie personnelle n'aime ni l'effort ni les responsabilités. En découle le comportement humain qui est le suivant : « je fais le minimum de travail avec le minimum de responsabilité : pas d'ennuis ». L'individu se repose sur ses semblables ou ses supérieurs qui doivent, pour avancer, user de contraintes et de menaces ou proposer des récompenses et motiver ; c'est familièrement la technique de la « carotte et du bâton ».

De l'autre côté, la théorie optimiste de la proposition Y place l'individu comme quelqu'un de motivé et de travailleur, aussi bien dans l'effort physique, que l'effort mental, ou dans ses loisirs. Stimulé et placé dans des conditions optimales, le comportement humain qui en découle est d'accepter voire de rechercher des responsabilités. L'individu est clairement plus créatif, et se fixe des objectifs et des récompenses pour ces objectifs lui-même. S'il adhère au projet commun, il passe non seulement du statut d'individu lambda à celui de collaborateur, mais donne également le maximum de ses capacités, sans avoir à imposer de sanctions.

Que ce soit dans l'une ou dans l'autre des deux théories antithétiques, Douglas McGregor distille tout de même une base commune : celle des motivations. L'employé, le collaborateur, ou l'associé peut se lancer dans le travail s'il a les motivations nécessaires : une récompense (théorie X) ou une responsabilité (théorie Y).

(Herzberg *et al.*, 1959) propose de consolider les motivations en proposant la théorie des deux facteurs. Chaque facteur est composé de plusieurs besoins à satisfaire, appliqués au monde du travail. Les satisfactions décrites sont :

- l'accomplissement ;
- la reconnaissance de l'accomplissement ;
- le travail lui-même ;
- la responsabilité ;
- la progression sociale.

L'individu ne pourra obtenir de motivation que si les facteurs de satisfaction sont remplis tandis que les facteurs de non-satisfaction⁶ sont absents.

⁶ Les facteurs de non-satisfaction étant des facteurs touchant plus à l'environnement et aux conditions de travail qu'aux relations humaines.

2.4.1.3 Les désirs

Le désir est un sentiment humain déclenché par des stimuli ou par des situations de plus ou moins long terme. C'est un complément du sentiment de besoin du fait qu'une fois les besoins d'un niveau comblé, il est agréable et non utile de combler ses désirs. Acheter un objet de première nécessité est un besoin (cf. 2.4.1.1 Les besoins), mais acheter un bijou est un désir. De plus en plus d'objets franchissent cependant la barrière besoins/désirs, du fait de notre mode de vie moderne. Par exemple, l'amendement 138/46 du parlement européen définit internet comme un droit fondamental en Europe, au même titre que l'eau, ou l'électricité. Le sentiment de posséder un ordinateur et une connexion internet est donc intimement lié à la fois au désir de s'ouvrir sur le monde, mais également au besoin de socialisation.

Il est donc très important dans un groupe de travail, que ce soit au niveau professionnel, ou dans les études, de bien avoir en tête que l'objectif personnel de chacun peut être différent de l'objectif commun. Il n'est pas absurde de penser qu'un étudiant souhaite avant tout obtenir une note correcte pour obtenir son unité d'enseignement, tandis qu'un autre voudra avoir la note maximale pour valoriser son travail ou son portfolio. Chacun peut avoir différents niveaux d'objectifs, en plus de l'objectif final de groupe.

2.4.2 Les savoirs et les connaissances

Le savoir et la connaissance sont intimement liés, pourtant l'adage est de dire que « l'on connaît des gens, et que l'on sait des choses ». Même si cela n'est pas tout à fait correct, une nuance est donc à appliquer entre ces deux termes que l'on doit employer dans des contextes différents. (Godin, 1949) propose la distinction suivante :

« La connaissance est la faculté mentale produisant une assimilation par l'esprit d'un contenu objectif préalablement traduit en signes et en idées. Le résultat de cette opération est la connaissance, c'est une possession symbolique des choses. Elle comprend une infinité de degrés. La connaissance rationnelle, méthodique, universelle a parfois été opposée au

savoir empirique, chaotique, objectif. On distingue le savoir et le connaître qui est le savoir avec conscience : les petits enfants et les animaux savent les objets, mais ne les connaissent pas.

Le savoir est l'ensemble des connaissances possédées. Opposé à l'ignorance, à la croyance et à la foi. Le savoir a une dimension plus technique, plus empirique, plus pragmatique que la connaissance abstraite. À la différence de la connaissance, le savoir n'est pas nécessairement conscient (dans le rêve est exprimé un savoir de l'inconscient). C'est également l'ensemble des connaissances possédées dans un domaine déterminé ».

La différence principale se fait au niveau de ce qui entoure ou de ce qui fabrique l'individu :

- Le savoir concerne plus particulièrement l'intérieur de la personne et constitue l'ensemble de ses connaissances.
- La connaissance s'acquiert à base de postulats et d'expériences personnelles, par assimilation et intégration de contenus et d'idées.

Cette distinction permet de s'interroger sur leur transmission. Il est alors nécessaire d'introduire la notion d'apprentissage.

2.4.3 L'apprentissage

L'apprentissage est un transfert de connaissances, qui introduit une relation directe ou indirecte entre les individus. On peut apprendre en parlant avec quelqu'un ou en le lisant. Cependant, il faut distinguer la connaissance de l'information. En effet, l'information est une donnée interprétée à partir de données, compréhensibles par quelqu'un ayant les capacités de les manipuler, tandis que les données sont des éléments objectifs, décrivant ou observant des faits ou des objets. L'information est donc le traitement de ces données pour en faire quelque chose de subjectif et de personnel (Reboul, 2010).

Les données encore plus que les informations peuvent circuler librement, en les copiant. La transmission des connaissances ne se fait pas de la même manière que les informations. Il suffit de dupliquer des informations, tandis qu'il faut mobiliser des ressources cognitives et s'impliquer pour obtenir de quelqu'un un ensemble de connaissances. Il faut observer, étudier, voire se faire encadrer par quelqu'un, un maître, pour favoriser la transmission des connaissances. (Goody, 1995) indique tout de même que « la recette écrite permet de combler partiellement le vide laissé par l'absence de la grand-mère ».

À cela, il faut rajouter la notion de savoir-faire, qui de la même manière que le savoir constitue un ensemble de connaissances cette fois pratiques. Le savoir-faire est ce que met en œuvre la personne chargée de faire une tâche, et regroupe donc ses savoirs et l'acte en lui-même. (Ballay, 1997) indique que c'est le savoir-faire que nous utilisons lorsque nous passons à l'action.

La transmission d'informations, de connaissances et de savoir-faire au sein d'un groupe est primordiale pour que le groupe évolue et que cela profite à tous ses membres. Cette gestion des connaissances et cette circulation des informations permettent non seulement de dupliquer les savoirs, mais également de faire grandir chacune des deux parties : le maître et l'élève.

Un groupe, et particulièrement lorsqu'il est un groupe de travail, est un objet social qui regroupe des individus dans un objectif commun.

2.5 Conclusion du chapitre

Nous avons tout d'abord proposé dans ce chapitre une définition de la conception architecturale qui s'appuie d'une part sur les notions d'objets finaux et intermédiaires pour présenter les solutions de conception et d'autre part sur les notions de pensée graphique, d'analogies et d'itérations. Cette définition de la conception architecturale nous permet de mieux appréhender ses spécificités reposant sur un processus de réflexion où la construction d'une solution passe par des analogies successives lors d'itérations expérimentales. Ces analogies soulèvent le problème de la traduction et de la compréhension qu'en ont les autres acteurs et posent la question d'une assistance à cette compréhension.

Nous avons ensuite vu que cette conception architecturale est supportée par différentes activités cognitives inscrites dans des espaces fonctionnels et collectifs. La formulation collective d'une solution à un problème donné passe par l'idéation, la génération et l'évaluation argumentées de cette solution. La synchronisation cognitive des différents acteurs de la collaboration participe au maintien d'une conscience mutuelle et à la construction d'un référentiel commun. La communication dans un groupe est un facteur essentiel au bon avancement du projet. L'assistance à cette communication est un levier pour l'amélioration de la cohésion de groupe, de la distribution des informations et de la compréhension de chacun.

Enfin, tandis que toute conception collective repose sur des modes de coordination, ces derniers sont par essence construits autour des relations entre des individus. Ces individus possèdent des caractéristiques qui leur sont propres et nous invitent à considérer l'activité de concevoir collaborativement en architecture non pas comme la construction d'un ensemble de tâches, mais comme la réunion d'un ensemble d'individus.

Chapitre 3 : Technologie BIM et transition numérique

Nous allons établir dans ce troisième chapitre le contexte de la technologie BIM et nous intéresser à ses différentes perceptions au sein de la littérature scientifique. S'inscrivant au cœur de la transition numérique en architecture, il est important d'apporter une définition à cette technologie afin de pouvoir orienter notre proposition.

Le chapitre commence par une présentation des Technologies de l'Information et de la Communication auxquelles la technologie BIM fait écho. Nous continuerons avec un bref historique de l'apparition puis de l'évolution des outils numériques en architecture avant de soulever les problématiques que soulève la transition numérique en agence. Nous présenterons ensuite la proposition d'une définition de la technologie BIM et de ses principales caractéristiques. Enfin, nous terminerons avec les besoins de coordination et de communication que nous avons identifiés comme stratégiques pour une utilisation efficace et donc une meilleure appropriation de cette technologie de la part des acteurs de la conception.

3.1 La technologie BIM est une Technologie de l'Information et de la Communication

3.1.1 Définition des TIC

Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont l'ensemble des techniques du domaine de la télématique ; domaine regroupant l'audiovisuel, l'informatique, internet, les multimédias, et les télécommunications à des fins de diffusion de l'information (Proulx, 2005).

La première définition faisait la distinction entre les TIC et les Nouvelles Technologies de l'information et de la Communication (NTIC). Ces dernières concernent l'ensemble des techniques dites « nouvelles », donc plutôt les techniques concernant l'informatique et internet et la problématique de la convergence numérique. De nos jours, la distinction ne se fait guère que dans la francophonie, et nous préférons simplement utiliser le terme de Technologies de l'Information et de la Communication.

3.1.2 Le BIM est une TIC

Les TIC sont donc des technologies permettant de diffuser des informations. D'après la définition de la technologie que nous avons précédemment donnée, nous intégrons également les réseaux, les appareils, les applications logicielles, les bases de données et les interactions entre concepteurs ou client comme constituants des TIC. Dans un contexte de travail collaboratif, il s'agit donc des technologies permettant l'échange, la manipulation et le traitement d'informations entre les acteurs, telles que les mails, les écrans interactifs ou encore les plateformes de partage en ligne.

La technologie BIM repose sur l'utilisation d'un modèle numérique regroupant toutes les informations d'un bâtiment tout au long de sa vie. Il s'agit de faciliter l'échange, la manipulation et la gestion de ces informations, renseignées au sein de ce modèle numérique. La technologie BIM est à ce titre une Technologie de l'Information et de la Communication. Nous pouvons alors nous intéresser aux études portant sur les apports des TIC en conception collaborative, aux difficultés rencontrées et aux solutions imaginées.

3.1.3 Les TIC ont des besoins d'assistance en conception

La complexité des projets architecturaux contemporains impose une plus grande coordination entre les acteurs du fait de leur plus grand nombre, de leur origine de domaines différents et spécialisés, entraînant une plus grande quantité d'informations à échanger. Cette complexité accrue pose la question de l'implication précoce des acteurs en phase amont de conception, et pose donc la question de la communication et de la coordination dans cette phase amont de conception.

L'utilisation des TIC, et plus particulièrement en phase de conception, permet l'amélioration de la collaboration entre les acteurs (Ruikar *et al.*, 2005 ; Childs *et al.*, 2014 ; Adamu *et al.*, 2015), mais leur adoption reste cependant faible (Zanni, 2017). La question se pose pour la technologie BIM, dont les bénéfices sur le plan de l'efficacité sont démontrés (Azhar Salman, 2011 ; Kensek, 2015), mais dont nous avons vu que l'adoption en agence reste faible, sinon difficile.

Une des raisons évoquées est que les agences ayant investi dans la technologie BIM ont négligé les problèmes humains, tels que la communication, la formation ou encore la gestion du changement (Damodaran & Shelbourn, 2006 ; Bin Zakaria *et al.*, 2013 ; Panuwatwanich *et al.*, 2013 ; Olawumi *et al.*, 2018).

(Cerovsek, 2011) avance qu'une meilleure compréhension des communications dans un contexte de conception BIM peut conduire à l'amélioration de cette conception. Nous pouvons considérer que si les acteurs de la conception architecturale doivent collaborer plus tôt dans la phase de conception pour correspondre aux exigences du processus BIM, la réussite de cette collaboration dépendra effectivement de la cohésion de l'équipe et de la coordination (Nofera & Korzman, 2010), découlant directement d'une communication efficace (Otter & Emmitt, 2008).

Afin de pouvoir correctement répondre aux besoins d'une meilleure communication dans un contexte BIM de conception architecturale, nous allons nous intéresser aux origines de la technologie BIM, et à sa place au sein de la transition numérique.

3.2 La transition numérique en architecture

Nous avons évoqué plus tôt dans ce mémoire que le monde de l'AEC et plus particulièrement celui des architectes est au cœur d'une période de transition numérique. Après avoir vécu l'apparition de la DAO à partir des années 80, de la CAO dans les années 90, les architectes doivent faire face à l'apparition de la technologie BIM.

Cette technologie fait évoluer les manières de dessiner et de concevoir le projet, mais change également les manières de communiquer et de se coordonner dans une équipe de conception architecturale. Par ailleurs, la plupart des agences d'architecture utilisent déjà le numérique afin de produire des documents en 2D, parfois accompagnés de 3D. Afin de mieux cerner les enjeux de cette recherche, il nous est nécessaire de nous intéresser à cette transition numérique et de tenter de donner une définition à la technologie BIM.

3.2.1 Du dessin à la DAO

Une personne assise devant sa table à dessin inclinable représente souvent ce que les gens imaginent lorsque l'on évoque le métier d'architecte. Il s'agissait traditionnellement d'utiliser des outils tels que la règle, l'équerre, le té, le compas et le stylo afin de créer des documents représentant le projet conçu (Deforge, 1981 ; Epron, 1981). Ces documents étaient des plans, des coupes, ou encore des perspectives, dessinés sur papier ou sur calque. La maquette d'étude était également utilisée afin de visualiser les espaces et leurs relations.

Si les phases amont de conception de projet font encore appel aujourd'hui au dessin à la main, sous la forme de croquis et d'amorce de projet, de nombreux architectes continuent de produire des dessins à la main, le plus souvent des perspectives, voulant alors exprimer de manière plus sensible un concept ou une matérialité. Si nous mettons de côté le dessin sensible, nous notons que le dessin conceptuel qui permet au projet d'avancer est un dessin mouvant tandis que le dessin technique servant d'objet intermédiaire est un dessin figé et difficilement modifiable.

C'est en 1963 que Sutherland propose le logiciel Sketchpad (Sutherland, 1963), précurseur de l'interface graphique et de la DAO. En 1977 apparaît CADAM, le premier logiciel de DAO à usage professionnel. Il sert notamment dans l'aéronautique avant d'intéresser les professionnels du bâtiment, amenant les éditeurs à proposer AutoCAD en 1982, et ArchiCAD en 1984. Ces logiciels permettent de dessiner des traits et des surfaces. Nous passons d'une technique à la main, faisant appel à des concepts géométriques et à l'ergonomie du dessin, à une technique sur l'ordinateur, reprenant la même façon de dessiner, mais répondant aux limitations de modifications du dessin traditionnel, sans toutefois apporter d'alternative à la maquette.

3.2.2 De la DAO à la CAO

Ces logiciels de DAO vont évoluer touche par touche jusqu'à la fin des années 1990 en parallèle des performances des ordinateurs. Nous voyons ces logiciels intégrer la 3D, tandis que l'adoption de la DAO dans les agences se généralise (Thomine, 2000 ; Sackey *et al.*, 2015). Si le développement de la DAO s'est concentré sur la géométrie (Choi *et al.*, 1984), le besoin d'intégrer des informations supplémentaires, et en particulier des informations métier, à amener les logiciels à se transformer en logiciels de CAO (Linderoth, 2010).

En architecture, nous faisons la distinction entre logiciels de DAO et de CAO. Les premiers sont des logiciels dont la fonction première est l'édition de dessins, sur bases de concepts géométriques, tandis que les seconds sont des logiciels basés sur des concepts d'ouvrages architecturaux, pouvant être mis en relations les uns avec les autres. En DAO, un mur sera dessiné à l'aide de plusieurs traits que le logiciel n'associe entre eux que géométriquement, alors qu'en CAO, un mur est un objet ayant des propriétés dépassant l'échelle géométrique. Nous passons d'une technique calquée sur la méthode de dessin à la main, à une technique permettant de lier des objets, de leur donner des propriétés, et ainsi de leur donner du sens.

Ces propriétés, ou paramètres permettent de réaliser des changements sur les objets intermédiaires de manière instantanée, ou bien de réaliser des simulations techniques ou des analyses. Notons que les logiciels de DAO et de CAO se côtoient et évoluent parallèlement, l'apparition des seconds n'ayant pas

provoqué la disparition des premiers. Cependant, les seconds intègrent depuis le début des années 2000 de mêmes concepts aux noms différents : « *Virtual Building* » (Graphisoft), « *Integrated Project Models* » (Bentley Systems) ou encore de « *Building Information Modeling* » (Autodesk et Vectorworks) : le BIM.

3.2.3 De la CAO à la technologie BIM

Le terme de « *Building Information Model* » a été utilisé pour la première fois dans un article en 1992 par (van Nederveen & Tolman, 1992). Le concept a toutefois été utilisé auparavant, sans en avoir le nom, notamment dans des articles de (Ruffle, 1986) et de (Aish, 1986).

Le premier énonce le fait que l'avancée technologique permettra aux ordinateurs d'assister les architectes dans les tâches de représentation. Il souligne le risque des restrictions de l'éventail de solutions que cela peut amener tout en évoquant l'opportunité des concepteurs de s'emparer d'une conception plus créative. Le second propose une base théorique des apports d'un « modèle du bâtiment » intégré dans les outils de DAO au sein d'une équipe de conception multidisciplinaire.

Nous notons dès lors que ces premières mentions à ce que deviendra la technologie BIM s'intéressaient dès le début aux limites de l'assistance à la conception, mais également au fait de pouvoir confier des tâches automatisables à l'ordinateur pour faire émerger des idées nouvelles au sein d'un groupe de conception.

ArchiCAD⁷, développé en 1984 par Graphisoft, est considéré par certains auteurs comme le logiciel proposant la première implémentation du BIM (Forbes & Ahmed, 2010 ; Luciani *et al.*, 2012). Ce n'est que quinze ans plus tard que le terme « BIM » deviendra populaire, tout d'abord en 2000 avec la sortie du logiciel Revit⁸, puis en 2002 par son rachat par Autodesk suivi de la publication d'un livre blanc intitulé « *Building Information Modeling* » (Autodesk, 2002). La CAO bascule petit à petit d'une modélisation orientée

⁷ Tout d'abord appelé « Radar CH ».

⁸ Édité par Charles River Software.

objet, à une modélisation collaborative. La technologie BIM s'apparente alors à une complexification collaborative de la CAO.

3.2.4 La transition bouscule les pratiques des architectes

La technologie BIM représente probablement le changement le plus important dans le domaine de l'AEC depuis l'émergence de la DAO. La modélisation BIM est fondamentalement différente du dessin numérique traditionnel. Les objets dessinés sont des entités caractérisées nécessitant d'être renseignées et non plus de simples représentations géométriques et il n'y a plus de place pour l'interprétation (Denzer & Hedges, 2008).

La quantité d'informations à gérer en phase amont de conception est plus importante qu'en conception traditionnelle. Les prises de décisions sont également décalées en amont, et accroissent la complexité globale d'une gestion de projet (Krygiel & Nies, 2008). Les méthodes de travail actuelles sont perturbées et doivent être repensées pour permettre une mise en œuvre efficace de la technologie BIM (Mao *et al.*, 2007). La transition numérique est une rupture des pratiques pour les architectes. Afin de répondre efficacement à ce changement de paradigme, de nouvelles méthodes doivent être imaginées.

3.3 Le BIM : information et collaboration

Afin de mieux comprendre les besoins d'une nouvelle méthode de gestion de projet adaptée à une conception collaborative BIM, nous allons apporter une définition au concept de BIM, puis développer son mode de fonctionnement avant d'en détailler les caractéristiques.

3.3.1 Vers une définition du BIM

L'acronyme BIM a plusieurs significations selon les mots employés derrière la lettre M. Tout d'abord (1) *Building Information Model*, qui désigne le modèle numérique et les données décrivant un projet, parfois appelé Modèle d'Information Unique du Bâtiment ou encore Maquette Numérique du Bâtiment ; ensuite (2) *Building Information Modeling*, qui décrit plutôt le processus de création et de gestion de ces données ; et enfin (3) *Building*

Information Management, qui concerne la coordination nécessaire à la mise en place du précédent processus.

(Eastman *et al.*, 2011) définissent le BIM comme une technologie qui consiste à assurer la production, la communication et l'analyse de modèle de construction autour d'un standard d'échange, l'IFC⁹. De nombreux auteurs ont apporté leur propre définition, se focalisant plutôt sur : (1) les processus, la technologie et les compétences (Rekola *et al.*, 2010) ; (2) la technologie, les processus, et les personnes (Chen & Luo, 2014) ; (3) la technologie, les processus et les politiques (Succar, 2009 ; Succar *et al.*, 2012 ; Succar & Kassem, 2015).

Elle est parfois également définie comme étant à la fois un processus de gestion et de production des informations, un modèle unique, un logiciel, et une norme (Lebègue & Vervandier, 2015). (Kensek, 2015) définit le BIM comme étant « un modèle de CAO en 3D » associé à « une base de données composée d'un ensemble d'informations qui décrivent le projet » et l'utilise à la fois pour décrire « le modèle numérique en 3D auquel seront adjointes les données », « le fait de modéliser » et le « principe de concevoir, d'ajuster et de finaliser un projet ».

Si l'idée d'un référentiel unique, d'une maquette numérique centrale et collaborative est omniprésente (pour éviter les redondances, et les erreurs de ressaisies) on observe que la technologie BIM n'a pas les mêmes contours pour tout le monde.

Dans ce travail de recherche, nous définirons la technologie BIM comme « l'ensemble des outils, des processus et des méthodes nécessaires à la gestion et à la communication des informations du bâtiment ainsi qu'à la production et à l'analyse d'un modèle numérique collaboratif tout au long du cycle de vie du bâtiment » ; ce qui correspond parfaitement aux trois « M », *Model* pour Outils, *Modelling* pour Processus, et *Management* pour Méthode.

⁹ L'IFC pour *Industry Foundation Classes* est un format de fichier standardisé utilisé par les logiciels permettant le travail en BIM.

Nous allons désormais nous intéresser à ce qui fait l'essence de la technologie BIM : le modèle numérique.

3.3.2 Les modèles numériques BIM

La technologie BIM est une complexification collaborative de la CAO et consiste donc à renseigner un modèle géométrique avec des informations, et ce par l'ensemble des acteurs d'un projet architectural. Il s'agit d'un procédé de travail collaboratif reposant sur un modèle numérique. Ce modèle numérique contient toutes les informations géométriques du projet, sous forme d'objets-composants ou d'ouvrages tels que les murs, les dalles ou encore les menuiseries. Ces composants sont identifiés par les logiciels et caractérisés géométriquement. Des informations peuvent ensuite venir les enrichir, telles que des caractéristiques physiques propres à la mise en œuvre, ou des caractéristiques fonctionnelles nécessaires à l'enchaînement des tâches des acteurs de la conception. (Gallas & Halin, 2016) proposent plusieurs modèles de BIM :

- Le modèle géométrique : les composants sont des surfaces, des segments ou des points. Il n'y a aucun sens « métier » pour les outils numériques.
- Le modèle sémantique : les composants sont des objets représentant des ouvrages (mur, dalle, menuiserie) décrits par leur géométrie (hauteur, largeur, longueur et position).
- Le modèle enrichi : les composants sont enrichis d'informations supplémentaires nécessaires à leur mise en œuvre, leur simulation, leur exploitation ou leur maintenance (couleur, prix, masse volumique, etc.).
- Le modèle partagé : nous trouvons des services d'accès au modèle numérique et les composants peuvent être associés à des activités et donc à des acteurs.
- Le modèle de processus : les composants, les activités et les acteurs sont décrits au sein d'un enchaînement.

En fonction des informations présentes dans le modèle numérique, nous nous retrouvons à un niveau particulier de modélisation. Lorsque nous utilisons des outils de modélisation BIM tels que Archicad ou Revit, nous avons d'office la possibilité d'être au niveau du modèle de processus, sans pour autant avoir l'obligation d'en faire usage. Nous parlons tout de même de BIM, car il s'agit de renseigner des informations « métiers », destinées à être partagées d'une manière ou d'une autre. Nous allons désormais nous pencher sur deux autres caractéristiques intrinsèques de la technologie BIM, le traitement de l'information unique et la collaboration.

3.3.3 L'information unique et la collaboration

Le modèle numérique BIM, ayant pour finalité d'être partagé entre les acteurs de la conception, est donc par essence collaboratif. Il existe cependant différentes manières de partager ce modèle et les informations qu'il contient, les acteurs pouvant échanger des fichiers contenant leur version incrémentée du modèle numérique, ou bien travailler directement sur le même document.

Le partage de l'information est donc au cœur de la technologie BIM. (Crotty, 2012) note qu'il y a deux facteurs principaux dans l'apparition de problèmes en conception. La première est la mauvaise information sur le processus de conception, la seconde est la mauvaise communication entre les acteurs de la conception (d'une information correcte ou erronée). La gestion de l'information est donc un enjeu critique dans la gestion de la conception (Erdogan *et al.*, 2008 ; Demian & Walters, 2014 ; Motawa & Carter, 2013 ; Zanni, 2017). Cela est d'autant plus vrai que les modèles BIM peuvent rapidement devenir lourds (en taille) et complexes (Eastman *et al.*, 2011).

L'idée de centraliser les informations directement au sein d'un modèle unique permet à chaque corps de métier d'intervenir sur son domaine d'expertise, et de croiser les informations dont il dispose. La technologie BIM repose donc sur deux concepts majeurs : l'information unique et la collaboration (Prommier, 2018). Ces deux concepts varient selon le niveau de maturité BIM de l'équipe de conception.

3.3.4 Les niveaux de maturité

L'utilisation de la technologie BIM peut varier selon les équipes de conception, ces dernières pouvant se situer à des étapes différentes d'utilisation ou d'intégration de la technologie BIM, de « *ad hoc* », à « défini », puis à « géré ». (Boton & Kubicki, 2014) proposent quatre niveaux de maturité BIM, numérotés de 0 à 3, inspirés des travaux de Mark Bew et de Mervyn Richards de 2008 (Kassem *et al.*, 2013).

- Le niveau 0, ou le niveau pré-BIM est le niveau d'un processus non structuré, basé autour d'échanges DAO/CAO non standardisés.
- Le niveau 1 est le niveau de modélisation orientée objet, où la maquette numérique apparaît.
- Le niveau 2 est le niveau de collaboration orientée modèle, où chaque acteur peut confronter son modèle enrichi avec ceux des autres.
- Le niveau 3 est le niveau de l'intégration orientée réseau, où les acteurs travaillent sur un modèle numérique unique.

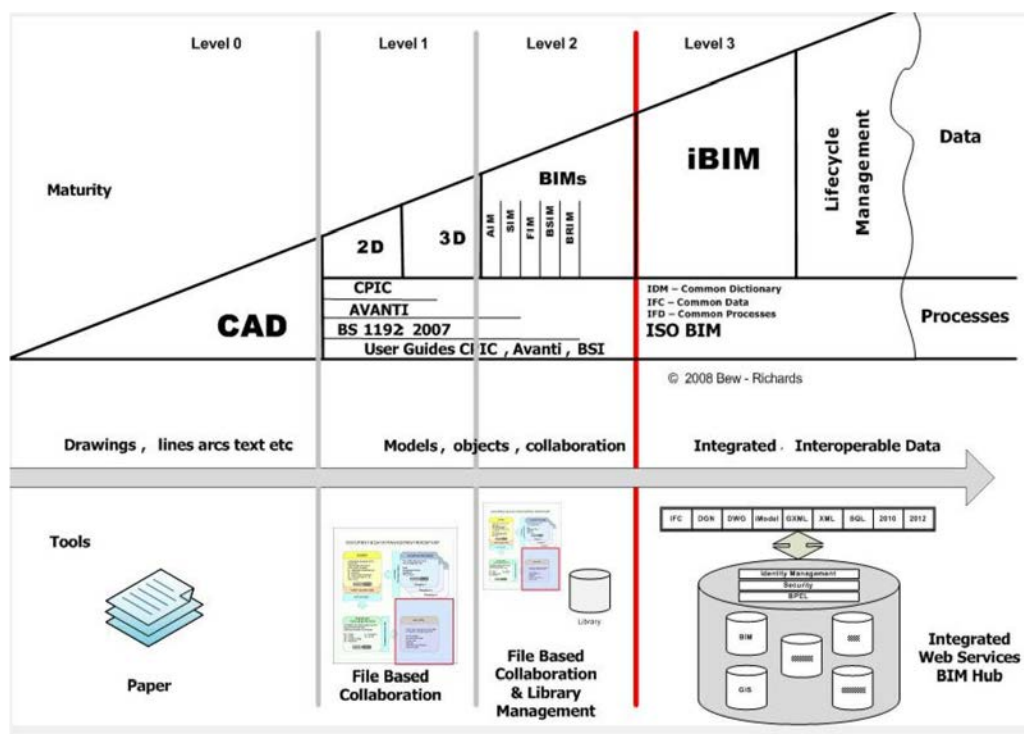


Figure 6 : les différents niveaux de maturité du BIM inspirés de Bew & Richards

Le niveau 0, où se trouve actuellement la majorité des agences d'architecture, correspond à l'utilisation traditionnelle du numérique :

utilisation de logiciels de DAO ou de CAO, essentiellement 2D ou 3D non sémantique, puis transmission des informations aux autres acteurs de la conception par le biais de fichiers numériques classiques (.dwg, .pdf, etc.) ou papier. Il n'y a pas de norme de dessin commune utilisée¹⁰, chaque agence pouvant avoir sa propre manière de représentation.

Le niveau 1 est le premier véritable niveau de maturité BIM. Il s'agit de la création d'un modèle numérique, généralement propre à l'architecte, grâce à l'utilisation de logiciels BIM. Les représentations orientées géométries évoluent pour des représentations orientées sémantiques et enrichies. Il s'agit généralement du niveau où l'architecte modélise son projet, et en extrait des livrables « unidirectionnels ». Ces livrables sont destinés aux autres corps de métiers, sous la même forme que le niveau 0 et sans qu'il puisse y avoir de retour d'informations dans son modèle numérique. Ce dernier est souvent interne au concepteur, et n'est finalement utilisé que pour profiter des aspects avancés de la CAO : simulations, calculs, paramétrique, estimatifs. La collaboration est très faible, les autres intervenants n'ayant pas accès aux informations brutes du modèle numérique BIM.

Le niveau 2 propose une collaboration plus poussée. Ici chaque acteur crée une maquette numérique pour son propre usage, et sera amené à la comparer, la tester, et l'améliorer avec les modèles des autres acteurs des différents corps de métier. La collaboration prend forme dans le sens où les informations sont échangées sous forme de modèles entiers (aux formats natifs, ou IFC) et non plus sous forme de livrables unidirectionnels. Nous trouvons donc plusieurs modèles numériques, destinés à être comparés afin de détecter la présence éventuelle de « *clashes* ». Précisons que la collaboration est incrémentale est que l'enrichissement des modèles numériques se fait de manière asynchrone par les intervenants extérieurs.

Enfin, le niveau 3 est le niveau maximum de maturité BIM. Il s'agit pour tous les acteurs de la conception de pouvoir se connecter en réseau pour alimenter collaborativement un modèle unique. Les acteurs réservent des parties du projet, se posent des questions, annotent le modèle en fonction des

¹⁰ Autre que les normes de représentation classiques en dessin d'architecture.

droits qu'ils leur ont été attribués, et ce en temps réel. Si nous pouvons parler de processus de conception intégrée, il est encore délicat, notamment sur le plan technologique, de se dire d'une maturité BIM de niveau 3. En effet, des conflits intrinsèques aux logiciels BIM, aux serveurs dédiés et au format IFC ne permettent pas de réaliser une parfaite interopérabilité des informations.

3.3.5 L'interopérabilité technique et coordinatrice

Le dictionnaire Larousse définit l'interopérabilité comme la « compatibilité des équipements, des procédures ou des organisations permettant à plusieurs systèmes, forces armées ou organismes d'agir ensemble : interopérabilité des forces de l'OTAN ». Il ajoute en outre qu'en informatique, c'est la « capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations : interopérabilité des réseaux téléphoniques ». L'interopérabilité concerne aussi bien le côté technique que le côté coordination.

Dans notre environnement BIM, nous parlerons d'interopérabilité technique lorsque des échanges de fichiers ou de modèles devront être réalisés entre les acteurs à travers leurs outils, deux cas de figure pouvant se passer ; travail sur le même logiciel et donc pas de problèmes, ou échanges de fichiers et potentiels problèmes de compatibilité de l'information, même en IFC (Pazlar & Turk, 2008). L'interopérabilité coordinatrice concerne les moyens employés pour procéder à ces échanges.

(Jernigan, 2008) suggère que toute la collaboration devrait se faire par le biais de la technologie BIM. Or nous avons vu que les différents niveaux de maturité sont autant liés à la coordination des membres, qu'à la nature même de la conception technologique des outils BIM. Nous avons également vu que le secteur de l'AEC en France faisait face à des difficultés liées à la transition numérique, à l'accroissement de la complexité des projets et à la pluralité des intervenants des différents corps de métiers. Cette complexité génère une multiplication des informations pouvant donner lieu à des incompréhensions et des interprétations pouvant entraîner à leur tour des erreurs ; d'où la nécessité d'une meilleure interopérabilité.

Nous avons souhaité dans le cadre de cette recherche de nous concentrer non pas sur l'aspect de l'interopérabilité technique, mais plutôt sur celui de l'interopérabilité coordinatrice. En effet, seul le niveau 3 de maturité BIM nécessite une interopérabilité logicielle parfaite. (Becerik-Gerber & Kensek, 2010) soulignent l'occasion que représente la technologie BIM pour le secteur de l'AEC dans l'identification de nouvelles formes de collaboration. Notre travail se concentre sur l'aspect coordination des acteurs de la conception, avec l'objectif d'apporter une amélioration directe sur l'acte de concevoir en BIM.

3.4 Les tâches BIM et les activités de coordination

L'usage de la technologie BIM a pour conséquence un changement dans les tâches quotidiennes, ce qui accroît « les activités de coopération entre les partenaires en rassemblant autour du projet des personnes de statut et d'expertise souvent inégaux, porteurs de logiques d'actions hétérogènes » (Darses *et al.*, 2001). (Zanni, 2017) note qu'une collaboration efficace ne résulte pas uniquement de la mise en œuvre de solutions techniques ; les questions organisationnelles et humaines doivent être étudiées : « il s'agit notamment des personnes, de leurs rôles et de leurs responsabilités, ainsi que des artefacts qui constituent les échanges d'informations ». (Zignale, 2013) considère l'outil « comme un moyen de médiatiser le contexte de l'activité collective » et non pas comme un élément de celui-ci. Nous traduisons bien le besoin de travailler sur les autres « composantes » de la technologie BIM, le processus et la méthode, et pas seulement sur l'outil.

Pour correctement formuler une proposition d'assistance à la conception BIM, nous avons donc besoin de nous intéresser à comment sont traitées les tâches de conception BIM, tant du point de vue organisationnel, que du point de vue de leur compréhension respective par les concepteurs.

3.4.1 Les tâches de conception BIM

La partie 1.5 Une méconnaissance de la technologie BIM a montré que les étudiants en architecture et les architectes eux-mêmes ne savaient pas toujours définir ce qu'était une tâche de conception BIM et ce même en étant sensibilisés

au concept de BIM. Nous définirons ces tâches comme des tâches s'inscrivant dans un processus de conception BIM. Tout ce qui concerne l'acquisition, la gestion de site, la planification, l'estimation et le quantitatif, la modélisation, la coordination et le prototypage sont des tâches BIM. Nous trouverons par exemple le fait de scanner en 3D un ouvrage existant, puis d'intégrer dans un logiciel BIM le nuage de points résultant, le nettoyer et l'optimiser, s'en servir à des fins de modélisation, etc.

Les tâches BIM sont tout autant des tâches nouvelles induites par l'apparition de nouvelles techniques numériques, mais également des tâches traditionnelles comme la modélisation, désormais inscrite dans un environnement et un processus BIM. La conception BIM fait intervenir en même temps ces différentes tâches. La conception architecturale est un processus guidé par les intentions architecturales des acteurs de la conception. La formulation de ces intentions est une tâche critique au sein de ce processus de conception, elles traduisent la proposition que les concepteurs apportent pour satisfaire les besoins du maître d'ouvrage. Ces intentions se traduisent ensuite en tâches à effectuer, et dans notre cas en tâches BIM. Nous devons dès lors nous intéresser à comment ces tâches sont comprises par les acteurs de la conception, et ce que nous pouvons faire afin d'améliorer cette compréhension. Nous nous intéressons aux activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation de ces tâches BIM :

- L'élicitation est une activité qui consiste pour un acteur à faire en sorte que ses interlocuteurs aient la même compréhension de ses intentions ou de ses idées que lui.
- Le raffinement est une activité ayant pour objectif de définir ou de préciser en quoi consiste une tâche BIM.
- L'évaluation est une activité permettant de savoir si une tâche a été correctement réalisée, ou si elle répond correctement à son objectif.

Nous cherchons donc dans cette recherche à améliorer les diverses compréhensions que les acteurs de la conception ont vis-à-vis des tâches BIM, de leurs intentions respectives, et ce grâce à l'insertion de pratiques permettant

d'améliorer la communication et la coordination ; il s'agit d'améliorer la conscience mutuelle, la prise de décision en amont, et d'aider la construction d'une confiance d'équipe : la cohésion de groupe. Une communication efficace au sein d'un groupe de conception se traduit par un travail collaboratif qui améliore la compréhension individuelle des besoins de conception (Otter & Emmitt, 2008).

3.4.2 L'activité d'élicitation

L'élicitation est l'acte de formaliser une idée, un concept ou une intention, et d'en assurer la transmission afin d'être compris par ses interlocuteurs. Dans un contexte collectif, l'atteinte d'un objectif commun passe par l'entente globale et une vision commune de cet objectif. L'élicitation permet aux acteurs de la collaboration (concepteurs, chef de projet, ou client) de réellement comprendre ce qu'ont les autres en tête, ou selon l'expression : d'être sur la même longueur d'onde. Le CNRTL propose la définition suivante pour le verbe éliciter : « – P. ext. Éliciter de. Tirer, faire sortir de. Ce raisin que le soleil élicite de la terre et que son rayon amical conduit de la fleur à la grappe (Claudel, Un Poète regarde la Croix, 1938p. 128). De Étymol. et Hist. 1838 (Ac. Compl. 1842). Empr. au lat. scolastique *elicitus*, part. passé de *elicere*, tirer de, faire sortir, susciter, provoquer ».

Nous retrouvons cette idée de faire sortir un élément de quelque chose, ici, le raisin de la terre, et dans notre contexte plus particulier, les idées de la tête. Ce terme est utilisé en linguistique, en gestion de projet, en gestion de connaissances, mais également en pédagogie.

En linguistique, il s'agit pour un acteur de faire en sorte que son interlocuteur émette les hypothèses qu'il a en tête, afin de statuer dessus. Cela fait appel à des stratégies amenant l'interlocuteur à faire appel à ses compétences, à ses performances.

En gestion de projet, il s'agit de comprendre et de modéliser les processus de client avant de les partager avec l'équipe chargée de la mise en œuvre.

En gestion de connaissances, il s'agit de l'action d'aider un expert à formaliser ses connaissances dans le but de les sauvegarder ou de les partager, le tout de manière la plus explicite possible.

Enfin, en pédagogie, il s'agit de faire en sorte que le taux de transfert de connaissances entre un acteur et son interlocuteur soit le plus grand possible. Il faut donc s'adapter à la personne en face de soi, et faire preuve ici aussi de stratégie, par rapport à l'environnement de l'interlocuteur afin de créer un contexte motivationnel.

(Falzon & Visser, 1989) ont montré comment « dans les dialogues entre les opérateurs expérimentés, l'hypothèse de connaissances communes dans le domaine permettait une économie dans la communication par l'utilisation de langages opératifs » et comment, lorsque cette hypothèse se révélait prise en défaut, les opérateurs avaient recours à des dialogues de récupération, dont le but est justement de mettre à niveau les savoirs généraux. Dès lors que les acteurs d'un groupe de conception ne sont pas nécessairement tous des experts, *a fortiori* dans des groupes multicompetences et multidisciplinaires, l'élicitation est donc une activité essentielle à développer en conception collaborative.

3.4.3 L'activité de raffinement

Dérivé de « raffiner », avec le suffixe *-ment*, le CNRTL nous propose la définition suivante pour raffiner : « Rendre plus fin en débarrassant (une matière) de ses impuretés ; opérer le raffinage. » Le raffinement est l'acte de détailler les tenants et les aboutissants d'un concept, d'une idée ou encore d'une tâche en s'assurant d'éliminer les mauvaises interprétations. Il s'agit d'en dessiner le périmètre le plus précis possible, afin d'obtenir une granularité de plus en plus fine. Faisant généralement suite à une activité d'élicitation, les acteurs échangent, débattent et arrivent à un compromis amenant à retirer ou à ajouter des informations par rapport à l'exécution des tâches afin que tout le monde en ait la même compréhension. Le raffinement est la conséquence matérielle, ou concrète de l'élicitation sur les tâches de conception collective.

Concrètement, il s'agit pour les acteurs de la conception d'échanger, de se poser mutuellement des questions jusqu'à arriver à un accord satisfaisant sur la définition d'une tâche, d'une intention ou encore d'un concept.

3.4.4 L'activité d'évaluation

L'évaluation est « l'action d'apprécier, d'estimer la valeur ou la quantité de quelque chose », « de l'ancien français *é-*, extraire, et *value*, valeur ; du latin classique *valere*, valoir », d'après le CNRTL. C'est donc l'acte qui consiste à juger de la pertinence des propositions apportées, interne lorsqu'elle est personnelle, externe lorsqu'elle concerne les autres acteurs. Cette activité permet de décréter qu'une tâche réalisée répond correctement à la demande émise, ou au contraire de la juger non satisfaisante et de réaliser une itération supplémentaire afin de l'améliorer. L'évaluation interne comme externe se réfère aux références, aux expériences et aux connaissances personnelles afin d'apprécier la pertinence d'une proposition.

3.5 Conclusion du chapitre

Nous avons tout d'abord abordé dans ce chapitre la question de la parenté de la technologie BIM aux Technologies de l'Information et de la Communication en tant que technologie permettant de renseigner un modèle numérique avec toutes les informations nécessaires au cycle de vie d'un projet architectural puis d'échanger ce modèle. La littérature montre que les TIC, et donc la technologie BIM, souffrent d'un manque d'assistance à la communication et à la coordination et d'une négligence des aspects humains en collaboration. Une meilleure communication et une meilleure coordination entre les acteurs de la conception permettent donc une meilleure gestion collective des informations. Les méthodes de gestion de la technologie BIM doivent être repensées pour une mise en œuvre efficace.

Les outils numériques en agence d'architecture évoluent tandis que les pratiques numériques associées restent les mêmes. Nous avons vu que la technologie BIM représente une technologie de rupture en raison de sa nature à présenter à terme une information unique autour de laquelle s'organisera la

collaboration. Au vu de ces différentes observations, nous avons choisi de nous concentrer sur l'interopérabilité coordinatrice et sur l'aspect coordination des acteurs de la conception, avec l'objectif d'apporter une amélioration directe sur l'appropriation de la technologie BIM.

Enfin, nous avons développé les notions d'élicitation, de raffinement et d'évaluations des intentions architecturales et des tâches de conception BIM. Ces activités présentent des avantages pour la communication et la coordination et leur étude nous offre l'opportunité d'améliorer l'acte de concevoir collaborativement en architecture et de nous intéresser aux méthodes de gestion de projet.

Chapitre 4 : Une évolution de la gestion de projet : l'agilité

Nous allons nous pencher dans ce quatrième chapitre sur les caractéristiques de la gestion de projet puis sur son évolution au fil du temps et des besoins. La gestion de projet s'est développée en même temps que la complexité des projets dans le secteur de l'industrie à partir du moment où les outils ne gagnaient plus en efficacité. Elle a ensuite émergé dans les domaines de la construction et du génie logiciel sous des formes mettant en avant la responsabilisation des acteurs ou leur intégration dans la conception.

Ce chapitre abordera tout d'abord l'évolution qu'a subi la gestion de projet de la fin du 19^e siècle à nos jours et à sa transformation de l'orienté processus à l'orienté engagement. Nous nous intéresserons aux méthodes appliquées dans la construction et aux potentiels apports pour notre recherche. Nous présenterons ensuite le domaine du génie logiciel dans lequel les méthodes de gestion de projet ont rapidement évolué afin de faire face à des changements technologiques majeurs. Enfin, nous terminerons avec une définition des méthodes agiles, résultat de l'évolution en génie logiciel dont nous nous sommes inspirés dans cette recherche.

4.1 De l'orienté processus à l'orienté engagement

Dans le domaine de l'AEC, et plus particulièrement dans celui de la construction, des méthodes de gestion de projets dites « innovantes » tendent à s'appliquer depuis quelques années. Ces méthodes orientées processus sont les héritières des méthodes de gestion de la production telle que le taylorisme, le fordisme et le toyotisme, formes particulières de l'organisation scientifique du travail (*scientific management*¹¹).

4.1.1 Historique des méthodes traditionnelles de gestion de la production

4.1.1.1 Le taylorisme, optimisation de la production

Le taylorisme est une méthode de gestion de la production créée par Henry Ford dans les années 1880. Elle a pour objectif l'optimisation de la productivité dans les usines, où le travail à la chaîne est déjà très présent. Le taylorisme consiste à (1) l'analyse détaillée des modes et techniques de production (gestes, cadences, déplacements, etc.), à (2) la création de la meilleure façon de produire en réponse à cette analyse, ainsi qu'à (3) trouver la rémunération la plus motivante pour les ouvriers (Taylor, 1911).

La célèbre anecdote (Taylor *et al.*, 1967) raconte qu'en proposant à un ouvrier d'être accompagné d'un manager lui disant quand travailler, quand se reposer, et en échange d'une augmentation passant de 1,15 \$ à 1,85 \$ par jour, cet ouvrier manipula 50 tonnes d'acier au lieu des 13 quotidiennes habituelles.

Plus concrètement, le taylorisme propose une distinction claire entre deux dimensions complémentaires :

- La dimension verticale : séparation nette entre les activités de conception et les activités de production.
- La dimension horizontale : séparation nette entre chaque tâche devant être effectuée par des ouvriers distincts et spécialisés.

¹¹ Le *scientific management* ou organisation scientifique du travail est une famille de méthodes de gestion et d'organisation du travail dans les ateliers industriels dès la fin du XIX^e siècle.

Les limites de cette méthode ont été exposées dès 1911 (Vatin, 1985). Nous pouvons noter la dépendance des ouvriers aux ingénieurs-managers et le manque de créativité qui en découle. Cela conduit à une « robotisation » des ouvriers, à l'apparition des troubles musculo-squelettiques à cause des répétitions des mouvements inhérents au travail à la chaîne, ainsi qu'à une baisse du moral des ouvriers. D'autres critiques quant aux découpages des dimensions verticales et horizontales sont émises. Le premier découpage, mettant d'un côté les penseurs et de l'autre les exécutants, représente une déshumanisation de l'individu. Le second empêche l'ouvrier de se projeter dans toute la chaîne de fabrication et donc dans la qualité requise du livrable final du client (Suzaki, 1991).

D'autres méthodes de gestion de la production apparaissent peu après et se réclament de l'organisation scientifique du travail de Taylor.

4.1.1.2 Le fordisme, application dans l'automobile

Le fordisme est une méthode de gestion de la production mise en œuvre dès 1908 par Ford dans les usines automobiles éponymes. Cette méthode se revendique de l'organisation scientifique du travail et s'inspire particulièrement du taylorisme en y ajoutant quelques spécificités.

Le découpage des dimensions horizontales et verticales est également appliqué, tandis que l'augmentation des salaires est reprise et transformée pour être indexée sur l'augmentation de la production, et ce afin d'éviter la rotation de l'emploi¹². Les ouvriers sont « exempts de préoccupation étrangère au travail, et donc plus industriels, par conséquent, plus productifs » (Ford & Crowther, 1926). Ford ajouta également à sa méthode l'utilisation de convoyeurs¹³ sur lesquels les ouvriers assemblent les voitures, ainsi que la stricte application de la standardisation des pièces automobiles.

¹² La rotation de l'emploi, renouvellement du personnel ou encore *turn-over* en anglais est un indicateur de l'ampleur des mouvements de personnels pouvant être liés aux mauvaises conditions de travail, au manque de possibilité d'évolution des travailleurs ou à la possibilité d'être mieux payé ailleurs.

¹³ Les convoyeurs sont des dispositifs industriels mobiles faisant avancer la production le long d'une chaîne d'assemblage.

Les critiques exprimées face au fordisme sont sensiblement les mêmes que celle pour le taylorisme. La division stricte des tâches entraîne une déqualification de l'ouvrier¹⁴, le découpage entre dimensions verticales et horizontales isole les ouvriers et l'augmentation des salaires pour justifier un non-roulement des ouvriers accroît la pression sur ces derniers et leur épuisement (Coriat, 1994).

Quelques hypothèses sont formulées afin de remédier aux dysfonctionnements de l'organisation scientifique du travail et sont intégrées dans des méthodes se revendiquant du post-taylorisme ou du néo-taylorisme. Ces hypothèses d'amélioration ont pour but de permettre plus d'implication des ouvriers dans le processus de fabrication et dans la vie de l'usine, et donc plus d'initiatives positives de sa part.

Nous trouvons les propositions suivantes (Blancheton, 2012) :

- La rotation des postes pour éviter la routine et pour garantir une vision globale du produit livrable.
- L'élargissement des tâches pour moins de répétitions physiques et mentales.
- L'enrichissement des tâches pour accorder une responsabilité à l'ouvrier.
- Des groupes semi-autonomes de production qui s'organisent librement.
- Des cercles de qualité, composés d'ouvriers volontaires qui améliorent le processus de production.

4.1.1.3 Le toyotisme, valorisation du personnel

Le toyotisme, ou plus formellement le *Toyota Production System*, est une méthode de gestion de la production inventée par Ōno dans les années 1960 afin de relancer l'économie de Toyota (Ōno, 1988). Cette méthode se veut simple et efficace, tout en palliant les critiques énoncées contre ses prédécesseurs. Les objectifs sont de réduire les coûts de production, d'éviter la

¹⁴ En plus du sentiment de robotisation, des troubles musculo-squelettiques et de la baisse de morale précédemment énumérés.

surproduction et de diminuer les délais, tout en offrant la meilleure qualité possible. Pour cela, Ōno base sa méthode sur les cinq points suivants :

- réduction des « gâchis » (les *muda*, les *muri*, et les *mura*) ;
- maintien d'une qualité optimale tout au long de la chaîne de production ;
- production à flux tendu ;
- implication des ouvriers ;
- amélioration continue de la part de tous les intervenants.

Les *muda* (gaspillages en japonais) concernent tout ce qui est sans valeur pour le client et sont au nombre de sept : attentes, corrections, étapes inutiles, mouvements inutiles, transports, stocks et surproduction.

Les *muri* (excès en japonais) correspondent à diverses surcharges de travail, provoquées par trois facteurs :

- Le personnel : lorsque le nombre de travailleurs n'est pas adapté à la charge de travail proposée.
- Les installations : lorsque la charge de travail est supérieure à la capacité d'une machine.
- Les stocks : lorsque trop de pièces restent immobiles.

Enfin, les *mura* (irrégularité en japonais) sont des gâchis dus aux variabilités provoquées par des machines dont la qualité du produit façonné diffère, aux actions non constantes des opérateurs sur des tâches semblables et aux erreurs de quantités dans les livraisons des fournisseurs.

L'objectif est d'arriver à une production dans laquelle les ouvriers se sentent valorisés et où ils participent plus volontiers à une gestion responsable et donc « au plus juste ». C'est une gestion sans gâchis, basée sur une fabrication sans éléments dispensables appelée *lean manufacturing*¹⁵ (Shah & Ward, 2003). D'autres méthodes telles que la méthode des « zéros » ou encore la méthode des 5S viennent compléter le toyotisme (Gapp *et al.*, 2008). À l'origine au nombre de trois, les zéros synthétisent l'esprit *lean* : zéro

¹⁵ *Lean manufacturing* (la fabrication sans graisse en anglais) terme qui donnera naissance à la méthode de gestion de la production *lean*.

défaut, zéro délai, zéro stock, puis par la suite zéro panne, et zéro papier. La méthode des 5S quant à elle se focalise sur cinq principes, cinq verbes commençant par la lettre S, visant à l'amélioration continue des tâches de production :

- *seiketsu* (propre) : standardiser les règles ;
- *seiri* (ranger) : supprimer l'inutile ;
- *seiton* (ordre) : situer les choses ;
- *seiso* (nettoyage) : (faire) scintiller ;
- *shitsuke* (éducation) : suivre et progresser.

Concrètement, le système de production de Toyota se focalise sur cinq pratiques (Liker, 2005) :

- le juste-à-temps ;
- le *kanban* ;
- le *jidoka* ;
- le *kaizen* ;
- le cercle de qualité.

Le juste-à-temps consiste à minimiser les stocks et à produire seulement quand le client a passé commande. Cela nécessite une coordination très forte entre tous les acteurs.

Le *kanban* (du japonais enseigne, panneau) consiste à demander aux ouvriers de signaler les tâches qu'ils sont en train de réaliser grâce à des fiches cartonnées, chacune correspondant à une tâche particulière. Cette méthode permet de savoir combien de tâches identiques sont en cours et d'orienter les ouvriers sur d'autres tâches pour libérer la file d'attente de production.

Le *jidoka* (de l'anglais japonais *autonotation*, contraction de *autonomous* et de *automation*, soit l'autonomisation des machines) consiste à réduire le nombre d'opérateurs surveillant le bon fonctionnement des machines, en équipant ses dernières de capteurs les rendant plus autonomes.

Le *kaizen* (fusion de *kai* et *zen*, amélioration continue, littéralement changement meilleur) consiste à fréquemment proposer des améliorations, par

petites touches, en incitant les ouvriers à réfléchir à comment améliorer leurs lieux et conditions de travail au service de la productivité.

Le cercle de qualité consiste à régulièrement réunir les acteurs directement concernés par un problème donné pour qu'ils puissent en discuter, en débattre, et proposer une solution. Ce sont eux les mieux placés et les plus à même à proposer une solution efficace pouvant améliorer la qualité du travail. Ce groupe est généralement mené par un animateur fixant l'ordre du jour de la réunion.

Nous assistons, à travers ces différents principes et pratiques, à l'apparition de la notion d'engagement. En effet, la responsabilisation des acteurs implique une forme d'engagement moral de leur part. En échange de plus de « contrôle » sur ce qu'il se passe dans l'usine, les acteurs s'engagent à respecter les accords et à en faire des retours. Nous passons de gestions orientées « processus » à des gestions orientées « pratiques ». Ces différentes pratiques, par ailleurs complémentaires, peuvent être utilisées individuellement selon le contexte, et forment les bases de la méthode *Lean*.

4.1.1.4 Le *Lean manufacturing*

La méthode *Lean* (de l'anglais maigre, sans gras) est une méthode de gestion de la production des années 1990 trouvant ses sources dans la méthode *Toyota Production System* (Womack *et al.*, 1990). La doctrine du *Lean* se concentre sur une gestion de la production sans gaspillages, mais principalement sur les *muda*, qu'ils soient matériels, en déplacements ou encore en corrections d'erreurs (Ignace *et al.*, 2012), pour atteindre la performance en matière de qualité, de productivité, de délais, et de coûts (Krafick, 1988 ; Womack & Jones, 1996). Pour cela, la méthode *Lean* réutilise la plupart des pratiques du toyotisme, en particulier le juste-à-temps, et le *jidoka*.

La méthode *Lean* a donné naissance à plusieurs dérivées et prend désormais le nom de méthode *Lean manufacturing*, ou *Lean production* pour se distinguer. Nous trouvons des méthodes adaptées pour les services administratifs, le développement de produits, le management ou encore le

secteur de la construction, respectivement *lean office*, *lean development*, *lean management* et *lean construction*.

Nous allons nous intéresser à ces deux dernières variantes, qui tendent à s'appliquer de plus en plus dans le secteur de l'AEC.

4.1.2 Les méthodes *Lean* dans le secteur de l'AEC

La philosophie de réduction des gâchis du *lean* a commencé à intéresser le secteur de l'AEC au cours des années 2010 (Dupin, 2014). Il s'agit de réutiliser les principes constitutifs tels que l'amélioration continue ou la réduction des gâchis en mettant en valeur les ressources humaines disponibles.

4.1.2.1 La méthode *Lean management*

La méthode *Lean management* est une méthode dérivée de la méthode *Lean manufacturing*. Elle n'est plus à proprement parler une méthode de gestion de la production, mais plutôt une méthode d'organisation du travail. Elle hérite du *Lean manufacturing* le concept de réduction des *muda* (gaspillages), des *muri* (excès) et des *mura* (irrégularités) (Jacquier, 2013). Le *Lean management* se focalise également sur le *kaizen* (amélioration continue), ou encore la méthode des 5S.

(Koskela, 2000) énumère les dix pertes possibles en gestion de projet, sur lesquelles le *Lean management* doit se concentrer :

- attente d'entrants ;
- comportement déficient ;
- débrouillardise ;
- informations superflues ;
- non-gestion des perceptions ;
- perte de bonnes idées ;
- réalisation non appréciée par le client ;
- résistance au changement ;
- sous-utilisation des talents ;
- transfert de l'information.

Nous observons que le *Lean management* est plus focalisé sur la gestion des informations entre les acteurs d'un projet et sur les interactions entre les acteurs eux-mêmes que le *Lean manufacturing* originel. Le *Lean management* accentue également la responsabilisation des acteurs. Il faut s'assurer qu'ils prennent soin les uns des autres, tout en essayant d'anticiper les besoins de chacun (Womack & Jones, 1996). Elle s'appuie également sur la notion d'engagement.

Sur les chantiers, la méthode *Lean construction* commence à émerger en France depuis les années 2010. Il s'agit toujours d'appliquer la philosophie *lean*, avec une attention particulière donnée aux avis et à l'expérience des ouvriers sur le chantier (Bajjou *et al.*, 2017).

4.1.2.2 La méthode *Lean construction*

Le *Lean construction* a été évoqué pour la première fois en 1993 par l'*International Group for Lean Construction* (Jaafar & Aziz, 2014). (Dupin, 2014) propose la définition suivante : « philosophie visant à la création de valeur pour le client par l'élimination des gaspillages, soutenue par des outils collaboratifs de gestion de projets, s'inscrivant dans le cadre d'une démarche systématique et rigoureuse d'amélioration continue ».

Nous retrouvons les notions de gâchis et d'amélioration continue, cette fois-ci « soutenue » par des « outils collaboratifs de gestion de projets ». Le *Lean construction* s'inscrit dans une démarche d'activité collective contemporaine, où tous les acteurs sont impliqués dans les prises de décisions et responsabilisés. Les conséquences d'une application de cette méthode sur les chantiers sont une diminution du nombre d'accidents, des déchets, et des délais de livraison (Salem *et al.*, 2006).

Une des pratiques utilisées afin de responsabiliser les acteurs à la fois les uns envers les autres et également avec le respect des délais est le *Last Planner System*.

4.1.2.3 La méthode *Last planner System*

La méthode *Last Planner System* (LPS) consiste à procéder à une planification des tâches à faire sur le chantier en sens inverse, en partant de la fin. Il ne s'agit plus de prévoir les opérations à réaliser en fonction de celles qui suivent, puis de les positionner les unes après les autres, mais au contraire de demander au « dernier planificateur » quelles sont les opérations devant être terminées pour qu'il puisse faire son travail.

La méthode LPS préconise la mise en place de réunions de préchantier. Durant ces réunions, les acteurs $n+1$ formulent leurs demandes aux acteurs n , entamant ainsi une négociation quant aux périmètres et aux délais pour effectuer les tâches en jeu. Par la suite, les acteurs n s'engagent à effectuer les tâches en prévision de l'arrivée des tâches des acteurs $n+1$. De nombreuses réunions d'ajustement sont également réalisées durant le chantier afin de s'adapter rapidement aux imprévus. Les tâches sont signalées visuellement sur un planning et permettent à chaque acteur de savoir qui fait quoi, et à quel moment.

Nous assistons à une formalisation concrète de l'engagement, les acteurs n devant absolument réaliser leurs tâches à temps pour le bon accomplissement du chantier. Tout comme le *Lean management* et le *Lean construction*, le *Last planner system* a pour objectif de responsabiliser les acteurs et de les aider à anticiper les besoins de chacun (Ballard, 2000).

Le *serious game* Villego est une pratique collective permettant de mettre en situation de planification *Last planner system* des acteurs de la conception/construction.

4.1.2.4 Le *serious game* Villego

Villego est un *serious game* permettant d'apprendre le fonctionnement de la méthode *Last planner system* (Warcup & Reeve, 2014). C'est un jeu de simulation de chantier dans lequel les joueurs doivent collaborativement construire une maison en Lego, et ce dans un temps donné de 10 minutes. Des pénalités de temps et de score peuvent également être appliquées si la livraison

de la maison présente des réserves ou si des règles de sécurité¹⁶ ne sont pas respectées. Les joueurs ont chacun le rôle d'un acteur du chantier parmi les suivants : trois ouvriers du gros œuvre, un menuisier, un fumiste, un couvreur et un employé d'entreprise générale.

Le jeu se décompose en deux manches : la première dans laquelle les joueurs s'organisent comme ils le souhaitent et la deuxième dans laquelle l'animateur du Villego leur présente la méthode *Last planner system* qu'ils devront alors appliquer. Ils devront organiser une réunion de préchantier en suivant les principes du dernier planificateur, puis des réunions régulières durant la construction de la maison. La réunion de préchantier consiste à réaliser un planning géant, affiché à la vue de tous sur un mur de la salle où se déroule le jeu.

Nous avons utilisé ce *serious game* comme introduction à la coordination en gestion de projet à nos étudiants du Master 2 Design Numérique Architecture¹⁷ depuis plusieurs années. Lors des premières manches, les étudiants terminent généralement la maison au bout de 25 minutes, avec des réserves de fabrication et des pénalités diverses (sécurité, absences sur le chantier, etc.) Lors des secondes manches et après avoir appliqué la méthode *Last planner system*, les étudiants parviennent tous à livrer la maison en Lego en moins de 5 minutes, avec peu ou pas de réserves ni pénalités.

Nos observations montrent que la réunion de coordination précédant le chantier, ainsi que celles organisées pendant le jeu de manière cyclique permettent aux acteurs de mieux se coordonner. Le planning affiché à la vue de tous permet également à chacun de savoir qui fait quoi, à quel moment, et de rapidement s'adapter si des erreurs ont été commises sur le chantier de jeu.

Nous allons désormais nous intéresser à une méthode qui tend à mettre de côté le processus pour se concentrer sur la conception et ce en réponse à l'évolution des besoins en innovation, la théorie C-K.

¹⁶ Port du casque dans la zone de jeu alors représenté par une casquette.

¹⁷ Le master Design : Design Numérique Architecture, anciennement master Architecture Modélisation et Environnement est un master proposé par l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy en partenariat avec l'Université de Lorraine. Ce master peut être suivi après un M1 en architecture, un M1 en Design Global, ou une seconde année d'école d'ingénieur.

4.1.3 La théorie C-K

La théorie C-K (pour *Concept-Knowledge*) est une méthode de modélisation et de création de solutions innovantes issue du monde de l'ingénierie. Formalisée par Hatchuel puis développée par ce dernier et Weil (Hatchuel *et al.*, 2014 ; Masson & McMahon, 2016), elle s'appuie sur la navigation entre deux espaces :

- un espace de Connaissances — K (pour *Knowledge*) ;
- un espace de Concepts — C (pour *Concept*).

L'espace de connaissances est défini comme un ensemble de propositions ayant toutes un statut logique tandis que l'espace de concepts est rempli de propositions dites « indécidables et dépourvues de statut logique » (Hatchuel & Weil, 2008).

L'objectif de la théorie C-K est de répondre à un besoin d'innovation grandissant là où la traditionnelle conception réglée¹⁸ ne suffit plus. Il s'agit d'adopter une démarche de conception dans laquelle l'objet à concevoir n'est pas défini dès le départ tandis que les connaissances nécessaires à la proposition sont considérées comme « en évolution » tout au long du projet. Cette théorie emprunte néanmoins aux méthodes de conception réglée (ou systématiques) telle que la conception axiomatique.

4.1.3.1 La conception axiomatique

La conception axiomatique est une méthode développée par Suh Nam Pyo dans les années 1980 (Suh, 2001) pour concevoir des systèmes en optimisant des matrices qui mettent en relation des besoins fonctionnels (*functional requirements*) avec des paramètres de conception (*design parameters*). Pour cela, la méthode se base sur ces deux axiomes :

- maintenir l'indépendance des besoins fonctionnels ;
- minimiser la quantité d'informations dans la conception.

¹⁸ La conception réglée (ou systématique) consiste en l'application d'un processus systématique en réponse à un problème de conception donné. Elle se base sur un partage des connaissances et des tâches à réaliser entre différents acteurs ou bureaux de conception et à leur optimisation.

Cette méthode permet d'analyser de manière objective et systématique la cohérence du passage des besoins fonctionnels en paramètres de conception grâce à l'utilisation d'une matrice, la matrice de Suh.

4.1.3.2 Définition de la matrice de Suh

La matrice de Suh est un tableau avec en ligne les techniques utilisées (ou paramètres) pour la complétion de l'objectif, et en colonnes les fonctions attendues. Chaque case décrit la contribution d'une technique à la réalisation de la fonction correspondante. Une technique peut correspondre à plusieurs fonctions et inversement. Il s'agit ensuite d'analyser la matrice et de la simplifier en supprimant des paramètres de conception qui formeraient des doublons ou en essayant de les fusionner sans toucher aux besoins fonctionnels.

4.1.4 Conclusion

Nous pouvons faire le parallèle entre la méthode *Lean* originelle, ainsi que ses dérivés *Lean management* et *Lean construction*, et la technologie BIM, dans le sens où chacun a dans sa philosophie la volonté de réduire les gaspillages, et donc de réduire le « travail à refaire », tout en impliquant les différents acteurs du projet en les engageant dans les discussions et en les responsabilisant (Sacks *et al.*, 2010). Nous observons également que le monde de l'ingénierie a formalisé une méthode de conception basée non plus sur le processus mais sur la finalité de l'objet à concevoir. Cette finalité est issue de l'utilisation d'une matrice mettant en relation les paramètres de conception et les besoins fonctionnels. Au vu de ces similitudes, nous pouvons nous interroger sur le fait que ces méthodes ne soient pas appliquées au domaine de la conception en architecture. Des domaines tels que celui du génie logiciel ont formulé des propositions suite à des changements majeurs dans leur industrie.

4.2 La conception en génie logiciel

Le chapitre précédent a montré que la technologie BIM relevait des TIC. Nous avons choisi de nous intéresser aux domaines dans lesquels elles sont

utilisées et proposant des caractéristiques semblables à celui de l'AEC. Le domaine du génie logiciel est un domaine qui a beaucoup changé durant ces vingt dernières années. Il a dû faire face à des évolutions majeures concernant les besoins sur les données, les applications et les interfaces. La gestion de projet en génie logiciel s'est adaptée à ces problématiques en réponse aux échecs des méthodes dites « classiques ».

4.2.1 Historique du génie logiciel

Le génie logiciel est « l'ensemble des activités de conception et de mise en œuvre des produits et des procédures tendant à rationaliser la production du logiciel et son suivi » (Strohmeier & Buchs, 1999). Plus spécifiquement, le génie logiciel concerne les méthodes de travail employées par les ingénieurs logiciels durant toutes les étapes du cycle de vie d'un logiciel, de l'analyse fonctionnelle à la maintenance, en passant par l'architecture, la programmation, la phase de test, ou encore la validation, le tout cadré par de la gestion de projet (Bourque & Fairley, 2014). Le terme de *software engineering* a été inventé en 1967 par Margaret Hamilton (Rayl, 2018), alors directrice du département de génie logiciel du MIT¹⁹.

Le terme de génie logiciel désigne le fait de rechercher des méthodes de travail adaptées à la complexité croissante des logiciels, découlant de l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, du changement de destination des logiciels et de l'apparition des nouveautés telles que les interfaces ou les bases de données. Ces logiciels de plus en plus complexes entraînent une baisse de qualité de produit final, des retards de livraison, une augmentation du coût de conception, une baisse de la fiabilité, une baisse des performances et une augmentation du coût de maintenance (Sommerville, 2006).

Afin de répondre à ces problématiques nouvelles, les années 1970 voient apparaître les premiers éditeurs de logiciels, et avec eux les premiers métiers

¹⁹ Il s'agit du département qui a développé dès 1961 le système embarqué du programme Apollo au *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, États-Unis.

véritablement destinés au génie logiciel, mais surtout une professionnalisation de la gestion de projet en conception logicielle.

4.2.2 Domaines de connaissances du génie logiciel

Le domaine du génie logiciel a dû très vite faire face à une augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs et donc de changements de la demande et des besoins des logiciels à concevoir. Divers domaines de connaissances spécifiques aux activités du cycle de vie du logiciel précédemment citées se sont ainsi développés (Birrell & Ould, 1988).

Ces domaines de connaissances sont les suivants :

- analyse des besoins ;
- conception ;
- construction ;
- tests ;
- maintenance ;
- gestion de projet ;
- outils et méthodes ;
- gestion de la qualité ;
- gestion de la configuration.

Le domaine de connaissance de la gestion de projet est le domaine qui concerne l'organisation des équipes de conception, la répartition des tâches, la gestion du besoin, la gestion du développement ou encore la gestion du planning et constitue alors un ensemble de méthodes et de pratiques d'encadrement du développement. Nous pouvons lister les quatre méthodes de développement logiciel les plus couramment utilisées : la méthode en cascade, la méthode en V, la méthode itérative, et la méthode agile (Strohmeier & Buchs, 1999 ; Schuh, 2004).

4.2.3 Méthodes de développement

Les méthodes de développement sont des méthodes de gestion de projet spécifiques au domaine du génie logiciel et ont pour objectif premier d'ordonner les différentes étapes de développement du logiciel (analyse

fonctionnelle, programmation, phase de test, validation, etc.), tout en proposant des pratiques dites « bonnes » pour assurer la coordination entre les acteurs du projet.

La méthode en cascade est la méthode classique de développement logiciel. Elle a été présentée par Royce en 1970 (Royce, 1987) et se base sur l'héritage du secteur du BTP. Elle consiste à effectuer successivement, à la manière d'une cascade, les étapes d'analyse fonctionnelle, de conception, de programmation puis de test. Elle présente l'avantage d'un développement linéaire assez prédictif permettant au client d'avoir un planning, mais possède un inconvénient majeur : sa faible tolérance à l'erreur et donc de la seule possibilité de ne revenir qu'à l'étape précédente ou alors devoir remonter à la base de la cascade (cf. Figure 7).

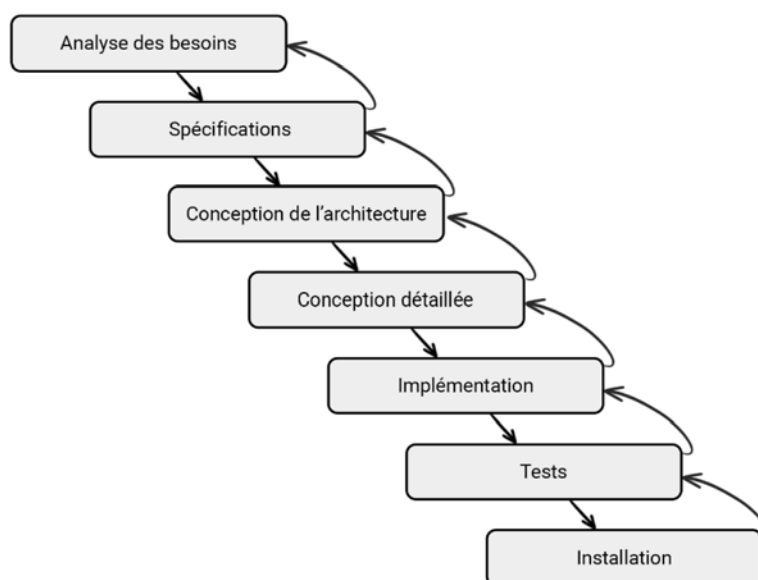


Figure 7 : cycle de développement en cascade

La méthode en V a été adoptée dans les années 1980 pour répondre à cette problématique et consiste en une amélioration de la méthode en cascade. L'objectif est de pouvoir valider chaque étape de développement avant de passer à la suite. Chaque phase de conception est associée à une phase de test et de validation (cf. Figure 8). L'avantage est donc la possibilité de corriger des éléments du projet au fur et à mesure de l'avancement de celui-ci. En revanche, plusieurs critiques notent notamment le manque de souplesse du modèle ainsi

que l'écart entre la théorie du modèle et la pratique du développement (Raccoon, 1997 ; Black, 2011).

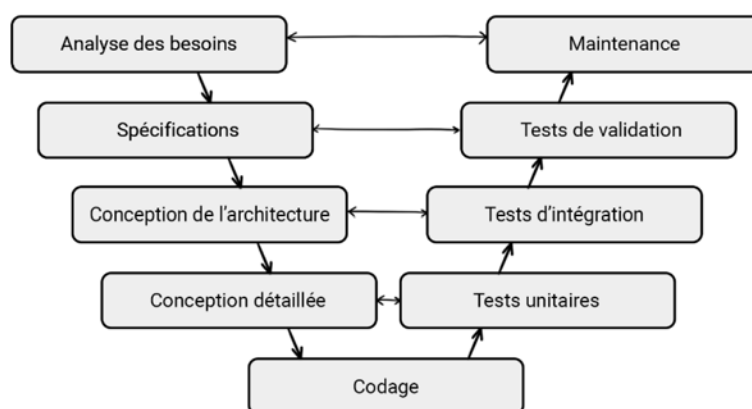


Figure 8 : cycle de développement en « V »

La méthode itérative consiste à effectuer ces mêmes étapes de développement, mais de manière plus réduite pour chacune. Quelques fonctions du logiciel sont développées lors d'une première itération, puis ces fonctions sont incrémentées après avoir été validées ou d'autres sont créées lors d'itérations successives, à la manière d'un cycle en spirale²⁰.

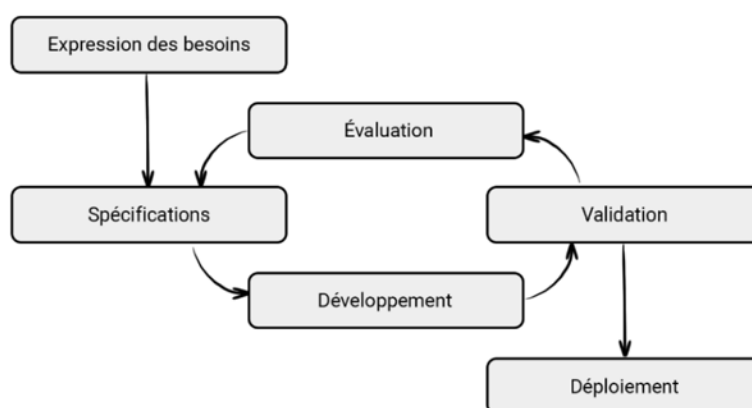


Figure 9 : cycle de développement itératif

Les méthodes agiles (car il en existe plusieurs) raccourcissent le cycle de développement en spirale de la méthode itérative, et ajoutent une forte couche de collaboration entre tous les acteurs du projet, tout en intégrant l'utilisateur

²⁰ La méthode itérative est en grande partie inspirée de la méthode en spirale de Boehm (Boehm, 1988).

final dans l'équipe (le client ou son représentant). Ces méthodes sont des réponses aux changements fréquents des besoins utilisateurs (Collier, 2011). Elles sont parfois appelées méthodes itératives incrémentales adaptatives en raison de leur cycle de développement qui permet d'ajouter des fonctionnalités selon un rythme régulier tout en permettant au projet de répondre à des besoins évolutifs (Greer & Ruhe, 2004).

Le domaine du génie logiciel propose un contexte voisin à celui de la conception architecturale, dans le sens où il a vécu une crise technologique amenant à un besoin rapide d'évolution des méthodes de gestion de projet, comme le domaine de la conception architecturale de nos jours avec l'apparition de la technologie BIM. Les projets dans les deux domaines sont de plus en plus complexes, avec des budgets de plus en plus réduits, et nécessitent une réponse dans le champ des sciences collaboratives de gestion de projet.

4.2.4 Conclusion

Le domaine du génie logiciel a beaucoup évolué depuis son apparition dans les années 1970. L'apparition de besoins clients de plus en plus complexes a transformé le processus de développement et a favorisé l'émergence de nouvelles méthodes de gestion de projet plus adaptées. Nous sommes passés de méthodes de développement linéaires à des méthodes plus empiriques et permettant une plus grande réactivité de la part de concepteurs : les méthodes agiles.

4.3 Une transition agile

Les méthodes *Lean*, héritières d'un long processus d'adaptation de la production, se concentrent sur la réduction de gâchis et des éléments n'apportant pas de plus-value au client. Le domaine du génie logiciel a quant à lui fait évoluer ses méthodes de développement pour répondre à l'évolution de son marché. Les besoins du client ont évolué en même temps que les technologies disponibles et ont amené des projets de plus en plus complexes et des cahiers des charges pouvant changer rapidement. C'est la gestion des

acteurs, de leur communication et de leur coordination grâce à l'agilité qui a permis au génie logiciel de faire face au changement.

Nous allons dans cette partie définir l'agilité et chercher à savoir quelles sont les méthodes les plus pertinentes à comparer avec le domaine de l'AEC.

4.3.1 Qu'est-ce que l'agilité

La partie précédente a montré que le monde du génie logiciel avait dû s'adapter à la complexité des projets et aux besoins fluctuants du client en proposant des méthodes de gestion de projet dites « agiles ». Ces méthodes de gestion de projet ont un objectif principal : la satisfaction du client.

Une enquête de 1994 fait le constat suivant : 31 % des projets informatiques ne voient pas le jour, 52 % sont terminés hors délais et hors budget tout en offrant moins de fonctionnalités qu'il n'en était demandé et seuls 16 % des projets peuvent être considérés comme des succès de la part des clients (The Standish Group, 1994).

4.3.1.1 Définition de l'agilité

Les méthodes agiles sont des méthodes de gestion de projet ayant émergées dans les années 1990. Elles cherchent à impliquer au maximum le client, ou son représentant, afin de mieux comprendre ses besoins. Ces derniers peuvent beaucoup varier au cours de l'évolution du projet et nécessitent donc une grande réactivité de la part des concepteurs. Les méthodes agiles s'inscrivent dans un cycle de conception/production dit itératif, incrémental et adaptatif, ce qui permet de faire évoluer le projet de manière cyclique, par ajouts successifs tout en permettant une réorientation rapide. L'idée est d'adopter une approche empirique à la place d'une approche prédictive.

Un manifeste tente de donner une définition commune à ces méthodes.

4.3.1.2 Le manifeste agile

C'est en 2001 qu'un groupe d'experts en génie logiciel publie le manifeste agile (Beck *et al.*, 2001). Ce document donne une définition de l'agilité qui se focalise sur l'implication continue du client dans le processus de

développement logiciel et sur la valorisation des équipes de conception. Ce document formalise les objectifs de l'agilité en définissant quatre valeurs et douze principes sur les bases des méthodes agiles déjà utilisées en conception logicielle, telles que la méthode RAD, la méthode XP ou encore la méthode *Scrum*.

Le manifeste propose quatre valeurs comme définissant l'agilité²¹ :

- « les individus et leurs interactions plus que les processus et les outils ;
- des logiciels opérationnels plus qu'une documentation exhaustive ;
- la collaboration avec le client plus que la négociation contractuelle ;
- l'adaptation au changement plus que le suivi d'un plan ».

Les méthodes agiles misent, par définition, sur les aspects coordination et communication plutôt que sur l'aspect processus. Dans la lignée des méthodes *Lean*, l'agilité se concentre sur les relations entre tous les acteurs de la conception et leurs engagements les uns avec les autres. Les quatre valeurs montrent respectivement que l'équipe, et par conséquent les interactions entre les uns et les autres, est plus importante que les processus et les outils à leur service ; que le logiciel est plus important qu'une documentation rédigée pour le décrire, amenant la notion de livrable fonctionnel ; que l'intégration du client au plus tôt dans les phases de conception est plus bénéfique que de le garder à distance ; et enfin que les changements en cours de projet existent, et qu'il est nécessaire de s'y préparer et de les accueillir.

Par ailleurs, le manifeste précise douze principes sous-jacents :

- « Notre plus haute priorité est de satisfaire le client en livrant rapidement et régulièrement des fonctionnalités à grande valeur ajoutée.

²¹ Tirés du manifeste agile disponible ici : <http://agilemanifesto.org/iso/fr/principles.html>

- Accueillez positivement les changements de besoins, même tard dans le projet. Les processus agiles exploitent le changement pour donner un avantage compétitif au client.
- Livrez fréquemment un logiciel opérationnel avec des cycles de quelques semaines à quelques mois et une préférence pour les plus courts.
- Les utilisateurs ou leurs représentants et les développeurs doivent travailler ensemble quotidiennement tout au long du projet.
- Réalisez les projets avec des personnes motivées. Fournissez-leur l'environnement et le soutien dont ils ont besoin et faites-leur confiance pour atteindre les objectifs fixés.
- La méthode la plus simple et la plus efficace pour transmettre de l'information à l'équipe de développement et à l'intérieur de celle-ci est le dialogue en face à face.
- Un logiciel opérationnel est la principale mesure d'avancement.
- Les processus agiles encouragent un rythme de développement soutenable. Ensemble, les commanditaires, les développeurs et les utilisateurs devraient être capables de maintenir indéfiniment un rythme constant.
- Une attention continue à l'excellence technique et à une bonne conception renforce l'agilité.
- La simplicité, c'est-à-dire l'art de minimiser la quantité de travail inutile, est essentielle.
- Les meilleures architectures, spécifications et conceptions émergent d'équipes auto organisées.
- À intervalles réguliers, l'équipe réfléchit aux moyens de devenir plus efficace, puis règle et modifie son comportement en conséquence ».

Nous observons que ces douze principes constituent un ensemble de « bons conseils » ou de « bonnes pratiques ».

4.3.1.3 Les concepts de l'agilité

L'agilité repose sur quatre valeurs que nous pouvons associer aux concepts de l'activité collective :

- Les individus avant les processus font échos à l'intelligence collective et à la conscience mutuelle de groupe.
- Les logiciels opérationnels font échos au besoin de montrer quelque chose au client, aux objets intermédiaires, et donc à réaliser des livrables.
- La collaboration avec le client fait écho aux livrables, mais également à l'activité d'évaluation externe.
- L'adaptation au changement fait écho à l'amélioration continue et à l'empirisme.

Les douze principes agiles, quant à eux, précisent la définition de l'agilité. Nous pouvons synthétiser les concepts suivants de ce qui ressort le plus : satisfaction client, cycle de travail court, livrables, acceptation du changement et empirisme, communication avec l'utilisateur, réduction des gaspillages, intelligence collective, conscience mutuelle et amélioration continue.

Nous pouvons donc considérer qu'une conception architecturale agile devra également reposer sur ces différents concepts.

4.3.2 Les méthodes agiles traditionnelles

Avant la publication du manifeste agile en 2001, quelques méthodes agiles étaient déjà appliquées en conception logicielle. Nous allons présenter les plus fréquemment citées (Lindvall *et al.*, 2002 ; Zelkowitz, 2004). Ces méthodes sont dites différenciatrices et présentent donc des caractéristiques différentes, mais répondent toutes à l'objectif principal de l'agilité : la satisfaction client. Les pratiques constituant ces méthodes peuvent en théorie être utilisées partout, individuellement ou couplées à d'autres (Kniberg, 2015) et proposent donc un caractère malléable.

4.3.2.1 *Rapid Application Development*

La méthode *Rapid Application Development* ou RAD est la première méthode agile de gestion de projet en rupture totale avec le cycle auparavant classique de développement en cascade (cf. 4.2.3 Méthodes de développement). Ce nouveau cycle de développement est qualifié d'itératif, incrémental et adaptatif. Cette méthode a été publiée en 1991 par James Martin (Martin, 1991).

La méthode RAD préconise des phases d'évaluations individuelles puis collectives du code produit avant de l'intégrer rapidement dans le projet. Nous trouvons également des phases de programmation en binôme pour les parties les plus stratégiques, permettant à la fois d'augmenter la capacité à déceler des erreurs, mais également d'augmenter la créativité.

Par ailleurs, la méthode RAD introduit le rôle de facilitateur. Cette personne, externe à l'équipe de développement, permet d'avoir un recul sur le projet. En fonction de l'évolution du projet, que ce soit sur le plan technique, économique ou stratégique, ce représentant du client peut prendre des décisions afin de réorienter le projet de manière objective. Le facilitateur a également pour mission de proposer des solutions aux problèmes que lui rapporterait l'équipe de conception.

La méthode RAD propose dans sa version 2 une plus grande souplesse quant à la taille des groupes de conception et ce afin d'optimiser les ressources humaines en fonction de la nature du projet. Elle apporte également une plus grande considération à la communication entre les acteurs de la conception en mettant en place des groupes d'animation et de rapport. Ces groupes sont chargés de l'évaluation et de la validation. Enfin, la version 2 offre la possibilité de proposer des livrables de fonctionnalités réduites afin d'écourter encore plus la durée des cycles de développement.

4.3.2.2 *Extreme programming*

Extreme programming ou XP, est une méthode agile de gestion de projet orientée production logicielle, inventée par Kent Beck, Ward Cunningham et Ron Jeffries, utilisée dès 1996, et documentée en 1999 (Beck, 2004).

Elle repose sur cinq valeurs :

- la communication entre tous les acteurs ;
- la simplicité ;
- de nombreuses rétrospectives ;
- le courage ;
- le respect.

Les pratiques de cette méthode sont l'application de cycles très rapides, avec peu de fonctionnalités à faire. Dès que les tâches sont terminées, elles sont implémentées dans le logiciel, créant ainsi une intégration continue. Nous trouvons aussi une très forte implication du client ou de son représentant qui participe activement aux prises de décisions. L'équipe de conception souhaite parfois avoir le client ou son représentant directement sur site (Koskela & Abrahamsson, 2004). La méthode XP préconise également l'utilisation du *Planning Poker*, un jeu de cartes d'assistance à la communication et à la planification (Grenning, 2002 ; Haugen, 2006). Ce jeu de cartes permet d'estimer la complexité et la durée des tâches de conception à réaliser tout en mettant en confrontation les joueurs face aux estimations des autres.

Concernant l'équipe de conception, elle doit être de petite taille, c'est-à-dire composée de moins de 20 membres. Ils ne doivent jamais faire d'heures supplémentaires pour être tout le temps efficace et peuvent pratiquer la programmation en binôme. Tout comme dans la méthode RAD, cette pratique consiste à positionner deux concepteurs l'un à côté de l'autre et à les faire écrire le code en collaboration. Dans la méthode XP, il est conseillé de pratiquer la programmation en binôme le plus souvent possible.

4.3.2.3 Scrum

La méthode *Scrum* (mêlée en anglais) est une méthode agile de gestion de projet associant un processus de travail composé de courtes itérations appelées « sprints » au bout desquelles des livrables sont proposés ainsi que des pratiques appliquées tout au long de ces sprints. Cette méthode a été initialement théorisée par Takeuchi et Nonaka en 1986 sous le nom de « *rugby approach* » par analogie avec une équipe de rugby qui avancerait unie pour

faire avancer la balle. La méthode *rugby approach* était initialement destinée au secteur industriel, et proposait une production itérative et multidisciplinaire (Takeuchi & Nonaka, 1986). C'est en 2001 que Schwaber et Beedle décrivent la méthode appelée *Scrum* encore utilisée aujourd'hui (Schwaber & Beedle, 2001).

La méthode consiste à écrire des scénarios d'usage, appelés *user stories*, dans lesquels les concepteurs se projettent comme des utilisateurs potentiels du futur logiciel ou de la future interface. En tant que futurs visiteurs du site web, ils procèderaient par exemple de la manière suivante : « En tant que visiteur du site web, je dois pouvoir me connecter à mon espace personnel en moins de deux clics ». Ces *user stories* seront ensuite classées de façon prioritaire par l'équipe dans un *product backlog*, traduisible par « carnet du produit ». Lors d'une réunion, les membres de l'équipe planifient ensuite les *user stories* qu'ils se sentent capables de réaliser durant le sprint à venir, et les écrivent dans le *sprint backlog*, carnet cette fois dédié au cycle en cours.

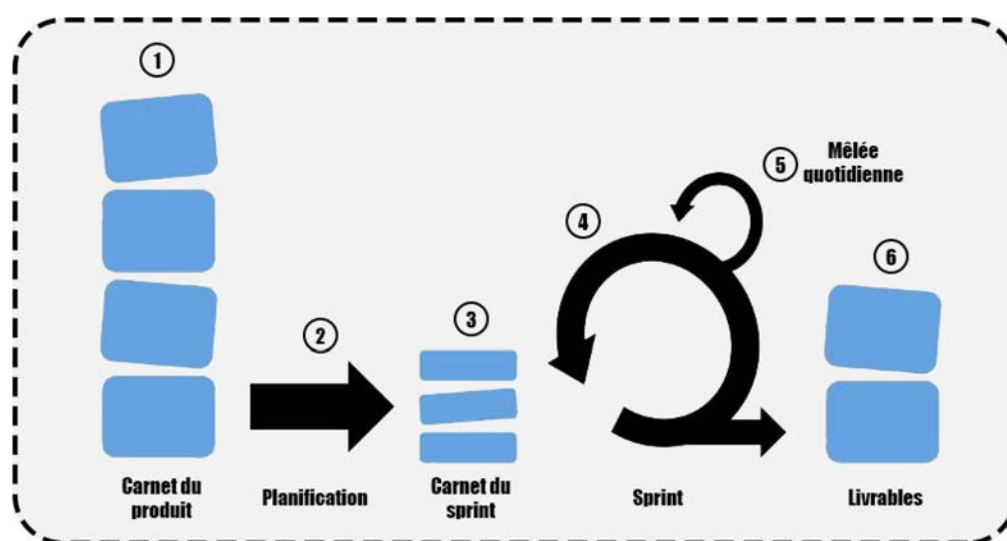


Figure 10 : cycle de développement *Scrum*

Durant ce sprint, l'équipe travaillera à la réalisation de tâches pour répondre aux usages des *user stories*. Il s'agit donc de transformer les besoins du client en intentions conceptuelles puis en tâches de conception. Tandis qu'un sprint dure en général d'une à quatre semaines, chaque jour l'équipe de conception doit pratiquer une réunion, appelée *daily scrum* (mêlée

quotidienne). Durant cette réunion, les concepteurs échangent rapidement sur leur état d'avancement et sur les problèmes éventuels.

Lorsque toutes les *user stories* sont terminées ou que le sprint touche à sa fin, les concepteurs organisent une réunion avec les clients, ou leur représentant, appelée *sprint review*, dans laquelle ils présentent des livrables montrant les *user stories* complétées. Cela peut être une démonstration, un visuel, un tableau ou n'importe quel élément visualisable. Le *product backlog* est mis à jour, tandis qu'un énième sprint est prêt à recommencer. Les concepteurs réalisent une autre réunion, appelée la *sprint retrospective* dans laquelle ils énumèrent les points positifs et les points négatifs du sprint tout juste réalisé, dans le but d'améliorer le sprint à venir. Chaque sprint, donc chaque itération permet d'incrémenter le projet de fonctionnalités, et les nombreuses réunions permettent de proposer une forte adaptabilité, tout en améliorant la cohésion de groupe, la conscience mutuelle et le partage de connaissances (Paasivaara *et al.*, 2009 ; Sutherland & Schwaber, 2011 ; Weinreich *et al.*, 2015).

4.3.2.4 Conclusion

Les méthodes agiles les plus populaires que sont RAD, XP et *Scrum* se basent sur plusieurs pratiques d'assistance à la communication et à la coordination. La méthode RAD préconise la mise en place du rôle de facilitateur ayant pour mission de prendre des décisions en tant que « représentant du client » ainsi que de trouver des solutions aux problèmes de l'équipe de conception. Elle introduit également la pratique du codage en binôme. XP mise sur l'intelligence collective en réutilisant la pratique de facilitateur, tout en favorisant l'émergence d'une cohésion de groupe. Elle met également en place des sessions de *planning poker* pour estimer la durée des tâches à réaliser. Enfin, *Scrum* instaure un cycle de développement régulier dans lequel s'inscrivent des réunions quotidiennes. Ces réunions permettent aux acteurs de la collaboration d'échanger sur leur avancement et sur leurs besoins. *Scrum* peut également s'appuyer sur des sessions de *planning poker*.

Nous constatons que ces trois méthodes agiles possèdent des caractéristiques communes et misent sur des pratiques facilement applicables

dans l'une ou l'autre méthode, les rendant malléables. Les pratiques utilisées dans la plupart des méthodes agiles sont compatibles entre elles. (Kniberg, 2015) propose l'utilisation conjointe de *Scrum* et XP, en mélangeant les pratiques telles que le *planning poker*, le code en binôme, ou encore le rôle de facilitateur.

4.4 Conclusion du chapitre

Nous avons en premier lieu vu dans ce chapitre, au travers de l'historique de la gestion de projet, que les différents secteurs industriels sont passés de méthodes orientées processus, dans lesquelles il s'agit d'optimiser la production en rationalisant les ressources et les procédés, à des méthodes orientées pratiques dans lesquelles l'accent est mis sur la responsabilisation et l'investissement des acteurs. Ces méthodes ont donné naissance à la famille des méthodes *Lean*, dont des variantes sont appliquées dans le secteur de la construction.

En nous penchant sur le domaine du génie logiciel, nous avons constaté que les méthodes de développement se sont adaptées en réponse à l'évolution des technologies et des besoins des clients. Les méthodes classiques de développement linéaire ont laissé place à des méthodes de plus en plus poussées pour permettre d'assurer une évaluation et une validation des fonctionnalités développées. La méthode en cascade a donné naissance à la méthode en V, puis à la méthode itérative et enfin aux méthodes agiles. Ces méthodes agiles sont des méthodes de gestion de projet dont l'objectif principal est la satisfaction du client. Elles reposent sur quatre valeurs qui favorisent l'intelligence collective, la réalisation de livrables, l'intégration du client et l'adaptation au changement notamment au travers d'un cycle de développement itératif, incrémental et adaptatif.

Nous nous sommes intéressés aux méthodes agiles les plus reconnues. Ces méthodes misent sur des pratiques qui favorisent la coordination et la communication entre tous les acteurs de la conception. Une des caractéristiques de l'agilité est sa malléabilité qui autorise le choix des pratiques intéressantes à exploiter et de les mélanger avec d'autres.

Seconde partie : Proposition de pratiques BIM-Agiles

Nous allons développer dans cette seconde partie la genèse de la proposition des pratiques agiles pour la conception architecturale. Le cinquième chapitre précisera les enjeux de ce travail de recherche et la méthodologie générale, ce qui nous permettra de donner une définition de l'agilité en conception architecturale. Dans un second temps, il s'agira de présenter la phase d'identification et de sélection des pratiques agiles candidates. Enfin, le dernier chapitre exposera l'adaptation de ces pratiques agiles au monde de l'architecture, leur expérimentation, puis leur évaluation.

Chapitre 5 : L'agilité en conception architecturale

Ce chapitre précisera tout d'abord les enjeux et les objectifs de notre proposition. Ils sont issus des contextes globaux de la conception architecturale collaborative et s'appuient sur l'expérience du laboratoire dans la modélisation de l'activité collective de conception architecturale et sur son assistance. La méthode proposée repose sur l'identification de pratiques agiles, de leur sélection, de leur adaptation puis de leur expérimentation en conception BIM auprès d'étudiants. Nous devons dès lors développer notre méthode, définir ce qu'est une pratique agile et préciser les liens entretenus avec la conception BIM.

5.1 Verrous de l'étude et enjeux de la proposition

Les chapitres précédents ont précisé les verrous que constituait l'intégration de la technologie BIM en conception architecturale. Les enjeux de cette proposition s'inscrivent à l'intersection de la conception collaborative, des pratiques et usages issus de la technologie BIM et du contexte socio-économique de l'AEC. Elle s'appuie sur les connaissances produites par la recherche et sur le contexte des études réalisées dans le laboratoire MAP-CRAI.

5.1.1 Bilan des verrous

Le chapitre premier a permis de repréciser les notions telles que l'activité, la pratique ou encore l'outil, permettant de dessiner le cadre conceptuel de la conception collaborative en architecture utilisé au sein du laboratoire. Nous avons également décrit la situation de rupture apportée en France par la technologie BIM qui crée un climat de méfiance auprès des architectes. Ce climat de méfiance est supporté par un manque de formation quant à la manière de communiquer et de se coordonner dans un environnement de conception BIM.

Nous nous sommes ensuite penchés dans le deuxième chapitre sur la conception architecturale et l'activité collective. Cela nous a permis de souligner que la conception architecturale est faite d'objets intermédiaires soutenus par des analogies, entraînant *de facto* la nécessité de se projeter dans le discours du concepteur et de partager des références communes. L'assistance aux activités cognitives de la conception, c'est-à-dire l'idéation, la génération et l'évaluation représente un levier d'amélioration pertinent pour permettre aux individus de former un groupe de conception.

Le chapitre 3 s'intéresse aux TIC dont fait partie la technologie BIM et conclut que ces dernières souffrent d'un manque d'assistance à la communication et à la coordination. Une meilleure gestion de l'interopérabilité coordinatrice de la technologie BIM et donc des échanges dans un groupe de conception esquisse une meilleure gestion des informations BIM. L'assistance aux activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation des intentions

architecturales et des tâches de conception BIM peut alors favoriser la coordination et la communication dont manque la conception BIM.

Enfin, le chapitre 4 nous a montré que d'autres domaines de production et de conception sont passés de méthodes de gestion de projet orientées processus à des méthodes de gestion de projet orientées engagement et pratiques collectives. Ces méthodes misent sur l'intelligence collective, la réalisation de livrables, l'intégration du client ou encore l'adaptation au changement. Ces méthodes dites « agiles » sont constituées de pratiques se focalisant sur la coordination et la communication et peuvent donc être source d'inspiration pour trouver des activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation des intentions. Ces pratiques agiles sont malléables et sont utilisées dans plusieurs autres méthodes agiles en fonction des contextes et des besoins.

Notre hypothèse est donc que l'insertion de pratiques agiles misant sur (1) l'élicitation, (2) le raffinement et (3) l'évaluation des intentions architecturales et des tâches de conception BIM au sein des activités de conception collaborative BIM ((a) l'idéation, (b) la répartition, (c) la génération et (d) l'évaluation) permettra d'assister la (y) coordination et la (z) communication dans le but d'une meilleure appropriation de la technologie BIM et donc *in fine* de l'amélioration de l'acte de concevoir collaborativement en architecture.

5.1.2 Un terrain d'étude pédagogique

Le laboratoire du MAP-CRAI est situé dans les locaux de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy et est également très présent dans la vie de l'école. Les enseignants du champ STA²² enseignent le numérique et le projet architectural aux étudiants-architectes. J'ai la chance d'avoir intégré cette équipe pédagogique durant l'année 2013-2014.

Mon travail de recherche s'inscrit dans un contexte pédagogique pour plusieurs raisons. La première est le lien avec le Master 2 DNA, proche de la recherche, permettant de réaliser des expérimentations pédagogiques avec des

²² Sciences et Techniques pour l'Architecture : champ disciplinaire des écoles d'architecture en France

étudiants présents pour un semestre complet. La seconde découle de l'hypothèse que des expérimentations pédagogiques puissent ensuite ruisseler vers le professionnel par le biais des étudiants en stage ou par la suite par leur propre professionnalisation. La troisième relève plus de la contrainte. Il est difficile de réaliser des expérimentations en contexte professionnel dans les agences, pour les raisons précédemment énumérées concernant la technologie BIM et car cela agit directement sur la manière de travailler.

Nous avons décidé de réaliser des expérimentations pédagogiques au sein du Master DNA, dont les promotions varient chaque année de 15 à 25 étudiants. Les étudiants ont un emploi du temps régulier, basé sur des cours par demi-journée ou par journée entière. Nous remarquons dès lors qu'il existe plusieurs temporalités d'enseignements :

- l'enseignement classique, d'une durée d'une journée maximum ;
- l'enseignement long, d'une journée chaque semaine durant tout le semestre ;
- l'enseignement intensif sur une semaine continue.

Dans ce contexte, trois types d'expérimentations sont possibles : (1) l'expérimentation courte lors d'exercices durant mes cours de gestion de projet agile afin de valider rapidement la pertinence d'une pratique ; (2) l'expérimentation longue durant le studio de projet architectural collaboratif pour les pratiques nécessitant un long temps d'application ; et (3) l'expérimentation moyenne, lors de la semaine intensive finale du semestre où les étudiants doivent appliquer tout ce qu'ils ont appris lors de la formation proposée en DNA, qui permet de combiner plusieurs pratiques et de rapidement les modifier.

5.1.3 L'agilité vient compléter la méthode traditionnelle

Les méthodes et pratiques agiles détaillées dans ce travail de doctorat n'ont pas vocation à remplacer les pratiques métiers classiques, mais ont plutôt pour objectif de proposer des pratiques complémentaires permettant d'outiller la coordination et la communication, là où les méthodes et pratiques classiques ne sont plus efficaces.

La partie 2.2.1 a montré que le processus cognitif de conception était composé de trois activités : (1) l'idéation, (2) la génération et (3) l'évaluation. Dans un contexte de conception collaborative, nous pouvons également ajouter l'activité de (4) répartition, qui se base sur les activités cognitives orientées sur le processus : (a) la synchronisation tempo opératoire et (b) la synchronisation cognitive. L'hypothèse est que le réagencement de ces activités dans un cycle agile de développement couplé à l'insertion de pratiques agiles de manière à assister ces activités permettra une meilleure collaboration (cf. Figure 11).

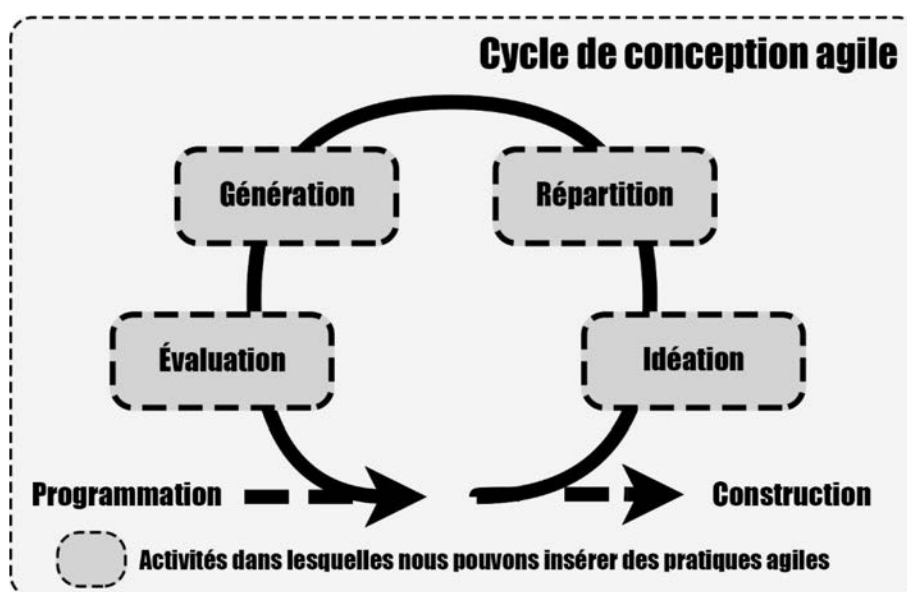


Figure 11 : conception agile d'après les activités cognitives

5.2 Qu'est-ce qu'une pratique architecturale agile ?

Les méthodes de gestion de la production ont évolué en passant d'une organisation centrée autour du processus à une organisation centrée autour de la motivation des ressources humaines et de l'engagement des acteurs. Les spécificités de chaque méthode diffèrent selon les pratiques utilisées en leur sein. Ces pratiques agiles sont par nature assez malléables, dans le sens où elles sont généralement compatibles les unes avec les autres.

Afin de correctement répondre au besoin de nouvelles méthodes de gestion de projet autour de la technologie BIM, nous allons proposer une définition de ce qu'est une pratique agile.

5.2.1 Qu'est-ce qu'une pratique agile ?

Une pratique agile est une pratique dont l'objectif final est la satisfaction du client. Ces pratiques font recours à une forte implication de ce dernier dans le processus de conception, à l'intelligence collective et à la conscience de groupe, à l'amélioration continue, à l'empirisme, aux livrables, etc. Beaucoup de notions sont présentes, ce qui nous a amenés à donner notre propre définition d'une pratique agile en nous basant sur une « traduction architecturale » du manifeste agile.

Une méthode agile avait pour valeurs les préceptes suivants (cf. 4.3.1.2 Le manifeste agile) :

- les individus avant les processus ;
- les logiciels opérationnels ;
- la collaboration avec le client ;
- l'adaptation au changement.

Le premier point fait écho à l'intelligence collective et à la conscience mutuelle de groupe, le deuxième au besoin de montrer quelque chose au client, aux objets intermédiaires, et donc à réaliser des livrables, le troisième aux livrables, mais également à l'activité d'évaluation externe et enfin le dernier à l'amélioration continue et à l'empirisme.

Les douze principes agiles, quant à eux, précisent la définition de l'agilité, et nous pouvons synthétiser les concepts suivants de ce qui ressort le plus :

- satisfaction client ;
- application de cycles de travail courts ;
- production de livrables ;
- acceptation du changement ;
- empirisme ;
- communication avec l'utilisateur/client ;
- réduction des gâchis ;
- amélioration continue ;
- création d'une intelligence collective et d'une conscience mutuelle.

Une pratique agile est donc une pratique qui doit faire écho aux valeurs et aux principes agiles basés sur la communication et la coordination d'une équipe d'acteurs en conception collaborative.

5.2.2 Définition d'une pratique agile en conception architecturale

En nous basant sur ces concepts, nous pouvons alors donner la définition suivante de ce qu'est une pratique agile en conception architecturale. Il s'agit d'une pratique ayant pour finalité la satisfaction du client, en se focalisant sur les quatre valeurs ainsi traduites pour la conception architecturale :

- l'intelligence collective ;
- réalisation de livrables ;
- l'intégration du client ;
- l'adaptation au changement.

Ces valeurs se focalisent principalement sur l'amélioration de la communication interne et externe et sur la coordination entre les membres de l'équipe de conception. Une pratique agile en conception architecturale est donc une pratique qui favorise les activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation des intentions architecturales et des tâches de conception.

L'objectif est d'insérer ces pratiques agiles en conception architecturale afin d'améliorer la collaboration en outillant la communication et la coordination dans un groupe de conception pour permettre une meilleure appropriation de la technologie BIM et *in fine* l'acte de concevoir collaborativement en architecture.

5.3 Méthode suivie

Nous allons désormais détailler la méthode suivie durant ce travail de recherche. Il s'agit d'un processus s'inscrivant sur plusieurs années et nécessitant plusieurs expérimentations dépendantes les unes des autres. Il s'agit d'abord d'identifier et de sélectionner les pratiques agiles candidates à l'expérimentation, de les adapter avant de les tester avec nos étudiants, puis de les évaluer et de possiblement les améliorer.

Le protocole est le suivant :

- inventaire des méthodes agiles les plus populaires ;
- identification des pratiques agiles les constituant ;
- sélection des pratiques agiles candidates et adaptation si besoin ;
- expérimentations individuelles des pratiques ;
- évaluation ou raffinement des pratiques ;
- expérimentation globale des pratiques ;
- évaluation des pratiques ;
- conclusion sur la possibilité d'intégrer des pratiques agiles en conception architecturale BIM.

L'inventaire des méthodes agiles les plus reconnues se fera grâce à la littérature scientifique sur la gestion de projet en génie logiciel. L'analyse de ces méthodes nous permettra d'identifier les pratiques agiles les constituant. Ces pratiques seront ensuite analysées puis sélectionnées en fonction de la possibilité de les adapter pour la conception architecturale collaborative et de leur compatibilité avec notre contexte pédagogique.

L'expérimentation individuelle de ces pratiques candidates nous permettra d'évaluer leurs apports pour la conception architecturale collaborative et l'appropriation de la technologie BIM par les concepteurs. Il s'agira ensuite de procéder à plusieurs expérimentations plus globales afin de vérifier leur compatibilité mutuelle pour la conception architecturale collaborative.

Nous pourrons dès lors valider ces pratiques et conclure sur la possibilité de les proposer en conception architecturale collaborative dans le but d'une meilleure appropriation de la technologie BIM.

5.4 Conclusion du chapitre

Ce chapitre de transition montre quels sont les enjeux de la proposition d'introduire des pratiques agiles en conception architecturale BIM. Le contexte de notre laboratoire au sein de l'école d'architecture nous oriente vers

l'expérimentation pédagogique de ces pratiques auprès des étudiants du Master 2 DNA.

Ces expérimentations pédagogiques ont non seulement pour but d'évaluer et de valider la pertinence de l'agilité en conception architecturale BIM, mais également de favoriser la transmission de la philosophie agile aux étudiants. Le contexte particulier du secteur de l'AEC en France ne favorise pas les expérimentations en agence d'architecture, ces dernières ne pouvant pas forcément consacrer moyens, personnels et temps à notre recherche. De plus, les tâches BIM que les professionnels doivent réaliser représentent bien souvent des tâches nouvelles. L'idée de réaliser des expérimentations pédagogiques nous semble pertinente dans le sens où les étudiants se retrouvent face à des tâches BIM qu'ils doivent apprendre à réaliser, faisant le parallèle avec le professionnel dans la même situation. L'hypothèse est que la diffusion de la philosophie agile aux étudiants peut permettre un transfert de cette philosophie dans le monde professionnel grâce aux stages et travaux en agence.

Cette diffusion se base sur l'apprentissage de l'agilité par le biais de cours au sein du Master, ainsi que d'exercices de conception de différentes durées. L'emploi du temps du Master 2 DNA nous a permis d'isoler trois types d'exercices, correspondant à trois temporalités d'expérimentations possibles. Nous pourrions réaliser des expérimentations à l'échelle de la journée, de la semaine, et enfin du semestre.

Enfin, ces expérimentations reposent sur des pratiques agiles dédiées à la conception architecturale BIM, comme nous les avons définies dans ce chapitre. Une pratique BIM-agile donc est une pratique visant la satisfaction client par le biais d'une bonne intelligence collective, de la réalisation de livrables, de l'intégration du client et de l'adaptation au changement de l'équipe. Ces pratiques misent sur l'élicitation, le raffinement et l'évaluation des intentions architecturales et des tâches de conception BIM pour satisfaire ces valeurs.

Chapitre 6 : Identification et sélection de pratiques agiles dédiées à la conception BIM

Ce présent chapitre s'intéresse au cheminement permettant d'identifier et de sélectionner des pratiques agiles dédiées à la conception architecturale BIM. Ces pratiques sont principalement issues des méthodes agiles reconnues, mais également du monde classique de l'ingénierie. Le processus d'identification de pratiques collaboratives a commencé dès mon stage recherche au sein du laboratoire MAP-CRAI lorsque je travaillais sur la création d'une variante de *serious game* dans le but de favoriser les comportements positifs de groupe. Nous allons donc tout d'abord nous intéresser à cette genèse puis aux différentes pratiques identifiées puis sélectionnées.

6.1 Genèse de l'identification des pratiques agiles

Le laboratoire MAP-CRAI est un partenaire privilégié du Master 2 DNA²³, les enseignants de ce dernier étant majoritairement rattachés au laboratoire. Il est donc assez naturel et aisé de procéder à des expérimentations pédagogiques comme décrites dans le thème transversal du laboratoire « Approches pédagogiques et professionnelles²⁴ ». La méthode agile *Scrum* était une candidate de choix pour ces expérimentations (Kumar & McArthur, 2015), mais son application intégrale était impossible du fait de l'emploi du temps hebdomadaire du Master. Nous avons donc orienté notre recherche vers l'identification de plusieurs pratiques agiles plutôt qu'une seule méthode.

6.1.1 Villego comme introduction aux bonnes pratiques

Au cours de mon stage recherche de Master 2 au sein du laboratoire MAP-CRAI, j'ai travaillé sur le *serious game* Villego²⁵. Villego est utilisé lors de la rentrée du Master 2 DNA, formation dans laquelle les approches collectives sont mises en avant. Mon objectif était de créer une variante favorisant les comportements positifs de groupe afin de permettre aux étudiants de ne pas associer de mauvais comportements en jeu à de mauvais comportements en situation réelle.

Plusieurs concepts du jeu permettent dès le début de l'année de faire comprendre aux étudiants les bénéfices d'une collaboration efficace. Ainsi, les notions d'engagements des joueurs à réaliser leurs tâches en un temps donné, celle de demander la permission au propriétaire d'une tâche de pouvoir la déplacer sur le planning, ou encore les nombreuses réunions, sont les éléments principaux du *serious game*.

Le jeu Villego a été choisi par l'équipe enseignante pour son côté visuel et ludique grâce à ses briques de Lego, permettant de créer une dynamique de

²³ Spécialité de Master 2, auparavant appelé Master AME (Architecture, Modélisation et Environnement)

²⁴ Ce thème vise à créer une transversalité entre les travaux de recherche du laboratoire, l'enseignement à l'école et la profession par le biais d'échanges de connaissances ou encore d'expérimentations pédagogiques ou professionnelles.

http://meurthe.crai.archi.fr/wordpressFr/?page_id=1405

²⁵ Cf. 4.1.2.4 Le *serious game* Villego.

groupe lors de la rentrée du Master. Le jeu permet également aux étudiants de tout de suite prendre conscience de l'importance de la collaboration grâce à la démonstration de la méthode LPS²⁶. De plus, Le Villego permet de briser la glace entre les étudiants qui arrivent de cursus différents.

La méthode LPS n'a en soit jamais eu vocation à être appliquée dans la formation. Le jeu permet de montrer aux étudiants de bonnes pratiques collaboratives dès la première semaine de rentrée et les encourage à les appliquer tout au long de la formation.

6.1.2 *Scrum* comme introduction aux méthodes agiles

Au début de mon travail de doctorat, j'ai orienté ma recherche vers la méthode *Scrum*, méthode populaire en génie logiciel (Hossen *et al.*, 2015 ; Hamed & Abushama, 2013) qui montre des résultats concrets sur l'amélioration de la coordination en conception et qui proposait des pratiques potentiellement appropriables.

La méthode *Scrum* impose cependant un cadre méthodologique strict (cf. 4.3.2.3 *Scrum*) qui était difficilement applicable pour des questions d'emploi du temps au sein du Master 2 DNA. La méthode requiert un cadre de travail reposant sur des cycles de travail à la fois quotidiens et hebdomadaires, ce dont nous ne disposons pas dans le programme pédagogique. J'ai alors orienté mon travail de recherche vers l'identification de pratiques agiles utilisées dans les méthodes agiles reconnues. Ces pratiques pourraient être utilisées à la fois indépendamment, mais également combinées afin d'améliorer la coordination et la communication lors de projets BIM.

L'étude de la méthode *Scrum* m'a toutefois servi d'introduction à l'agilité grâce à une littérature fournie.

6.2 Méthode de sélection des pratiques agiles et innovantes

Le chapitre 4 nous décrit les pratiques constituant à la fois les méthodes agiles populaires et une méthode de conception innovante. Nous avons retenu

²⁶ Last Planner System (cf. 4.1.2.3 La méthode *Last planner System*).

la méthode RAD, la méthode XP, la méthode *Scrum* et la conception axiomatique. Ces méthodes reposent sur des pratiques que nous devons identifier puis sélectionner selon des critères d'adaptabilité à la conception architecturale BIM et à notre contexte pédagogique. Ces pratiques sont dites candidates à l'expérimentation.

6.2.1 Identification des pratiques agiles reconnues adaptables

La méthode RAD repose sur quatre pratiques agiles :

- la programmation en binôme ;
- le rôle de facilitateur ;
- un groupe d'animation et de rapport ;
- des livrables courts.

La méthode XP repose également sur quatre pratiques agiles :

- la mise en place de cycles de développement rapides ;
- l'implication directe du client ou de son représentant ;
- le *planning poker* ;
- la programmation en binôme.

La méthode *Scrum* repose quant à elle sur trois pratiques agiles :

- la mise en place de cycle de sprints réguliers ;
- l'utilisation d'*user stories* ;
- le *daily meeting*, ou *stand-up meeting*.

La conception axiomatique repose essentiellement sur une pratique :

- la matrice de Suh.

Nous avons identifié neuf pratiques agiles et une pratique innovante en éliminant les doublons et les pratiques identiques qui ont des noms proches, voire différents, telles que la mise en place de cycle de développement rapide et la mise en place de cycle de sprints réguliers.

6.2.2 Sélection des pratiques agiles candidates

Toutes ces pratiques ne peuvent pas être directement expérimentées dans notre contexte pédagogique de conception architecturale BIM. Nous devons opérer une sélection en fonction de deux critères :

- l'adaptabilité à la conception architecturale BIM ;
- la faisabilité dans un contexte pédagogique.

Pour qu'une pratique soit adaptable à la conception architecturale BIM, il faut que nous puissions traduire son ou ses objectifs en des termes du champ de l'architecture. La compatibilité avec notre contexte pédagogique, qui pour rappel propose trois temporalités et une obligation pour tous les étudiants d'étudier le même contenu pédagogique, est nécessaire pour les expérimentations.

6.2.2.1 La programmation en binôme

La programmation en binôme consiste à placer deux concepteurs sur un même poste de travail pour écrire du code informatique, l'un écrivant et l'autre vérifiant la production effectuée. Cette pratique est adaptable à la conception architecturale BIM, où deux concepteurs pourraient procéder à la modélisation d'un projet architectural, mais est difficilement applicable en contexte pédagogique. L'enseignement prodigué dans le cadre du Master 2 DNA nécessite que tous les étudiants soient formés et évalués de la même façon, tous devant alors modéliser dans le cadre d'un cours. Dans le cadre d'un projet, il est difficilement vérifiable que les étudiants respectent cette consigne de modélisation en binôme.

La pratique est donc candidate, mais non expérimentable dans notre contexte.

6.2.2.2 Le rôle de facilitateur

Le rôle de facilitateur propose la mise en place d'un acteur qui veille au bon déroulement de l'avancée du projet et au respect de l'agilité tout en proposant l'apport de solutions aux problèmes techniques. Le rôle de facilitateur peut également recouvrir celui d'un représentant du client. Cette

pratique est adaptable à la conception BIM, le facilitateur pouvant se concentrer sur l'aspect BIM ou sur le respect de la programmation architecturale. D'un point de vue pédagogique, nous pouvons aisément positionner un enseignant dans le rôle du facilitateur.

La pratique est donc sélectionnée pour expérimentation.

6.2.2.3 Les groupes d'animation et de rapport

Les groupes d'animation et de rapport consistent à améliorer la communication entre les acteurs grâce à des groupes chargés de l'évaluation et de la validation des fonctionnalités logicielles développées. La pratique est adaptable à la conception architecturale BIM en transposant les fonctionnalités logicielles en intentions architecturales ; elle est également compatible avec notre contexte pédagogique. En revanche, elle ressemble à la pratique du *stand-up meeting* qui a l'avantage d'être plus complète et de proposer une temporalité dans sa mise en place.

Cette pratique est donc écartée en tant que telle, mais conservée au sein de celle du *stand-up meeting*.

6.2.2.4 Des livrables courts

Cette pratique consiste à réaliser de manière régulière et obligatoire des livrables : tableau de charge de serveurs, morceau de fonctionnalité logicielle, etc. Cette pratique est adaptable au contexte de la conception architecturale BIM. Nous pouvons imaginer que les concepteurs réalisent des livrables pour les plans, coupes ou encore perspectives architecturales. La pratique est compatible à notre contexte pédagogique, les étudiants réalisant déjà naturellement des livrables pour faire avancer leur projet. En revanche, cette pratique est intégrée dans la pratique du *stand-up meeting* qui comme dit précédemment à l'avantage d'être plus complète.

Cette pratique est donc également écartée en tant que telle, mais conservée au sein de celle du *stand-up meeting*.

6.2.2.5 Un cycle de développement rapide ou régulier

Cette pratique consiste à instaurer un cycle temporel soit rapide soit régulier pour l'équipe de conception. Un cycle rapide permet de développer des fonctionnalités logicielles puis de les implémenter rapidement dès qu'elles sont terminées tandis qu'un cycle régulier peut être plus long, mais permet de créer un rythme d'intégration à respecter. Ces pratiques sont adaptables à la conception architecturale BIM, le travail de conception architecturale proposant un cycle itératif et incrémental à l'instar de la conception logicielle. En revanche, il est impossible d'appliquer un tel cycle dans notre cadre pédagogique à cause des emplois du temps inscrivant l'enseignement de projet de manière hebdomadaire.

La pratique est donc candidate, mais non expérimentable dans notre contexte.

6.2.2.6 Implication du client dans la conception

Cette pratique préconise d'avoir le client d'un projet logiciel ou à défaut son représentant auprès de l'équipe de conception. Son représentant est une personne de l'entreprise extérieure à cette équipe de conception. Cette pratique est adaptable à la conception architecturale BIM, le maître d'ouvrage pouvant se faire représenter par un membre de l'agence d'architecture en charge de la conception du projet. Cette pratique est également compatible avec notre contexte d'expérimentation pédagogique, en imaginant qu'un enseignant puisse endosser ce rôle de représentant du client. Néanmoins, cette pratique est souvent intégrée à celle du facilitateur décrite plus haut.

Cette pratique est donc écartée en tant que telle, mais intégrée à celle du rôle de facilitateur.

6.2.2.7 Le *planning poker*

Cette pratique consiste à collectivement évaluer en complexité et en durée de développement des fonctionnalités logicielles ou des tâches de conception grâce à un jeu de cartes. Cette pratique est adaptable à la conception architecturale BIM, en remplaçant les tâches de conception logicielles par des

tâches de conception BIM. Elle est également compatible avec notre contexte d'étude pédagogique à condition de fournir une formation de cette pratique aux étudiants.

La pratique est donc candidate à l'expérimentation.

6.2.2.8 Les *user stories*

Cette pratique consiste à exprimer des scénarios d'usage puis à les transformer en tâches à effectuer. Cette pratique est difficilement transposable à la conception architecturale BIM en raison de la nature du résultat de cette conception : un bâtiment constitué d'espaces. Il est difficilement envisageable de simplifier des scénarios d'usage du bâtiment à des intentions architecturales impliquant des références culturelles et artistiques. La pratique est en revanche compatible avec notre contexte pédagogique.

La pratique est donc écartée.

6.2.2.9 Le *daily meeting* ou *stand-up meeting*

Cette pratique consiste à organiser des réunions régulières, et ce de manière quotidienne avec l'équipe de conception pour discuter de l'avancement de chacun et alors adapter la journée de travail. Cette pratique est adaptable à la conception architecturale BIM et nous pourrions imaginer la possibilité pour les acteurs d'amener des livrables devant alors être des documents architecturaux. Elle est également compatible avec notre contexte pédagogique, dans le cadre d'une expérimentation dans laquelle les étudiants seraient tous les jours en situation de conception architecturale, par exemple dans le cadre d'une semaine bloquée.

La pratique est donc candidate à l'expérimentation.

6.2.2.10 La matrice de Suh

La théorie C-K s'appuie entre autres sur l'utilisation de matrices de Suh. Cette matrice permet de mettre en relation des techniques avec des fonctions, des paramètres de conception avec des besoins fonctionnels. Il s'agit d'un outil concret autour duquel les concepteurs peuvent échanger quant à la finalité de

l'objet à concevoir. Cette pratique est adaptable à la conception architecturale BIM en mettant non plus en relations les techniques avec les fonctions, mais plutôt les éléments programmatiques avec les livrables architecturaux. Elle est également compatible avec notre contexte d'expérimentation pédagogique.

La pratique est donc candidate à l'expérimentation.

6.2.3 Choix des pratiques agiles candidates

D'après les critères d'adaptabilité à la conception architecturale et les critères de faisabilité dans notre contexte pédagogique, j'ai sélectionné pour expérimentation les pratiques (1) du *stand-up meeting*, (2) du *planning poker*, (3) du rôle de facilitateur et enfin (4) de la matrice de Suh.

	Adaptable à la conception architecturale	Compatible avec un contexte pédagogique	Pratique sélectionnée ?
Programmation en binôme	Oui	Non	Non
Rôle de facilitateur	Oui	Oui	Oui
Groupe d'animation	Oui	Oui	Intégrée
Livrables courts	Oui	Oui	Intégrée
Cycle rapide ou régulier	Oui	Non	Non
Implication du client	Oui	Oui	Intégrée
<i>Planning poker</i>	Oui	Oui	Oui
<i>User stories</i>	Non	/	Non
<i>Daily/Stand-up meeting</i>	Oui	Oui	Oui
Matrice de Suh	Oui	Oui	Oui

Tableau 3 : synthèse de la sélection des pratiques agiles

Nous allons désormais étudier et définir chacune des pratiques candidates.

6.3 La pratique du *stand-up meeting*

La pratique du *stand-up meeting* est une façon d'organiser des réunions courtes et cycliques et est par exemple utilisée dans la méthode *Scrum*. C'est une pratique très populaire dans le domaine du génie logiciel²⁷.

6.3.1 Origine du *stand-up meeting*

Le *stand-up meeting* trouve ses origines dans le *daily scrum*, ou mêlée quotidienne, pratique utilisée dans la méthode *Scrum* (Beedle *et al.*, 1999). Il s'agit pour tous les acteurs de la conception de faire une réunion quotidienne afin de faire le point sur leur avancement et sur les obstacles qu'ils rencontrent et qui les empêchent d'avancer (Yip, 2016 ; Stray *et al.*, 2016). Il s'agit comme son nom l'indique de tenir cette réunion debout, afin qu'elle soit concise et rapide. Cette pratique est simple à mettre en œuvre et se retrouve donc dans d'autres méthodes agiles telles que *Kanban*²⁸ (Anderson & Reinertsen, 2010).

6.3.2 Déroulement du *stand-up meeting*

Le *stand-up meeting* désigne une pratique agile d'organisation de courtes réunions. Il s'agit pour les acteurs de la conception de se réunir de manière régulière afin de savoir ce que font les autres et de résoudre d'éventuels problèmes.

Cette réunion se déroule traditionnellement de manière quotidienne, tous les matins et doit être rapide, c'est-à-dire durer entre 5 et 15 minutes maximum. La réunion se déroule debout pour éviter tout confort qui entraînerait apathie et passivité de la part des participants (Stray *et al.*, 2016). La position debout induit par ailleurs chez les participants à la réunion une envie de ne pas prolonger cette posture et donc de terminer rapidement cette réunion.

Chacun se doit d'être actif et devra participer tour à tour à la réunion. Il n'y a pas forcément besoin d'un animateur de la réunion, chaque participant

²⁷ Un sondage réalisé en 2011 auprès d'employés du domaine du génie logiciel montre que 78 % des interrogés utilisent cette pratique (Silverman, 2012).

²⁸ La pratique *kanban* a donné naissance à une méthode à part entière du même nom qui se focalise sur la juste répartition des tâches grâce à des tableaux *kanbans* et des *stand-up meetings*.

devant simplement répondre à quelques questions permettant de se positionner par rapport aux autres. Il lui est généralement demandé de répondre aux trois questions suivantes :

1. Qu'est-ce que j'ai fait hier pour faire avancer le projet ?
2. Qu'est-ce que je vais faire aujourd'hui afin de faire avancer le projet ?
3. Quels sont les obstacles que je rencontre et qui m'empêchent de faire avancer le projet ?

Après avoir répondu à ces questions, un autre acteur prend la parole, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le monde ait parlé.

6.3.3 Objectifs du stand-up meeting

La pratique quotidienne du *stand-up meeting* est bénéfique à plusieurs niveaux et permet notamment de participer à la constitution d'une coordination et d'une communication efficace dans l'équipe de conception.

Si les objectifs principaux de la pratique sont de connaître l'avancement de chacun dans ses tâches et de résoudre les problèmes extrinsèques à la conception, nous pouvons noter plusieurs objectifs secondaires :

- avoir du recul sur son travail ;
- partager la compréhension des objectifs ;
- coordonner les efforts ;
- partager les problèmes ;
- construire une équipe.

En répondant aux questions, chaque acteur se positionne sur le travail des autres, mais également sur son propre travail. En disant ce qu'il a fait la veille et ce qu'il compte faire le jour même, le concepteur prend un moment pour faire un point personnel sur son avancement et s'auto ajuster en matière de productivité.

Le partage des compréhensions de l'objectif commun permet à chacun d'ajuster ses objectifs personnels sur le plan de la productivité et du travail en fonction de cet objectif commun. De plus, la compréhension des objectifs peut

non seulement être différente selon les acteurs, mais également mal comprise au début du projet. Les réunions régulières permettent de plus souvent s'aligner avec les objectifs communs²⁹.

La coordination des efforts est nécessaire lorsque l'on travaille en équipe. Nous avons vu qu'une faible coordination entraîne une mauvaise collaboration. La pratique du *stand-up meeting* permet cette coordination entre les membres de cette équipe.

Le partage des problèmes permet de bénéficier des avantages de travailler en équipe : nous pouvons obtenir des avis différents à un problème donné grâce à la stimulation de l'intelligence collective. Ainsi, lors du *stand-up meeting*, les acteurs peuvent proposer des solutions aux problèmes des autres grâce à leur expérience ou leurs connaissances du domaine.

Enfin, la pratique régulière du *stand-up meeting* permet de renforcer le sentiment de construction d'une équipe de concepteurs. Ce sentiment permet de s'identifier comme appartenant à ce groupe. Cela permet de développer une cohésion de groupe, favorisant l'intelligence collective et la conscience mutuelle, nécessaires au travail collaboratif.

6.3.4 Avantages et limites de la pratique

Le *stand-up meeting* est souvent pratiqué le matin, après un rapide temps « de réveil » des concepteurs (veille métier, lecture des mails, café, etc.) afin de pouvoir démarrer la journée avec des objectifs clairs et des problèmes identifiés de la veille. Cette pratique sous forme de rituel quotidien permet notamment :

- de limiter la durée des échanges et de les fluidifier ;
- de garder l'attention de tous les participants ;
- de favoriser l'intelligence collective.

La réunion est une réunion courte, les participants doivent donc être concis dans leurs réponses, favorisant les échanges courts. De plus, le côté non formel de cette réunion encourage une prise de parole plus instinctive et plus

²⁹ cf. 2.4.1 Les besoins, la motivation et les désirs.

naturelle de la part des membres de l'équipe, comme dans une conversation de groupe classique. La position debout, à l'écart de son poste de travail, permet quant à elle d'empêcher les acteurs d'être déconcentrés par leurs ordinateurs ou leurs smartphones et donc de favoriser l'attention de tous sur les prises de parole individuelles.

La pratique présente néanmoins quelques limites dues à la nature même de son fonctionnement :

- le passage de l'inconfort à la douleur physique de la position debout ;
- la prise de note difficile ;
- le survol des points de détails importants.

La position debout peut passer du léger sentiment d'inconfort au sentiment de mal-être : maux de dos, grossesse, etc. La prise de notes peut être délicate ; il s'agit de nommer quelqu'un en charge de la réalisation d'un compte rendu, qui peut prendre du temps à rédiger, que chacun prenne ses propres notes, amenant distraction pendant la réunion, ou alors, que chacun prenne un moment après la réunion pour mettre sur écrit son propre compte rendu, quitte à oublier des choses. Enfin, la courte durée accordée à cette réunion limite *de facto* le temps accordé aux détails. Ainsi, si un participant à une solution à proposer pour la résolution d'un problème, mais qui nécessite beaucoup de temps d'explication, les acteurs concernés devront prendre du temps après la réunion pour en discuter, limitant l'impact de l'intelligence collective initiale.

6.3.5 Conclusion

Nous avons vu dans cette partie que la pratique du *stand-up meeting* est une pratique qui définit le déroulement de réunions régulières en conception collaborative. Cette réunion permet aux différents participants d'échanger rapidement et de manière cyclique sur le travail qu'ils produisent, qu'ils ont à produire et sur les problèmes rencontrés lors de cette production.

Les différents objectifs permettent d'agir à la fois sur les individus et sur le groupe de travail, en favorisant à la fois la prise de recul individuelle et le

sentiment d'appartenance à un groupe. Cela permet d'améliorer la synchronisation cognitive, la conscience mutuelle et l'intelligence collective.

Dans le cadre de la conception architecturale BIM, nous faisons l'hypothèse que cette pratique favorise l'élicitation des intentions architecturales et des tâches de conception. En effet, la prise de parole individuelle et obligatoire au sein de cette pratique favorise les différents acteurs de la conception à s'exprimer sur leurs propres intentions, compréhension des tâches et plus globalement de l'objectif commun, et donc de pratiquer l'élicitation.

Cette pratique a été sélectionnée pour son côté informel et sa simplicité de mise en œuvre dans des enseignements. Il est simple de se positionner, en tant qu'enseignant, comme animateur de la réunion afin de s'assurer non seulement de son bon déroulement en tant que réunion, mais également du bon déroulement des exercices et projets proposés aux étudiants.

6.4 La pratique du *planning poker*

Le *planning poker* est un jeu de cartes utilisé dans le monde du génie logiciel, et plus particulièrement au sein de la méthode XP, puis par la suite au sein de la méthode *Scrum* afin d'assister les acteurs de la conception dans la planification de leurs tâches.

6.4.1 Définition du *planning poker*

Le *planning poker*, ou *agile planning poker* ou encore *scrum poker* est une pratique agile créée en 2002 par James Grenning (Grenning, 2002) et popularisée par Mike Cohn³⁰ au début des années 2000 (Cohn, 2005). Cette pratique consiste à réunir les acteurs de la conception autour d'un jeu de cartes permettant de les aider à planifier des événements. Chaque joueur va pouvoir utiliser les cartes qu'il a en main pour donner son avis sur différentes caractéristiques d'un événement. La pratique du *planning poker* n'est pas un *serious game* à proprement parler dans le sens où les joueurs obtiennent de

³⁰ Mike Cohn est un formateur agile ayant participé à la popularisation de la méthode *Scrum*, du *stand-up meeting* ainsi que du *planning poker*.

nouvelles compétences grâce au jeu, mais ce dernier reste indispensable pour mettre en pratique ces compétences. Un *serious game* n'est théoriquement plus requis une fois que les joueurs ont acquis les compétences.

6.4.2 Déroulement du *planning poker*

Les concepteurs logiciels se réunissent autour d'une table et disposent chacun d'un jeu d'une dizaine de cartes numérotées de 1 à 100 en suivant la croissance d'une courbe de Fibonacci arrondie (1, 2, 3, 5, 8, 13, 20, 40 et 100) en plus de la carte « infini ». Des variantes proposent des cartes supplémentaires telles que la carte 0, la carte $\frac{1}{2}$ ou encore les cartes « ? » afin de multiplier les choix possibles (cf. Fig. 10). Le jeu originel proposait des valeurs plus petites (1, 2, 3, 5, 7, 10 et infini). Ces valeurs représentaient alors des jours de conception, et l'estimation se faisait simplement en durée. Désormais, les évaluations se font en deux temps, d'abord une évaluation de complexité, puis une évaluation de durée une fois la première acceptée par tous les joueurs.

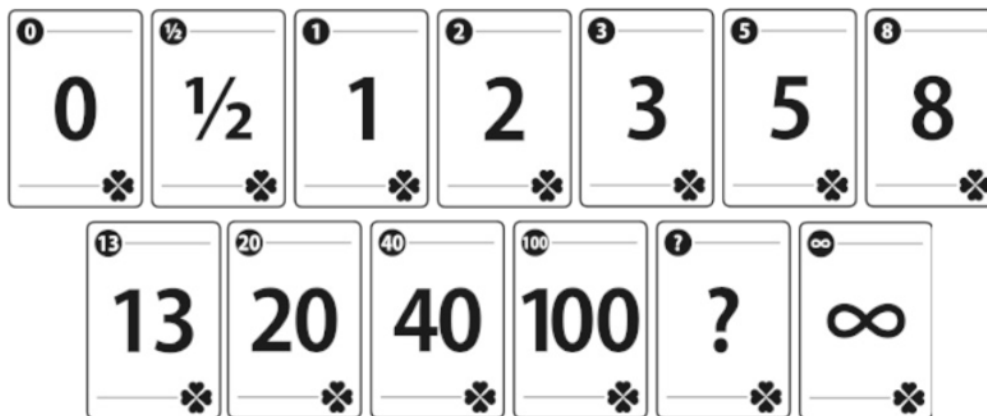


Figure 12 : exemple d'un jeu de *planning poker*

La pratique étant principalement utilisée au sein de la méthode *Scrum*, les joueurs se posent alors chacun la question de la complexité estimée d'une *user story*³¹ en partant d'une *user story* qui servira de mètre étalon, et ce en utilisant la valeur des cartes, la plus petite étant non complexe et la plus grande extrêmement complexe. Ainsi, la *user story* « en tant que visiteur de ce site

³¹ Si la pratique est utilisée en dehors de la méthode *Scrum*, les joueurs peuvent évaluer la complexité d'une fonctionnalité à implémenter, ou encore la complexité d'une tâche à réaliser.

internet, je dois pouvoir accéder à mes factures au sein de mon espace client en deux clics ou moins » se verra par exemple attribuer la complexité de 5 pour commencer. Le représentant du client peut être celui qui énonce les *user stories*, sinon un joueur est désigné, ou chacun peut l'être à son tour. Les joueurs peuvent ensuite commencer à estimer les autres *user stories*.

Pour ce faire, une fois qu'une complexité est demandée, chaque joueur réfléchit à une valeur de cette complexité en prenant pour référence l'*user story* étalon et pose la carte de son choix face cachée devant lui. Une fois que tous les joueurs ont posé une carte devant eux, ils les retournent en même temps. Cette étape permet d'éviter le biais cognitif de l'ancrage (Tversky & Kahneman, 1974), aussi appelé ici le phénomène du « premier parleur » qui induirait les joueurs à se baser sur l'estimation du premier joueur pour effectuer la leur.

Une fois que toutes les cartes sont retournées, les joueurs ayant les estimations les plus extrêmes commencent à justifier leur choix et à débattre de sa pertinence dans le but d'arriver à un consensus. Mike Cohn imagine un échange comme celui-ci entre des joueurs qui auraient choisi des valeurs de cartes entre 1 et 5 (parmi les sept cartes originelles) :

- « *Why do you think this story is so hard?*
- *Why do you think this story is so easy? Did you think about having to modify the communications protocol? The last time we did that it cost us four days alone!*
- *Yeah, but this is basically the same as the last time we changed the protocol and all we have to do is add another message class.*
- *OK, but it is still not a one.*
- *blah... blah... blah...*
- *Let's call it a three*
- *OK, Done ».*

Les joueurs passent ensuite à l'estimation suivante.

6.4.3 Objectifs du *planning poker*

La pratique du *planning poker* a plusieurs objectifs :

- estimation de la complexité et de la durée d'un évènement ;
- estimations rapides ;
- consensus collectif ;
- partager la compréhension d'un évènement.

Le premier objectif est naturellement d'arriver à des estimations de complexité et de durée de *user stories*, de fonctionnalités ou de tâches de conception les plus précises possible grâce à l'intelligence de groupe. Le deuxième est de pouvoir réaliser ces estimations rapidement grâce à un protocole de jeu toujours identique : question, interrogation, choix d'une valeur, puis débat et consensus. Le troisième objectif est de faire participer tous les acteurs de la conception pour obtenir ce consensus. Enfin, le partage de la compréhension d'un évènement permet à chaque acteur d'avoir la même définition d'une *user story* ou d'une tâche de conception, et de toutes les sous-définitions que cela implique.

6.4.4 Avantages et limites du *planning poker*

Cohn précise que tout le monde doit participer à l'échange, pas seulement les concepteurs les plus expérimentés, afin de permettre à ceux qui le sont le moins de s'exprimer et d'acquérir de l'expérience en estimation, mais également de profiter de l'intelligence collective du groupe. Chaque acteur a ses propres connaissances dues à son expérience et à sa formation et chacun peut donc aider à l'estimation à sa manière. Par ailleurs, ce ne sont finalement pas les estimations finales qui sont intéressantes dans cette pratique, mais bien les échanges qui en découlent. Ces échanges permettent de nombreuses choses :

- favoriser l'intelligence collective ;
- éviter le biais psychologique de l'ancrage ;
- l'élicitation de la compréhension des évènements ;
- le raffinement de la définition de ces évènements.

En revanche, le *planning poker* montre ses limites lorsque la complexité des évènements augmente. Plus cette dernière est grande moins l'estimation sera précise. La granularité particulière des cartes de jeu permet en revanche de forcer les joueurs à se positionner entre deux valeurs de cartes éloignées.

Ainsi, si l'estimation imaginée se rapproche de 30, le joueur devra choisir entre 21 et 40, donc plus petit ou plus grand, ce qui le forcera à raffiner une nouvelle fois lui-même son estimation avant de jouer.

6.4.5 Conclusion

Nous avons vu dans cette partie que la pratique du *planning poker* est une pratique d'estimation de la complexité et de la durée d'évènements s'apparentant à un *serious game* et qui se base sur l'utilisation d'outils sous la forme de cartes à jouer. Les participants se basent sur leur expérience et leurs connaissances afin de choisir une carte qui correspond le mieux à l'estimation qu'ils se font des deux caractéristiques précédemment mentionnées, avant de se confronter aux estimations des autres. S'en suivent échanges et débats pour arriver à un consensus sur les estimations à garder.

Les objectifs de la pratique se concentrent principalement sur l'obtention des estimations au plus juste des évènements grâce à l'utilisation de l'intelligence collective, mais se focalisent également sur l'élicitation des individus et sur le raffinement des évènements. Lors des échanges survenant après avoir retourné les cartes, les acteurs de la conception doivent justifier leurs choix et donc éliciter la compréhension qu'ils ont des évènements. Les écarts de choix entre les acteurs peuvent être dus à des expériences et des connaissances différentes ou simplement à des compréhensions différentes. Par ailleurs, parallèlement à cette élicitation et pour donner suite à de possibles mécompréhensions des évènements, les acteurs tendent à raffiner la description des évènements en apportant plus de détails ou expliquant plus précisément en quoi ils consistent.

Cette pratique a été sélectionnée à la fois pour son côté ludique et pour son approche basée sur l'échange. L'objectif de *planning poker* n'est finalement pas tant d'obtenir des estimations fiables que d'obtenir des estimations basées sur l'élicitation des uns et le raffinement des évènements grâce aux échanges. Par ailleurs, le fait de pouvoir échanger quant à la compréhension d'un évènement est bénéfique dans des groupes hétérogènes en corps de métier, ce qui nous intéresse dans le cas de la conception architecturale BIM. En effet, les équipes sont éphémères et ont besoin de savoir

aisément comment les autres acteurs voient les choses. Dans le cadre du Master 2 DNA, l'expérimentation de la pratique sera d'autant plus pertinente que nous nous retrouvons dans le cas d'acteurs aux formations hétérogènes, ne se connaissant pas nécessairement à la rentrée.

6.5 La pratique de la matrice de Suh

La matrice de Suh n'est pas à proprement parlé une pratique agile, mais est un outil utilisé en conception axiomatique (*axiomatic design* en anglais) et dans la théorie C-K. C'est une méthode qui permet de mettre en relation les besoins du client (les fonctionnalités souhaitées) avec différents paramètres de conception.

6.5.1 Fonctionnement de la matrice de Suh

Prenons par exemple le cas de la création d'un objet devant servir à se déplacer en ligne droite et pouvant franchir de petits obstacles. Les concepteurs décident d'utiliser la technique des skis pour satisfaire le besoin d'aller en ligne droite. Ils trouvent ensuite un système de quatre roues pneumatiques avec suspensions pour franchir de petits obstacles. Cette technique permet également d'aller en ligne droite.

Lors de la simplification de la matrice de Suh, les concepteurs devront soit supprimer la technique des skis, ou la transformer avec une autre technique pour qu'elle puisse également franchir des obstacles, car les roues avec suspensions permettent de satisfaire les deux besoins fonctionnels.

	Ligne droite	Franchir des obstacles
Skis	Oui	Non
Roues pneumatiques	Oui	Oui

Tableau 4 : exemple d'une matrice de Suh

La matrice de Suh est typiquement un outil d'aide à la conception de systèmes innovants. J'y ai vu un outil qui permettrait à plusieurs acteurs de la conception en architecture de choisir collaborativement la tournure que pourrait prendre un projet. Les acteurs devraient en effet se mettre d'accord pour remplir une case et pour orienter leurs intentions architecturales.

6.5.2 Objectifs de la matrice de Suh

L'objectif primaire de la matrice de Suh est de trouver des réponses innovantes à des problèmes donnés. En simplifiant, fusionnant ou supprimant des paramètres de conception tout en satisfaisant les besoins fonctionnels, les concepteurs échangent et orientent leurs choix de conception en fonction du contexte (économique, technologique ou encore matériel).

Nous recherchons donc en remplissant une matrice de Suh le meilleur moyen pour satisfaire le client selon le contexte et les intentions conceptuelles.

6.5.3 Avantages et limites de la matrice de Suh

Si les utilisateurs de la matrice de Suh doivent la remplir collaborativement, ils doivent nécessairement échanger et donc confronter leurs opinions sur telle ou telle technique, ainsi que sur leur vision des besoins fonctionnels du projet. La matrice de Suh liste alors les avantages suivants :

- favorisation de l'intelligence collective ;
- élicitation des intentions conceptuelles ;
- simplification des paramètres de conception.

En revanche, l'utilisation de la matrice de Suh amène à quelques limitations. Elle ne permet théoriquement pas de proposer des schémas, ce qui peut être problématique dans notre domaine. Par ailleurs, c'est un outil qui n'est utilisé que pour la phase amont de conception, et qui sera vite abandonné lors de l'avancement du projet. Enfin, la matrice de Suh reste un outil destiné au secteur industriel classique et proposer des relations entre des besoins fonctionnels et des paramètres de conception semble être un exercice difficile en conception architecturale.

6.5.4 Conclusion

Nous avons vu dans cette partie que la matrice de Suh est une pratique de mise en relations d'éléments permettant de construire un système et reposant sur l'utilisation d'un outil sous forme de tableau de données à deux entrées : des besoins fonctionnels et des paramètres de conception. Cette matrice une fois construite doit être analysée et simplifiée pour retirer les éléments redondants. Les concepteurs se basent sur leurs connaissances du domaine pour remplir les lignes de la matrice (les paramètres de conception) avec des techniques dont l'objectif est de satisfaire les besoins fonctionnels.

Les objectifs de la pratique se focalisent principalement sur la préservation des besoins fonctionnels en s'interrogeant collaborativement sur l'efficacité de telle ou telle technique pour satisfaire les besoins. Pour cela, les concepteurs doivent échanger, proposer et innover en matière de techniques afin de trouver celles qui seront les plus pertinentes et donc doivent éliciter à la fois leur compréhension des besoins fonctionnels, mais également leur vision des techniques. Par ailleurs, l'idée d'avoir un axiome intitulé « maintenir l'indépendance des besoins fonctionnels³² » montre la volonté de la conception axiomatique et donc de la matrice de Suh de chercher à obtenir une certaine satisfaction client grâce à des techniques innovantes.

Cette pratique a été sélectionnée pour son objectif de simplification des informations et des moyens à utiliser tout en gardant l'intégrité des besoins fonctionnels et donc des besoins du client. De plus, cette pratique, lorsqu'elle est utilisée collaborativement, permet de favoriser l'élicitation des participants. Il est en revanche nécessaire d'adapter la matrice de Suh à la conception architecturale, avec comme objectif d'intégrer le client dans la procédure en transformant par exemple les besoins fonctionnels en livrables architecturaux de projet, à mettre en relation avec les éléments programmatiques. Les expérimentations possibles de la matrice de Suh entrent par ailleurs tout à fait dans le cadre des expérimentations possibles dans le cadre du Master 2 DNA. Lors des différents projets, qu'ils soient à court, moyen ou long terme, une

³² Cf. 4.1.3.1 La conception axiomatique.

phase de mise en relation des besoins fonctionnels, des intentions architecturales et du programme est essentielle.

6.6 La pratique du rôle de facilitateur

Le rôle de facilitateur au sein d'un projet de conception est un rôle qui a pour mission de veiller au bon déroulement de l'avancée du projet, aussi bien sur le plan des moyens techniques que sur celui de la motivation des ressources humaines.

6.6.1 Définition de la pratique du rôle de facilitateur

Le facilitateur, agile coach, ou encore *scrum master* est un rôle tenu par un acteur lors d'un projet de conception. Nous avons vu que la méthode RAD a été la première méthode agile à introduire le rôle de facilitateur dans les années 1990. Dans cette méthode, le facilitateur est une personne externe à l'équipe de conception ayant un pouvoir décisionnel fort sur le projet en fonction des contraintes ou imprévus techniques, financiers ou humains. Il peut dès lors réorienter l'équipe de conception sur d'autres tâches, voire supprimer des fonctionnalités.

La méthode *Scrum* propose également le rôle de *scrum master*. Ce rôle est tenu par la personne qui a en charge l'application des différentes pratiques et du processus *Scrum*. Différent d'un traditionnel chef de projet, il veille donc à ce que le cadre méthodologique soit respecté, Schwaber le comparant à un chien de berger gardant son troupeau, plutôt qu'au berger lui-même.

6.6.2 Objectifs du rôle de facilitateur

Ainsi, dans la méthode *Scrum*, le *scrum master* a plusieurs missions :

- être garant du cadre méthodologique ;
- animer des réunions ;
- faire le lien entre le client et l'équipe ;
- assurer le management de l'équipe ;
- aider à surmonter les obstacles techniques.

Le *scrum master* n'a pas vocation à diriger, il est avant tout un membre de l'équipe du projet. Il n'est ainsi pas en position de supériorité hiérarchique, mais est un véritable collaborateur. Il est le référent entre l'équipe de conception et le monde extérieur, devenant le principal interlocuteur.

Étant garant du cadre méthodologique *Scrum*, il veille à la bonne application des rituels tels que les sprints, les mêlées quotidiennes ou encore les rétrospectives. Pour cela, il est tout désigné pour être la personne qui organise les différentes réunions et les animer.

Il fait également le lien entre le client (ou son représentant, celui qui a le rôle du *product owner*) et l'équipe de conception en faisant office de traducteur entre les besoins fonctionnels et les paramètres de conception.

Par ailleurs, il est chargé de s'assurer que les acteurs de la conception adoptent un fonctionnement en auto-organisation, et veille donc à assurer un management de l'intérieur et une bonne cohésion de groupe.

C'est également la personne à qui s'adresser lorsque l'équipe font face à des obstacles. Le *scrum master* se devra d'aider les acteurs de la conception à les surmonter, sans le faire lui-même, formant alors l'équipe à l'autonomie tout en leur faisant acquérir de nouvelles connaissances et compétences.

6.6.3 Avantages et limites de la pratique du rôle de facilitateur

Le facilitateur est donc une personne aux missions multiples dont l'objectif final est simple : garantir la livraison d'un produit avec de la valeur. Les avantages d'avoir quelqu'un du rôle de facilitateur dans une équipe de conception sont nombreux. Nous pouvons lister :

- une personne dédiée à la résolution des problèmes ;
- un interlocuteur pour poser des questions ;
- un garant de l'application d'une méthode ou pratique ;
- ayant un recul sur la conception.

En revanche, avoir une personne avec le rôle de facilitateur peut présenter quelques limites. Le *scrum master* doit être une personne avec de bonnes connaissances de la méthode *Scrum*, et donc y avoir été formée. Cette

personne doit posséder des qualités aussi bien en gestion de projet, qu'en résolution des conflits, qu'en communication ou encore en animation.

Par ailleurs, le *scrum master*, même s'il n'a pas un rôle de chef de projet, a tout de même un rôle à part de celui des concepteurs, et peut vite être amené à prendre des décisions allant à l'encontre de la forme d'auto-organisation prônée par la méthode *Scrum*. C'est d'autant plus vrai que la méthode RAD préconisait un facilitateur dont le rôle était de prendre des décisions lorsque le contexte l'exigeait.

Enfin, le rôle de facilitateur nécessite de mobiliser une personne pour ce rôle si on veut respecter les prescriptions de la méthode *Scrum*. Si on ajoute un rôle de *product owner* également préconisé par la méthode *Scrum*, cela fait deux personnes à plein temps, même si le facilitateur peut être mobilisé pour de petites tâches, ou pour des résolutions rapides et précises de problèmes (amener une machine supplémentaire, brancher un écran, etc.).

6.6.4 Conclusion

Nous avons vu dans cette partie que la pratique mettant en place un rôle de facilitateur, appelé *agile coach* ou encore *scrum master* dans la méthode *Scrum* est une pratique permettant d'avoir une personne dédiée à la résolution des problèmes et à la bienveillance de l'avancement du projet. Cette personne qui est soit extérieure à l'équipe selon la méthode RAD, ou interne selon la méthode *Scrum* mobilise un acteur devant posséder de nombreuses compétences.

Les objectifs de cette pratique se concentrent principalement sur la bonne application du cadre méthodologique ou encore sur une prise de recul afin de pouvoir prendre des décisions nécessitant une vision globale du projet. Le facilitateur devient alors l'interlocuteur privilégié pour toutes les questions en relation avec les problèmes techniques, les besoins du client ou encore la résolution des conflits, mais se doit de ne pas s'impliquer dans la proposition de solutions conceptuelles.

Cette pratique a été sélectionnée en premier lieu pour le rôle qu'elle me permettrait d'avoir lors des différents exercices et projets BIM. En tant

qu'enseignant je me positionne déjà en tant qu'interlocuteur privilégié pour toutes les questions relatives au programme d'un projet architectural, aux problèmes de techniques de modélisation ou encore aux emplois du temps. Le rôle de facilitateur, comme quelqu'un d'externe à la conception, assurant la gestion globale du fonctionnement de la classe répartie en équipes était alors facilement adaptable. Je pourrais dès lors répondre à la fois aux exigences de représentation du client (en tant qu'enseignant ayant rédigé le rendu attendu et donc les besoins d'un client fictif dans un enseignement), mais également aux diverses demandes d'utilisation de moyens tels que des imprimantes 3D, une machine à découpe laser, ou des conseils sur les logiciels de modélisation, sur la coordination et l'agenda, ou tout simplement des questions sur la technologie BIM. La pratique est également compatible avec toutes les expérimentations BIM envisagées durant ce travail de recherche : courts exercices, projets moyens, et studio de projet long, où l'enseignant est le principal interlocuteur. J'ai ainsi appelé cette pratique le BIM-agile coach.

6.7 Conclusion du chapitre

Ce chapitre sur l'identification et la sélection des pratiques agiles candidates a présenté le cheminement que cette recherche a pris. Après nous être intéressés à la méthode Villego qui se focalisait sur la prise de conscience de l'importance de la communication et de la coordination dans la collaboration, nous avons mis de côté à la méthode *Scrum* intégrale, dont le cadre méthodologique n'était pas applicable au contexte pédagogique de notre recherche. La méthode proposait en revanche un ensemble de pratiques collectives intéressantes. Cet état de fait nous a orientés non plus vers les méthodes dans leur globalité, mais plutôt vers les pratiques agiles qui les constituent et qui selon de nombreux auteurs sont facilement compatibles et interchangeables.

Selon des critères d'adaptabilité à la conception architecturale collaborative et de compatibilité avec notre contexte pédagogique, nous avons donc procédé à l'identification, puis à la sélection de pratiques candidates à l'expérimentation parmi méthodes agiles reconnues.

L'objectif est d'identifier puis de sélectionner des pratiques permettant de répondre aux problématiques de la technologie BIM que nous avons énumérées auparavant : besoin de pratiques améliorant la coordination et la communication grâce à des activités d'élicitation, de raffinement ou encore d'implication du client dans la conception, pour les adapter à la conception architecturale collaborative.

Trois pratiques agiles issues du génie logiciel et de différentes méthodes telles que RAD, XP ou *Scrum* ainsi qu'une pratique issue de l'ingénierie d'innovation ont été sélectionnées. Ces pratiques sont le *stand-up meeting*, le *planning poker*, la matrice de Suh et le rôle de facilitateur (BIM-agile coach).

Nous allons désormais nous intéresser à l'adaptation puis aux expérimentations pédagogiques de ces pratiques agiles mises en place durant ce travail de recherche.

Chapitre 7 : Adaptation, expérimentation et validation des pratiques agiles sélectionnées

Ce chapitre présente les expérimentations qui ont été réalisées afin de vérifier l'apport des pratiques sélectionnées à la communication et à la coordination. Comme expliqué précédemment, les expérimentations consistent en des mises en application des pratiques agiles dans des contextes de conception collaborative BIM, de plus ou moins longue durée.

Ces expérimentations ont pour objectif de valider ces pratiques ou de les réadapter en fonction de deux facteurs. Le premier est le retour des étudiants par questionnaire et le second est l'évaluation par un travail d'analyse multicritères telle que la fréquence d'utilisation ou la compréhension de la pratique.

Trois types d'expérimentations ont été mis en place. Nous allons tout d'abord nous intéresser aux expérimentations courtes de la première adaptation de la matrice de Suh, appelée matrice conceptuelle, et du *planning poker* dans sa version la plus courante. Nous nous intéresserons ensuite à une expérimentation longue faisant appel à la matrice conceptuelle corrigée ainsi qu'à l'adaptation de la seconde alors appelée micro poker, et de celle du BIM-agile coach. Nous terminerons avec une expérimentation de durée intermédiaire mobilisant les quatre pratiques. Chaque temps d'expérimentation est suivi d'un temps d'adaptation des pratiques.

7.1 Présentation du protocole expérimental général

Nous allons nous intéresser au protocole expérimental commun à toutes ces pratiques. Les expérimentations s'articulent autour de trois temporalités différentes : les expérimentations courtes à l'échelle de la journée, les expérimentations moyennes à l'échelle de la semaine et les expérimentations longues à l'échelle du semestre.

7.1.1 Spécificités communes des protocoles

Toutes les expérimentations réalisées dans le cadre de ce travail de recherche partagent des prérequis et des spécificités communes. Nous trouvons tout d'abord la nécessité de proposer une introduction propédeutique à l'agilité afin de permettre aux étudiants d'en assimiler les concepts propres avant de les mettre en pratique. Par ailleurs, les expérimentations ayant cours lors d'enseignements, il n'est pas possible de procéder à des évaluations par comparaisons de résultats entre étudiants ou groupes d'étudiants témoins. Chaque étudiant doit acquérir les acquis d'apprentissage de l'enseignement et doit donc aussi bien suivre les cours théoriques que participer aux expérimentations des pratiques.

L'évaluation de ces pratiques ne peut donc se faire par la comparaison des résultats avec un groupe à qui nous demanderions de ne pas mettre en pratique ce sur quoi nous évaluerons les autres.

Le protocole expérimental suivi est donc le suivant :

- Phase théorique : cours d'introduction sur l'agilité et la gestion de projet.
- Phase pratique : expérimentation de la pratique agile adaptée à la conception architecturale collaborative seule ou couplée.
- Récolte de données.
- Analyse des données : en vue d'une amélioration de la pratique.
- Évaluation de la pratique d'après les observations et les retours des étudiants.

7.1.2 Formes d'évaluation

L'évaluation des pratiques agiles expérimentées peut se faire de plusieurs manières, telles que par (1) la comparaison quantitative d'objectifs estimés et d'objectifs atteints, par (2) la réalisation d'un questionnaire à vocation de diffusion auprès des étudiants ou également par (3) l'évaluation de la qualité de la collaboration par les étudiants eux-mêmes lors de retours directs durant les expérimentations.

La comparaison quantitative d'objectifs permet par exemple d'évaluer l'efficacité d'une pratique pour estimer la durée que peut prendre une tâche de conception.

Le questionnaire s'intéresse quant à lui à quatre aspects des pratiques :

- l'amélioration de la communication de la pratique expérimentée ;
- l'amélioration de la coordination de la pratique expérimentée ;
- le ressenti global de l'influence de la pratique expérimentée sur le projet ;
- diverses questions concernant la mise en application de la pratique expérimentée.

L'évaluation de la qualité de la collaboration par les étudiants lors d'une restitution orale permet de mesurer l'intérêt que les étudiants ont eu pour les pratiques expérimentées tout en recueillant leurs suggestions pour l'amélioration de ces pratiques.

7.1.3 Calendrier des expérimentations

Les expérimentations se sont déroulées selon le calendrier suivant :

Date	Pratiques expérimentées	Cadre d'expérimentation	Temporalité
Septembre 2016	Matrice conceptuelle	Exercice	Courte
Octobre 2016	Planning poker	Exercice	Courte
Octobre 2017 à janvier 2018	Matrice conceptuelle, Micro poker, BIM-agile coach	SDC ³³	Longue
Février 2018	Les quatre pratiques	CFD ³⁴	Moyenne

Tableau 5 : calendrier des expérimentations

Les deux premières expérimentations de 2016 sont des expérimentations préliminaires. La première permet d'établir collectivement, sous la forme d'une séance de propositions spontanées, la première ébauche d'une matrice de Suh dédiée à la conception architecturale. La seconde consiste à essayer le *planning poker* avec les étudiants afin de vérifier sa pertinence pour la conception architecturale collaborative.

Ces expérimentations consistent en une étape préliminaire aux expérimentations suivantes.

7.2 Expérimentations préliminaires : la matrice de conception et le *planning poker*

La première expérimentation consiste en une introduction aux pratiques agiles auprès des étudiants du Master 2 AME³⁵ de la promotion 2016-2017 puis à leur mise en pratique sous forme d'exercices courts. Il s'agit en réalité d'expérimenter la première adaptation de la matrice de Suh en ce que nous avons appelé la matrice conceptuelle d'une part, puis le *planning poker* dans sa version la plus courante d'une autre part.

³³ Studio Digital Collaboratif

³⁴ Séminaire de Conception, Fabrication Digitale.

³⁵ Master 2 Architecture, Modélisation, Environnement

L'adaptation de la matrice de Suh consiste en une expérimentation collective avec les étudiants visant à établir une première matrice de conception, avec une définition des intrants et des extrants.

7.2.1 De la matrice de Suh à la matrice conceptuelle

7.2.1.1 Objectifs de la matrice conceptuelle

La matrice de Suh (cf. 6.5) a pour objectif de maintenir l'indépendance des besoins fonctionnels d'un système tout en proposant de nouvelles solutions techniques pour l'objet à concevoir. Le choix de sélectionner cette pratique se justifie par la volonté d'avoir un outil autour duquel les concepteurs doivent se réunir afin de provoquer des échanges et donc une élicitation des intentions de chacun. L'objectif de l'adaptation de la matrice de Suh en un outil adapté pour la conception architecturale est donc de permettre aux acteurs de la conception d'affiner leurs intentions architecturales en satisfaisant les besoins du maître d'ouvrage grâce à l'échange et au débat.

7.2.1.2 Adaptation de la matrice de Suh

Les besoins fonctionnels (en colonne) du client sont remplacés par des livrables architecturaux (plans, coupes, plan de masse, perspective, etc.) et les paramètres de conception (en ligne) par les éléments programmatiques du projet (séjour, cuisine, chambre, etc.). Les cases à l'intersection des lignes et de colonnes peuvent désormais être remplies avec des mots décrivant les intentions architecturales des concepteurs (cf. Tableau 6).

		Livrables		
		Plan de masse	Perspective	Coupe
Programme	Séjour	Donne sur une terrasse au sud		
	Cuisine			
	Chambre			Vision sur le séjour

Tableau 6 : exemple d'une matrice de conception v1 en cours de remplissage

Par exemple, l'intention architecturale « donne sur une terrasse au sud » se trouve à l'intersection de la ligne « séjour » et de la colonne « plan de masse », tandis que « vision sur le séjour » pourra être l'intention architecturale à l'intersection de la ligne « chambre » et de la colonne « coupe ». La matrice sert donc à décrire le projet architectural selon des intentions architecturales sous la forme d'orientations, de matériaux, de concepts, etc., grâce à la mise en relation du programme et des livrables architecturaux. Pour remplir l'intention « donne sur une terrasse au sud » de l'exemple, il faut se poser la question de ce que l'on veut représenter du séjour sur le plan de masse. C'est une sorte de cahier des intentions destiné à la fois aux concepteurs eux-mêmes, mais également au maître d'ouvrage.

Cette matrice, appelée matrice conceptuelle, a été créée sous la forme d'une feuille de calcul en ligne pouvant être remplie simultanément par plusieurs personnes (avec l'intention que ces personnes soient tout de même présentes dans la même pièce).

L'hypothèse est que le remplissage collaboratif de cette matrice enclenche l'activité d'élicitation chez les concepteurs. Ils vont essayer de mettre en relation les livrables avec les éléments programmatiques, démarrant un processus de génération d'idées, et devront ensuite remplir les cases en accord avec les autres concepteurs. Ces derniers n'ont pas besoin de remplir toutes les cases, il s'agit simplement de proposer cette matrice comme permettant d'outiller l'élicitation. Cela devra permettre aux acteurs de confronter leurs intentions architecturales et leur compréhension des besoins du maître d'ouvrage. Cette proposition constitue la matrice de conception v1.

7.2.2 Expérimentation de la première version de la matrice de conception

Il s'agit désormais d'expérimenter la première version de la matrice de conception lors d'un exercice de projet.

7.2.2.1 Objectifs de l'expérimentation

L'expérimentation se déroule auprès des étudiants du Master 2 AME en septembre 2016 et consiste à utiliser les matrices de conception comme un cahier des charges rétrospectif, correspondant au projet que les étudiants ont réalisé le semestre précédent. L'objectif est de vérifier la faisabilité d'un remplissage collaboratif de la matrice sans mettre en danger la conception d'un projet nouveau tout en profitant d'un projet déjà réalisé par les étudiants pour consolider par la pratique cette première version de la matrice conceptuelle.

7.2.2.2 Protocole d'expérimentation

Les étudiants sont au nombre de 15 et sont répartis par groupes de deux ou trois correspondants aux groupes du projet en question. Le projet du semestre précédent était celui d'un centre nautique sur les bords de la Meurthe à Nancy. Les étudiants sont mobilisés pendant une après-midi et ont pour consigne de réaliser eux-mêmes la matrice sur un logiciel de tableur collaboratif en ligne, en suivant quelques instructions :

- mettre en ligne les intrants (éléments programmatiques) ;
- mettre en colonne les extrants (livrables) ;
- remplir les cases avec des phrases ou des mots simples ;
- proposer spontanément d'ajouter lignes ou colonnes.

7.2.2.3 Observations

La Figure 13 montre l'exemple d'une matrice remplie par un groupe :

		Extrants (représentation visuelle, livrables, etc.)			
		Plan masse		Diagramme fonctionnel	Mot-clé
Entrants (programme)	Centre nautique			- taille des bateaux - stockage des bateaux - dimensions en fonction de la capacité	Visibilité
	Salle de séminaires		- visibilité et accès pour les personnes extérieures		- liens avec l'internet Panorama
	Internat	- cohésion entre ces espaces - accès privé pour les livraisons	- calme et intime - espaces extérieurs privés	- espaces versatiles (ex : cuisine commune pour le club house et l'internat)	- garder les espaces jour et nuit bien distincts - garder les espaces enfants proches Centré
	Club house		- accès à l'étang - terrasse panoramique - visibilité et accès pour les personnes extérieures	- restaurant en lien avec la terrasse panoramique - bureau près des quais Introspection	

Figure 13 : exemple d'une matrice décrivant un projet de centre nautique

Nous observons dans cet exemple que les étudiants ont rempli la majorité des cases d'intentions architecturales pour les éléments « centre nautique », « centre de séminaire », « internat » et « club house » en relation avec le plan de masse. Ils ont par ailleurs parfois fusionné ces cases dans l'optique d'avoir des intentions communes aux éléments programmatiques. Ils ont cependant décidé d'enlever les livrables plan, coupe et perspective. Ils ont également ajouté les colonnes « diagramme fonctionnel » et « mot-clé ».

Suite à l'ajout de colonnes de natures autres que des livrables architecturaux, nous avons collaborativement décidé de nommer les lignes de la matrice des « intrants », et les colonnes des « extrants » afin d'offrir la possibilité de ne plus limiter la mise en relation des éléments programmatiques avec seulement des livrables architecturaux.

7.2.2.4 Évaluation

Les étudiants se sont approprié la matrice de conception en la simplifiant grâce à la fusion de plusieurs cases. Ils ont cependant ressenti le besoin d'ajouter des colonnes « extrants » en transformant la nature de ceux-ci afin d'ajouter des informations supplémentaires. Ce ne sont désormais plus

seulement des « livrables architecturaux » concrets, mais également des concepts plus abstraits comme des mots-clés.

Cette première expérimentation nous a permis d'obtenir des précisions supplémentaires quant aux informations que doit contenir la matrice. La prochaine version devra ne plus limiter ses extraits aux livrables architecturaux et pourra intégrer des éléments plus abstraits tels que des mots-clés ou encore des concepts généraux. Cela peut se traduire par le fait que l'expression d'intentions architecturales ne peut se limiter à la mise en relation avec des livrables architecturaux ; tandis que l'ajout d'un mot-clé à un espace présente un caractère descriptif court et permet de simplement qualifier cet espace et de lui donner une orientation architecturale. Cette adaptation avec des extraits supplémentaires constitue la v2 de la matrice de conception.

Nous allons désormais nous intéresser à l'expérimentation préliminaire du *planning poker* dans sa version la plus répandue.

7.2.3 Expérimentation du *planning poker* classique

Le *planning poker* dans sa version la plus courante, qui pour rappel, s'article autour d'un jeu de 13 cartes, numérotées 0, 1/2, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 20, 40 et 100 avec une carte « infini » et une carte « point d'interrogation » (cf. Figure 14) a été utilisé lors d'un exercice de conception d'abri accolé à un bâtiment existant.

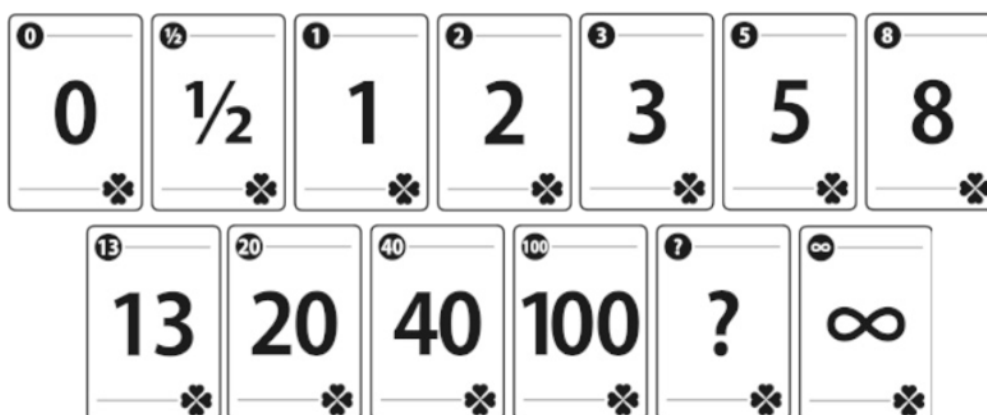


Figure 14 : rappel d'un jeu de *planning poker*

7.2.3.1 Objectifs de l'expérimentation

L'expérimentation préliminaire de la version classique du *planning poker* a pour objectif de vérifier que les étudiants du Master 2 AME comprennent l'importance de l'estimation des tâches de conception BIM et arrivent à le faire collaborativement. Il s'agit tout d'abord dans cette expérimentation de déterminer des tâches à faire puis d'estimer leur complexité et leur durée. Ensuite, les étudiants réalisent ces tâches et mesurent le temps nécessaire à leur réalisation avant de le comparer aux estimations. La journée d'expérimentation a eu lieu en octobre 2016.

7.2.3.2 Protocole d'expérimentation

L'expérimentation de cette pratique se déroule dans le cadre d'un court exercice de projet dans lequel les étudiants, répartis par groupes de quatre, doivent importer dans un logiciel de modélisation BIM un nuage de points qu'ils ont auparavant scanné dans un autre cours. Ils doivent ensuite modéliser le bâtiment du nuage de points avant de concevoir une légère extension à ce bâtiment³⁶. Dès le lancement de l'année universitaire, nous avons suivi ce protocole, constitué de plusieurs phases :

- Phase théorique : cours d'introduction sur l'agilité et la gestion de projet suivi d'une présentation du *planning poker*.
- Phase pratique : exercice court de *planning poker* : déterminer, estimer, réaliser puis mesurer des tâches de conception BIM.
- Récolte de données : les étudiants notent et nous rendent leurs estimations et les temps réels mesurés.
- Analyse des données : en vue d'une amélioration de la pratique.

Les phases théoriques permettent aux étudiants de comprendre les enjeux de la gestion de projet en architecture tout en faisant une introduction aux méthodes et pratiques agiles. La phase pratique consiste en l'exercice

³⁶ L'expérimentation s'inscrit dans le cadre d'une suite d'enseignements BIM dans lesquels les étudiants de la formation DNA travaillent sur le continuum numérique et l'interopérabilité de la technologie BIM. Ils procèdent tout d'abord au relevé d'un bâtiment existant grâce à un scan laser, avant de concevoir une légère extension, puis réalisent ensuite des simulations thermiques ou lumineuses.

même de la pratique traditionnelle du *planning poker*. Les étudiants vont donc se concentrer sur les différentes tâches BIM qu'ils doivent réaliser pour importer le nuage de points qu'ils eux-mêmes précédemment scanné, modéliser le bâtiment correspondant et concevoir son extension. En une après-midi, il faudra tout d'abord déterminer quelles sont ces tâches, les évaluer grâce au *planning poker*, se les répartir afin de travailler collaborativement sur le logiciel de modélisation BIM avant de les réaliser, puis mesurer le temps passé sur ces tâches.

7.2.3.3 Observations

Les groupes ont collaboré pour identifier les tâches à réaliser :

- importer le nuage de points ;
- positionner le nuage de points ;
- modéliser l'existant ;
- modéliser le projet ;
- exporter les fichiers .ifc et .gbxml.

La figure suivante (cf. Figure 15) montre les différents temps estimés et mesurés par un groupe de quatre étudiants, le groupe numéro 1 (cf. Annexe 2).

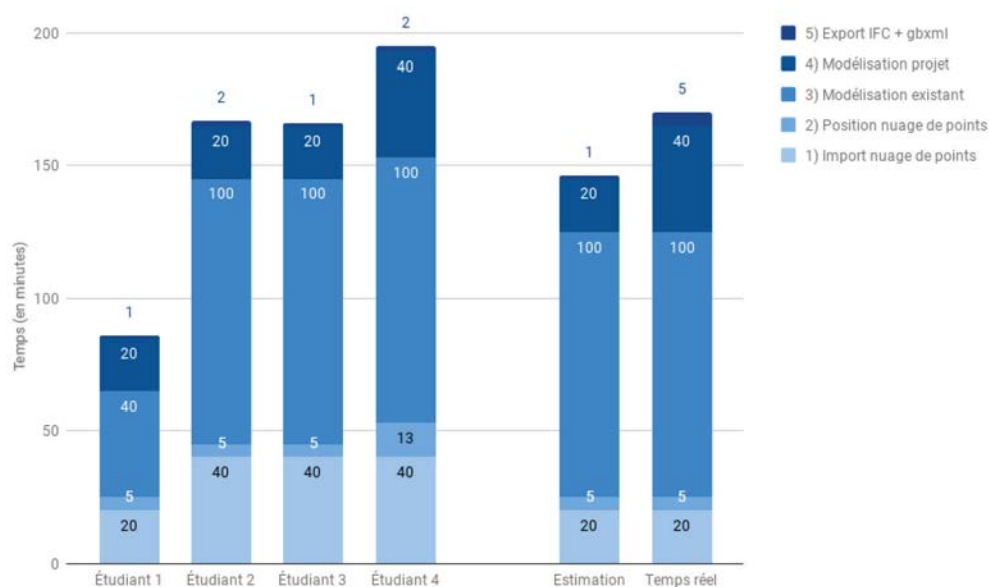


Figure 15 : résultats pour un groupe : estimations personnelles, estimation négociée et temps réel

L'étudiant 1 a par exemple estimé que la modélisation de l'existant prendrait 40 minutes, temps inférieur au temps réel de réalisation de cette tâche, tandis que les trois autres étudiants ont estimé que cela prendrait 100 minutes. Ces résultats peuvent s'expliquer parce que les trois autres étudiants avaient des connaissances plus poussées dans le domaine de la modélisation numérique et savaient mieux estimer les durées associées. Ils se sont ensuite mis d'accord pour une durée de 100 minutes, comme le montre la cinquième barre du graphique, et ont mesuré un temps réel de 100 minutes.

Nous observons que de grands écarts d'estimation entre les différents joueurs du groupe sont par la suite lissés lors de la phase de négociation pour arriver à un compromis. Les résultats des quatre groupes sont représentés sur la figure suivante (cf. Figure 16). Nous pouvons noter qu'au vu des temps réels mesurés, le groupe 1 et le groupe 4 ont correctement estimé leurs tâches de conception BIM. En revanche, les groupes 2 et 3 ont un écart du double au triple entre leurs estimations des tâches et leur réalisation.

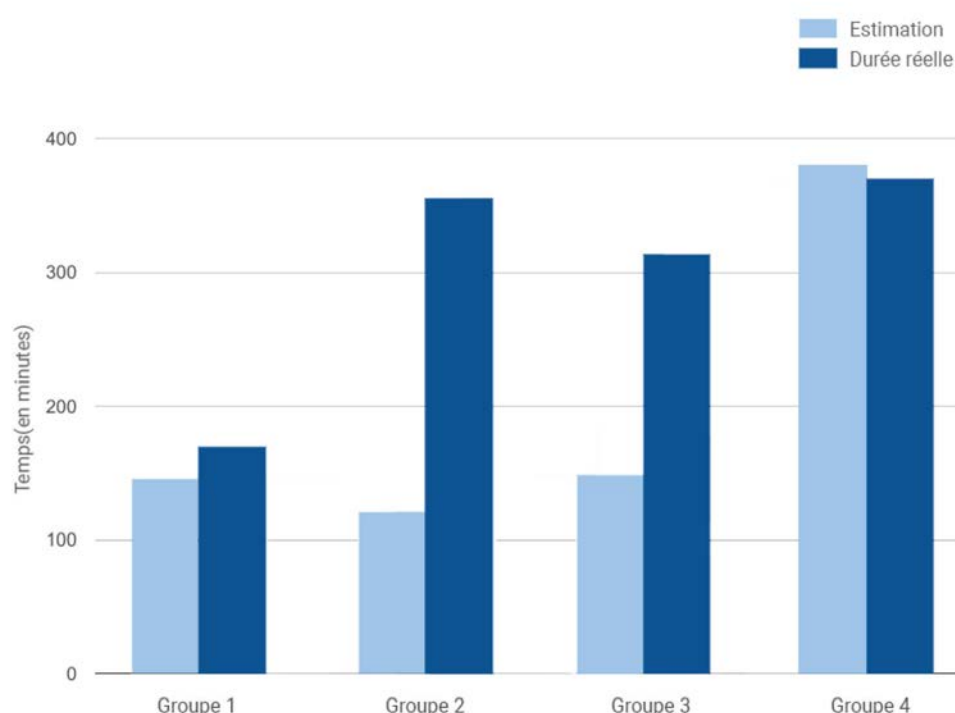


Figure 16 : estimations de tous les groupes

Après avoir analysé les différentes estimations et la composition de ces groupes, j'ai isolé le principal vecteur d'erreur : la modélisation de l'existant d'après le nuage de points, puis celle du projet d'abri. Ces deux groupes étaient en effet composés d'étudiants ne maîtrisant pas le logiciel de modélisation utilisé. Cela amène la question de la présence d'un « expert » dans un groupe d'estimation de tâches spécialisées. Mis à part ces erreurs d'estimations, les temps estimés et temps réels des autres tâches sont cohérents.

7.2.3.4 Évaluation

Même si les estimations de la complexité ou de la durée d'une tâche BIM sont erronées, la pratique du *planning poker* permet aux acteurs d'échanger et de débattre non seulement autour de la définition des tâches, mais également à propos de leurs propres compétences et connaissances du sujet, les rapprochant de la durée effective optimale. Les échanges ont en effet permis d'identifier quelle personne était en capacité de réaliser telle ou telle tâche. Par ailleurs, nous remarquons que des estimations élevées ou faibles du temps de réalisation d'une tâche montrent soit un manque de connaissance sur la complexité du sujet, soit au contraire une appréciation élevée due à un point de vue d'expert. Les échanges qui s'ensuivent permettent à tous les acteurs de comprendre l'étendue globale de la tâche à accomplir.

En revanche, les retours des étudiants lors de l'exercice puis lors de la phase de restitution de fin de semestre montrent qu'un trop grand nombre de cartes perturbe la phase de choix de ces cartes, ainsi que l'appropriation globale du jeu. La version classique du *planning poker* est composée de 13 cartes. Si l'objectif est de favoriser les échanges afin de procéder aux activités d'élicitation et de raffinement, nous pouvons nous poser la question de l'intérêt d'un si grand nombre de cartes. De plus, le fait qu'il n'existe qu'une seule échelle numérique d'estimation (0, 1/2, ..., 100) peut poser problème aux étudiants. Certains d'entre eux souhaitaient par exemple estimer les priorités des tâches ou encore la quantité de travail qu'une tâche représentait plutôt que sa durée en elle-même.

Ainsi, j'ai décidé de concevoir une variante du *planning poker*, appelée le micro poker, qui propose plusieurs échelles d'estimation ne reposant plus sur une seule échelle numérique.

7.2.4 Le micro poker

La version classique du *planning poker* propose 13 cartes numérotées de 0 à 100 (plus deux cartes spéciales) permettant de réaliser des estimations. En réponse aux remarques précédentes, j'ai conçu une variante du *planning poker* intitulé micro poker. Le nom de « micro » vient du fait que désormais les joueurs n'ont pas à effectuer leur choix dans un panel de 13 cartes, mais dans un « micro panel » de 3 cartes. Cette adaptation constitue la première version du micro poker (Gless *et al.*, 2018a).

Le jeu de cartes est désormais constitué (1) d'une échelle numérique, mais également de trois autres échelles : (2) une échelle de grandeur, (3) une échelle de couleur, et (4) une échelle de hasard. Les cartes proposent les valeurs suivantes (cf. Figure 17) :

- l'échelle numérique propose les valeurs 1, 10 et 100 ;
- l'échelle de grandeur propose les valeurs S, M et L ;
- l'échelle de couleur propose les valeurs verte, jaune et rouge ;
- l'échelle de hasard propose les valeurs feuille, ciseaux et pierre.

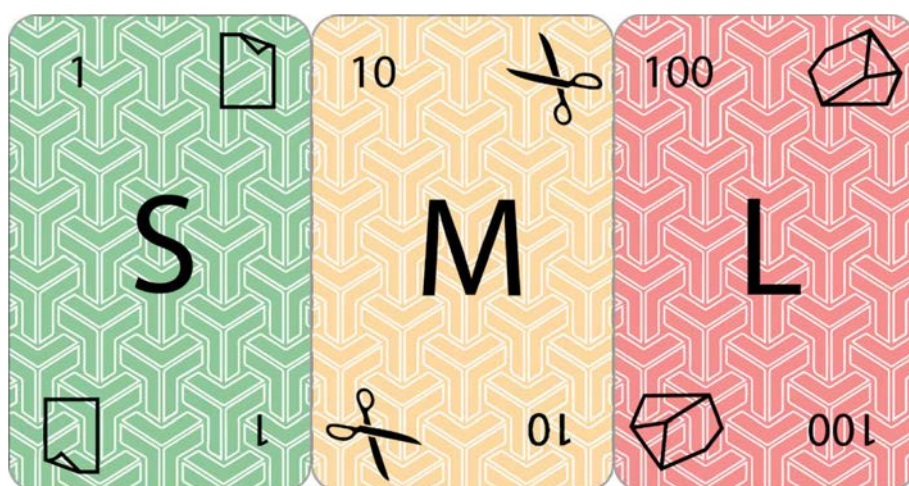


Figure 17 : première version du micro poker

Nous n'avons plus besoin de la carte « infini », il suffira de jouer la carte la plus haute, tandis que la carte « point d'interrogation » a également été supprimée pour obliger les joueurs à prendre position. J'ai également rajouté des symboles du célèbre jeu « pierre, feuille, ciseaux » afin de permettre aux joueurs d'invoquer le hasard si jamais une décision d'importance moindre devait être prise tout en ajoutant un aspect ludique à cette variante.

La carte verte présente le nombre 1, la lettre S signifiant *small*, et le symbole de la feuille de papier, la carte jaune le nombre 10 la lettre M pour *medium* et le symbole des ciseaux et la carte rouge le nombre 100, la lettre L pour *large* et le symbole de la pierre.

Le meneur de jeu réfléchit à l'échelle d'évaluation qu'il va choisir : « ce que nous allons évaluer s'inscrit-il dans une échelle de temps (nombres), dans une échelle de grandeur (tailles) ou dans une échelle d'urgence (couleurs), ou une échelle de hasard ? ».

Ces échelles permettent d'effectuer les estimations suivantes :

- Numérique : 1, 10 et 100 estiment un temps en valeur relative (1%, 10 % ou 100 % d'une journée ou d'une semaine) ; les choix sont limités aux cartes extrêmes et à une valeur intermédiaire.
- Grandeur : S, M, L représentent la quantité de travail à faire ; les nombres ne permettent pas toujours de définir une valeur, d'où des « tailles ».
- Couleur : vert, jaune et rouge représentent l'urgence d'une tâche à effectuer ou l'approbation d'une décision (le rouge étant très urgent ou négatif, contrairement au vert).
- Hasard : s'il n'y a pas de consensus, les cartes représentant pierre, feuille et ciseau appellent au hasard.

L'objectif de cette variante est toujours de permettre aux joueurs de pratiquer les activités d'élicitation et de raffinement de leurs intentions et des tâches de conception BIM, mais en facilitant le processus de choix de la carte. En effet, les joueurs doivent désormais choisir dans un panel réduit de trois cartes et se voient donc déchargés d'une multitude de combinaisons possibles.

Sachant que la finalité de cette pratique est de favoriser la communication entre les acteurs de la conception en architecture, ce n'est pas le nombre de cartes qui est important, mais bien la discussion qui suit le choix et la pose de ces cartes.

Le micro poker est une assistance à la communication et permet aux acteurs y jouant d'enclencher les activités d'élicitation et de raffinement des tâches de conception. À l'instar du *planning poker*, une estimation fautive a tout de même permis aux concepteurs de parler et de débattre. De plus, l'aspect ludique de la pratique est renforcé par les cartes colorées et les pictogrammes.

7.2.5 Conclusion

Ces deux expérimentations préliminaires nous ont permis de mettre en application et d'adapter deux pratiques agiles que sont la matrice de Suh et le *planning poker*. Elles ont permis de vérifier que ces deux pratiques n'entrent pas en contradiction directe avec l'acte de concevoir collaborativement en architecture. Nous avons pu constater qu'elles permettent au contraire de favoriser les échanges entre les acteurs de la conception et d'effectuer des activités d'élicitation et de raffinement d'intentions architecturales et des tâches de conception BIM.

Il faut garder à l'esprit que ces deux premières pratiques proposent des aspects bénéfiques sur le plan de la communication et de la cohésion du groupe : les acteurs s'expriment et confrontent leurs intentions à celles des autres. Même si les estimations des tâches de conception sont fausses, le micro poker offre aux joueurs la possibilité d'obtenir une meilleure vision globale des tâches à accomplir et du positionnement de chacun face à l'acte de concevoir un projet architectural.

Nous allons désormais nous intéresser à l'expérimentation longue de ces deux pratiques améliorées dans le cadre du projet du Studio Digital Collaboratif (SDC).

7.3 Expérimentations croisées des pratiques agiles

7.3.1 Expérimentation lors du SDC

Après avoir expérimenté individuellement la pratique de la matrice de conception puis celle du *planning poker* et les avoir adaptées, nous allons nous pencher sur leur expérimentation simultanée dans l'enseignement du Studio Digital Collaboratif se déroulant de septembre 2017 à janvier 2018. Le respect du cadre méthodologique agile sera contrôlé par mon rôle de BIM-agile coach endossé à la discrétion des étudiants pour ne pas perturber l'expérimentation.

7.3.1.1 Présentation du SDC

Le Studio Digital Collaboratif (SDC) est un enseignement de projet se tenant sur un semestre complet dans lequel les étudiants du Master DNA doivent concevoir un projet de type équipement public ou établissement recevant du public en collaboration avec les étudiants d'une autre université, et ce, à distance, et dans un cadre BIM.

Ce studio de projet, originalement développé entre l'ENSA de Nancy et l'Université de Liège entre 2007 et 2017 (Kubicki *et al.*, 2009), se déroule désormais en partenariat avec l'ESITC de Metz. Il a pour objectif la sensibilisation des étudiants aux situations de conception architecturale en contexte de collaboration multiacteurs, multicompetences et multisites, les équipes de conception étant composées d'étudiants de Nancy et d'étudiants de Liège ou de Metz, aux profils et aux formations différents : architectes, ingénieurs, designers, etc.

7.3.1.2 Objectifs de l'expérimentation

L'expérimentation se déroule dans le cadre du SDC de 2017-2018 où les étudiants issus de deux formations, l'ENSA de Nancy et l'Université de Liège, doivent concevoir une caserne de pompiers. Les objectifs sont de vérifier si les pratiques agiles sélectionnées sont utilisables simultanément lors d'un projet d'architecture traditionnel tout en s'assurant qu'elles n'entrent pas en conflit.

Nous vérifierons également que ces pratiques favorisent toujours les activités d'élicitation et de raffinement.

7.3.1.3 Protocole d'expérimentation

Les étudiants nancéiens sont au nombre de quinze tandis les étudiants liégeois sont dix-huit. Ils forment des groupes de cinq ou six au total, répartis équitablement entre Nancy et Liège. Tandis que les étudiants de Liège suivent tous une formation d'ingénieurs-architectes, les étudiants de Nancy sont répartis de façon à avoir au moins un étudiant-architecte par groupe. Les séances de travail collaboratif sont de deux natures : encadrés lors la séance de revue de projet hebdomadaire, ou libres entre chacune de ces séances. Les consignes, en dehors de celles du déroulement classique d'un studio de projet et relatives à la conception, sont les suivantes :

- Liberté d'utiliser le micro poker v1.
- Création d'une matrice de conception type v2 à partager avec les étudiants de Liège.
- Création d'une nouvelle matrice chaque semaine afin de garder une trace.

Le protocole d'expérimentation se découpe en deux étapes :

Étape préliminaire :

- Phase théorique : cours d'introduction sur l'agilité et la gestion de projet suivi d'une explication des pratiques de la matrice de conception et du *micro poker*.
- Phase pratique : exercice court de *micro poker*.

Seconde étape :

- Phase pratique : projet SDC sur un semestre.
- Récolte de données : retours directs des étudiants lors de l'expérimentation puis diffusion d'un questionnaire à propos de la pratique et des méthodes agiles en général.
- Analyse des données : tris des biais et amélioration des pratiques.

La promotion d'étudiants concernée par ces expérimentations n'est pas celle qui a expérimenté la matrice de conception et le *planning poker* dans la partie 7.2. L'étape préliminaire décrite auparavant correspond à une introduction à l'agilité à destination de cette nouvelle promotion.

La seconde étape du protocole d'expérimentation est divisée en plusieurs phases. La phase pratique consiste en la mise en application de la matrice de conception et du micro poker lors d'un projet traditionnel de conception architecturale dans un environnement BIM au sein de l'enseignement SDC. Les phases de récolte de données nous permettent d'enrichir nos observations lors des phases pratiques avec des retours soit purement quantitatifs grâce aux estimations des étudiants, soit qualitatifs lors de l'organisation d'une soutenance suite au projet ainsi que la distribution d'un questionnaire anonyme. Enfin, les phases d'analyse de données nous permettent d'évaluer nos hypothèses quant à l'amélioration de la communication et de la coordination (Gless *et al.*, 2018b).

7.3.1.4 Premières observations

Dès la première semaine d'expérimentation, les étudiants nous ont fait remonter que le micro poker permettait effectivement de plus se concentrer sur les différentes estimations à donner à une tâche de conception BIM que sur le choix d'une carte en particulier. En revanche, les étudiants désirant parler le moins possible ont tout de suite trouvé la faille d'une main composée de seulement trois cartes : dans une majorité des cas, il suffit de choisir la carte intermédiaire pour non seulement ne pas avoir à parler en premier, mais également pour ne pas être obligé de choisir de « camp ».

En réponse à ces remarques, j'ai subséquemment dû concevoir une quatrième carte de poker obligeant les joueurs à se positionner soit dans la moitié inférieure des choix soit dans la moitié supérieure. Il ne sera donc plus possible pour eux de se positionner au milieu de l'échelle de choix et donc d'une certaine façon de se dissimuler, de choisir de ne pas choisir.

7.3.1.5 Adaptation du micro poker v2

Le passage de trois à quatre cartes entraîne naturellement l'obligation de choisir un nouveau palier pour chacune des quatre échelles d'estimation.

- Pour l'échelle de couleur, il est aisé de passer du trio vert, jaune et rouge, au quatuor vert, jaune, orange et rouge.
- Pour l'échelle de grandeur, il est logique de passer de S, M et L à S, M, L et XL.
- Pour l'échelle des nombres, j'ai choisi de garder 1, 10 et 100 et d'y ajouter le nombre 50.
- Enfin, pour l'échelle de hasard, je me suis inspiré des variantes du *planning poker* qui proposent la carte « café » et l'ai donc ajoutée comme quatrième pictogramme.

Dans ces variantes du *planning poker*, la carte « café » est jouée par un joueur qui voudrait demander une pause. Voulant garder une plage de couleur comportant nécessairement la couleur verte afin de représenter une estimation courte, légère ou encore facile, j'ai choisi d'attribuer le pictogramme « café » à la carte rouge. Au milieu des autres pictogrammes de hasard, le pictogramme « café » s'inscrit dans la continuité de l'aspect ludique de la pratique du micro poker. Cette adaptation est la version 2 du micro poker.

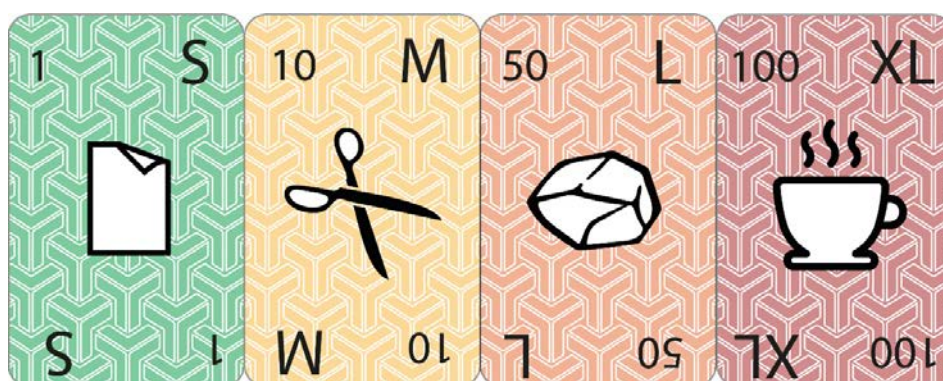


Figure 18 : version 2 du micro poker

7.3.1.6 Secondes observations

Voici l'exemple d'un échange entre étudiants utilisant la version 2 du micro poker (Gless *et al.*, 2018a) :

- « Étudiant 1 : y a-t-il beaucoup de travail pour modéliser le terrain ? On utilise les cartes S, M, L et XL (*tout le monde choisit une carte, et la révèle en même temps ; étudiants 1 et 2 ont choisi respectivement S et XL et commencent donc à parler*).
- Étudiant 1 : j'ai choisi S car ce n'est pas difficile de modéliser un terrain.
- Étudiant 2 : moi j'ai pris XL, car on n'a pas le cadastre complet de la parcelle. On doit chercher les courbes de niveau aussi.
- Étudiant 1 : ah ! Je n'avais pas pensé à ça.
- Étudiant 3 : et on peut en profiter pour aller faire des relevés.
- Étudiant 1 : ah oui. Eh bien, je m'occupe de trouver tout ce qu'il faut pour modéliser et je commence ; je maîtrise bien ArchiCad.
- Étudiant 2 : OK, avec Étudiant 3 on va aller sur le terrain alors.
- Étudiant 1 : bien, sommes-nous d'accord pour donner la valeur XL pour l'estimation du terrain ? Du coup question suivante. Y a-t-il beaucoup de travail pour dessiner le parking demandé ?
(*Ici, commence un nouveau tour*). »

Nous observons que la pratique du micro poker a ici permis une élicitation de tous les membres du groupe et a permis aux membres novices (Étudiant 1) de se synchroniser avec les membres experts (Étudiant 3). Nous évitons ainsi l'économie de la communication propre aux membres expérimentés (cf. 3.4.2 L'activité d'élicitation) et cela permet une mise à niveau cognitive et une compréhension commune à l'équipe de conception.

Quant à l'utilisation de la matrice de conception, nous avons pu observer qu'elle était bien utilisée au début du projet, puis délaissée au fur et à mesure de l'avancement du calendrier.

Voici un exemple de matrice de conception remplie durant le projet, lors de la dernière semaine (une version agrandie est disponible à l'annexe 6) :

SEMAINE 47		Sortants					
		M²	Fortes proximités	RDC ou Etage ?	Mot-clé	Lumière	Diagramme fonctionnel
Espace Commun	Parking véhicules privés	3200		Sous-sol		Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible
	Parking visiteur	300		RDC		Extérieur	
	Espace d'accueil	40		RDC		Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur
	Sanitaires	40		RDC		Artificielle	Accessible de l'entrée
	Cuisine de collectivité	50		Etage		Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur
	Salle de prise des repas	200		Etage		Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin
	Salle de l'amicale du personnel	30		Etage		Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente
	Infirmierie	40		Etage		Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...
	Locaux du personnel d'entretien	30		RDC		Artificielle	Accès sur l'extérieur
	Locaux de chaufferie et techniques	120		Sous-sol		Artificielle	
Personnel	Salle de détente	180		Etage	Apaisant	Lumière Sud	
	Salle de repos	120		Etage		Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation
	Dortoir	400		Etage		Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation
	Vestiaires	300		Etage		Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue
	Douches et Sanitaires	100		Etage	Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness	
	Salle de fitness	200		Etage	Dynamique	Lumière Naturelle	En façade
	Salle de sport	1200		Etage		Lumière Naturelle	Salle de sport pour accueillir terrain Hand
	Piscine	900		Etage		Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin

Figure 19 : extrait d'une matrice de conception pour l'exercice de projet de la caserne de pompier

Comme pour l'expérimentation courte de la matrice de conception v1 lors de l'exercice de projet (cf. 7.2.2), nous observons que les étudiants ont profité des possibilités offertes pour l'outil de création de tableurs collaboratifs pour ajouter de nombreux extrants (ici appelés sortants par les étudiants). Ils ont jugé nécessaire d'ajouter une colonne « m² », une colonne « détails », une colonne « fortes proximités », une colonne « RDC ou étage », ainsi qu'une colonne « lumière ». Ces extrants correspondent aux besoins d'avoir des informations basiques telles que les surfaces des pièces ou bien les liens entre les espaces entre eux, ou encore les orientations souhaitées pour ces espaces, et ce au même endroit. Nous remarquons par ailleurs que toutes les cases ne sont pas remplies, montrant que chaque élément programmatique n'a pas nécessité à être associé à un extrant.

7.3.1.7 Évaluation et adaptations

L'expérimentation du micro poker et de la matrice de conception lors du même exercice de projet ont permis de mettre en lumière plusieurs éléments. Tout d'abord, le micro poker de son côté permet aux étudiants de mieux dessiner les contours d'une tâche de conception architecturale BIM tout en

permettant une meilleure communication et une meilleure coordination de groupe. En effet, la cohésion du groupe et l'intelligence collective de celui-ci sont renforcées par le fait que chaque acteur de la conception doit s'exprimer, enclenchant une mise à niveau et une synchronisation cognitive entre les novices et les experts. Les tenants et les aboutissants définissant le périmètre et le contenu d'une tâche ne dépendent plus de l'idée que chacun se fait de la tâche ou de l'action même de collaborer, mais d'une discussion argumentée et collégiale de la part de tous les concepteurs.

Quelques retours d'étudiants ont en revanche émis le fait que les nombres inscrits sur les cartes étaient mal choisis. Les écarts entre 1, 10, 50 et 100 ne permettaient pas d'utiliser cette échelle d'estimation de manière correcte. J'ai ainsi conçu une troisième version du micro poker, en prenant comme référence le principe de Pareto (Pareto, 1967) et la répartition 80-20³⁷. Remplacer le nombre 10 par le nombre 20, et le nombre 50 par 80 augmente l'écart entre les deux cartes intermédiaires et permet d'accentuer le choix des joueurs.

J'ai donc choisi les nombres 1, 20, 80 et 100, permettant de choisir en valeur relative de très petites durées (1), des moyennes (20), des grandes (80) ou de très grandes (100). L'objectif est toujours de devoir choisir une position sur une des deux moitiés de l'échelle et de ne plus pouvoir se positionner dans un entre-deux. La lisibilité des cartes a également été améliorée (cf. Figure 20).

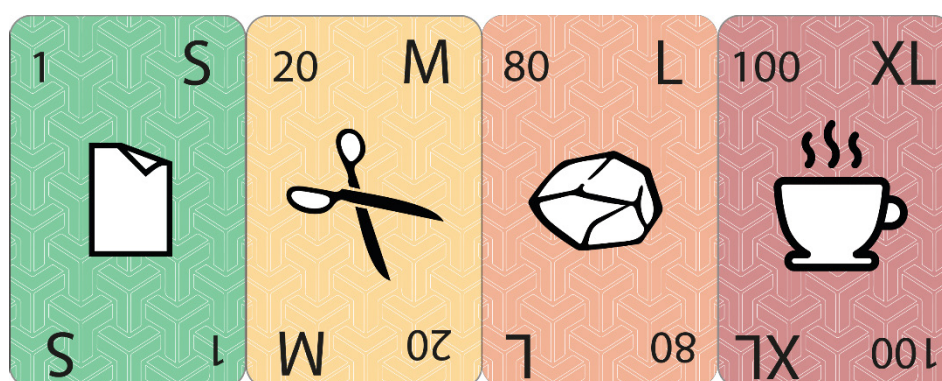


Figure 20 : version 3 du micro poker

³⁷ Le principe de Pareto est un phénomène empirique décrivant que 80 % des effets sont le produit de 20 % des causes.

Pour la pratique de la matrice, nous avons noté une utilisation soutenue lors des deux premières semaines, puis une utilisation modérée, voire nulle dans les semaines suivantes. L'objectif de la matrice étant de permettre aux concepteurs d'échanger leurs intentions architecturales grâce son remplissage collaboratif, le fait qu'elle soit de moins en moins utilisée au fil du temps ne constitue pas un problème d'un point de vue communication et coordination. Dès lors que les concepteurs ont appris à échanger, le besoin d'une assistance à la collaboration est moins utile.

Par ailleurs, la matrice de conception a évolué dans les groupes d'étudiants de telle sorte que dans chacun d'entre eux, des extrants supplémentaires ont été ajoutés. Nous notons d'une part un besoin de centralisation des informations relatives au programme et d'autre part le souhait d'une plus grande variété d'extrants sous la forme de caractéristiques et d'enjeux architecturaux.

J'ai ainsi à nouveau adapté la matrice de conception pour la rendre plus centrale dans l'exercice de projet (cf. Tableau 7). Il y a toujours un seul type d'intrant, les éléments programmatiques du projet et désormais trois types d'extrants, les caractéristiques, les enjeux et les livrables (les sous-catégories sont des exemples non exhaustifs) :

		Extrants					
		Caractéristiques		Enjeux		Livrables	
		Surface	Contraintes	Concept	Mot-clé	Plan masse	Perspective
Intrants	Entrée						
	Salle réunion						

Tableau 7 : matrice de conception version 3

Les « caractéristiques » correspondent à des éléments concrets que les concepteurs souhaitent associer au projet tels que la surface des espaces, les

contraintes dictées par le PLU³⁸, ou encore la capacité d'accueil souhaitée. Les enjeux traduisent les intentions architecturales abstraites telles que le concept d'un espace, ou le mot-clé le décrivant. Enfin, les livrables sont les éléments graphiques attendus et communicables au sein de l'équipe de conception ou avec le maître d'ouvrage et pour lesquels il est possible d'inscrire des objectifs à faire apparaître. Un livrable « plan masse » pourra par exemple proposer « un accès rapide à la route la plus importante » pour l'espace du programme « garage/atelier » (cf. Figure 21).

MJ TEAM		Diagramme fonctionnel	Plan Masse
		Garage/atelier	Lié au dortoir et à la zone d'entraînement

Figure 21 : extrait de la matrice de conception d'un groupe de SDC

Afin de valider définitivement les apports en ce qui concerne la communication et la coordination de ces deux pratiques agiles, nous avons réalisé une dernière expérimentation, inscrite sur une semaine et dans laquelle nous avons introduit la dernière pratique agile : le *stand-up meeting* en plus de la matrice de conception et du micro poker et du BIM-agile coach.

7.3.2 Expérimentation lors du séminaire CFD

Après avoir expérimenté conjointement les pratiques agiles de la matrice de conception v2 et celle du micro poker v3 lors d'un exercice long de projet BIM, nous allons expérimenter des pratiques d'aide à la réunion et à l'encadrement lors du séminaire de Conception Fabrication Digitale (CFD).

7.3.2.1 Présentation du CFD

Le séminaire de Conception Fabrication Digitale est un workshop se déroulant sur une semaine, à la fin du premier semestre de cours de la formation du Master 2 DNA et dans lequel les étudiants sont répartis par

³⁸ Le Plan Local d'Urbanisme est un document écrit par chaque mairie ou collectivité dictant les règles à respecter afin de se voir délivrer un permis de construire.

groupes de trois. Ils ont pour objectif de concevoir collaborativement un projet de micro architecture. Selon les années, ils ont pu concevoir un espace d'exposition ou un espace de musique ; cette année, ils devaient concevoir un « objet architectural mobile ». L'objectif du CFD est de mettre en application toutes les connaissances et tous les savoir-faire acquis durant le semestre précédent, que ce soit en matière de modélisation BIM, de collaboration ou encore de rendus d'images. Pour cette édition 2018, ils ont dû également mettre en pratique leurs acquis en agilité.

7.3.2.2 Objectifs de l'expérimentation

L'expérimentation des deux dernières pratiques agiles sélectionnées se déroule donc pendant le séminaire SDC de février 2018. L'objectif est d'évaluer les pratiques (1) du *stand-up meeting* et (2) du BIM-agile coach. Ce rôle consistera à veiller au bon déroulement du studio de projet et à être garant de la correcte mise en œuvre des pratiques agiles. En raison de ma position d'enseignant dans ce cours et de mon statut de chercheur en pratiques collaboratives, j'ai choisi d'endosser ce rôle de coach BIM-agile.

Nous vérifierons si les pratiques sont compatibles entre elles et avec les deux pratiques candidates précédentes. Il s'agit donc d'une expérimentation où toutes les pratiques sont mises en place. Nous cherchons à savoir si ces quatre pratiques agiles permettent d'améliorer la communication dans le groupe ou la cohésion de groupe.

7.3.2.3 Protocole d'expérimentation

Tout comme pour les expérimentations précédentes, les étudiants au nombre de 15 sont répartis en groupes pluridisciplinaires de trois personnes mélangeant étudiants-architectes et étudiants d'autres formations (ingénieurs, design global). En revanche, contrairement à l'expérimentation lors du SDC, celle-ci ne concerne donc que les étudiants nancéiens. Le projet « d'architecture mobile » leur est présenté au démarrage de la semaine. Ils sont libres de travailler comme ils le souhaitent, mais doivent respecter deux types d'échéances : le rendu final du vendredi après-midi et un rendez-vous

quotidien pour pratiquer un *stand-up meeting*. Nous leur avons transmis les consignes suivantes :

- liberté d'utiliser la matrice de conception ou le micro poker ;
- obligation de préparer un ou plusieurs livrables pour le *stand-up meeting* quotidien.

Tout comme pour l'expérimentation du SDC, les étudiants n'étaient pas au courant de mon rôle de BIM-agile coach. Il s'agissait pour moi de rester le plus disponible possible au long de cette semaine, de m'assurer qu'ils avaient en possession tous les éléments nécessaires au bon déroulement du workshop, tout en prenant en charge les problèmes techniques, d'organisation ou encore de modélisation, sans jamais m'immiscer dans la conception.

L'expérimentation fait suite à un semestre d'enseignement du Master 2 DNA et donc aux expérimentations préliminaires effectuées au début du semestre ainsi qu'à celles du SDC. Le protocole scientifique appliqué est donc semblable à celui du SDC et est découpé en deux étapes :

Étape préliminaire (dont les deux premières phases sont communes avec l'expérimentation du SDC) :

- Phase théorique : cours d'introduction sur l'agilité et la gestion de projet suivi d'une explication des pratiques de la matrice de conception et du micro poker.
- Phase pratique : exercice court de micro poker.
- Phase pratique : studio de projet SDC mêlant matrice de conception et micro poker.

Seconde étape :

- Phase pratique : séminaire CFD.
- Récolte de données : retours directs des étudiants lors de l'expérimentation puis diffusion d'un questionnaire à propos de la pratique et des méthodes agiles en général.
- Analyse des données : tris des biais et amélioration des pratiques.

L'étape préliminaire correspond, comme pour le SDC, aux expérimentations déjà réalisées dans la partie 7.2 (Expérimentations préliminaires : la matrice de conception et le *planning poker*). Cette étape nous a permis de nous assurer que les étudiants sont familiarisés avec les concepts de l'agilité grâce à des cours théoriques puis des exercices pratiques.

La seconde étape est naturellement l'expérimentation en elle-même et des récoltes de données pendant et après cette expérimentation, notamment par l'organisation de soutenance dédiée à la collaboration appliquée durant le semestre, et à la distribution d'un questionnaire sur l'agilité (Gless *et al.*, 2019).

7.3.2.4 Observations

J'ai organisé un *stand-up meeting* par jour, en début d'après-midi pour les quatre premiers jours de la semaine, et le vendredi matin pour le dernier (l'après-midi étant consacré à la restitution). Les questions posées étaient toujours les mêmes :

- Qu'avez-vous fait ce matin ?
- Qu'allez-vous faire cet après-midi ?
- Rencontrez-vous des problèmes ?

Un ou plusieurs livrables étaient également demandés afin de pouvoir d'une part enclencher un rythme de conception/production et d'une autre part de faire prendre du recul aux étudiants sur cette conception/production. Ils ont ainsi produit des plans, des dessins, des maquettes ou encore des prototypes de détails techniques.

Les matrices de conception ont quant à elles été utilisées lors de la première journée afin de permettre aux membres respectifs de chaque groupe d'échanger par rapport à leurs intentions architecturales. Les journées suivantes ont été intégralement consacrées à la conception et à la production.

Le micro poker dans sa dernière version a été plutôt bien accueilli. Les étudiants avaient en revanche tendance à utiliser les cartes comme un système de vote grâce aux couleurs verte et rouge, ou bien à proposer quatre solutions

avant de les attribuer à chacune des cartes avant de voter, ce qui constitue en soi une pratique différente, mais relève d'une appropriation de la pratique.

Enfin, mon rôle de BIM-agile coach m'a naturellement permis d'organiser les *stand-up meetings*. J'ai également pu résoudre de nombreux problèmes d'organisation ou en rapport avec l'exercice de projet. Nous trouvons notamment :

- précisions sur la demande initiale du sujet ;
- précisions sur l'emploi du temps ;
- questions relatives à la collaboration BIM ;
- demandes de participation aux séances de micro poker.

Ces sollicitations ont été émises majoritairement lors des *stand-up meetings* quotidiens.

7.3.2.5 Évaluation

Nos observations nous permettent d'affirmer que la pratique quotidienne du *stand-up meeting* a permis aux étudiants d'adopter un rythme régulier de livrables à produire. Ils savent qu'ils ont un moment de la journée qui est dédié aux retours et à la résolution des problèmes. Cela leur a également permis de prendre du recul sur leur conception et de l'évaluer avant de produire ces livrables. C'est une pratique simple à mettre en place, facilement appropriable par les acteurs de la conception et qui permet d'installer rapidement un climat propice à la collaboration : chaque acteur sait ce que font ses collaborateurs et sait ce qu'il peut produire entre deux *stand-up meetings* pour faire avancer le projet.

La synergie rendue possible avec le rôle du BIM-agile coach m'a permis d'assurer l'animation des *stand-up meetings* afin d'avoir une vision globale du projet (Gless *et al.*, 2018b). En tant qu'acteur extérieur à la conception, j'ai pu profiter de ces réunions quotidiennes pour faire le point avec les concepteurs sur leur avancement tant niveau coordination que niveau production afin d'avoir une vision globale du projet. J'ai également participé aux séances de micro poker pour apporter un avis d'expert.

La pratique du *stand-up meeting* est donc une réelle opportunité pour les concepteurs d'effectuer des bilans réguliers d'avancement tout en déléguant la résolution de problèmes à un acteur extérieur, ici le BIM-agile coach.

Nous allons dans la partie suivante nous intéresser aux retours des étudiants obtenus après la diffusion d'un questionnaire anonyme en ligne.

7.3.3 Résultats du questionnaire

J'ai rédigé un questionnaire afin de pouvoir avoir un retour objectif sur les pratiques agiles expérimentées au cours du semestre. Ce questionnaire se concentre sur les trois pratiques agiles : (1) la matrice de conception, (2) le micro poker et (3) le *stand-up meeting*. Ce sont en effet les pratiques que les étudiants ont directement appliquées, contrairement au BIM-agile coach. Le questionnaire s'intéresse à la perception qualitative que les étudiants ont eue des pratiques agiles. Les questions sont donc orientées sur l'amélioration individuelle de chaque pratique sur le plan de la communication ou de la coordination, puis sur l'agilité en général et sur son applicabilité en conception architecturale. L'introduction préalable au questionnaire précisait que toutes les questions devaient être comprises comme inscrites dans un contexte de conception architecturale BIM.

7.3.3.1 La matrice de conception

Voici les questions concernant la matrice de conception :

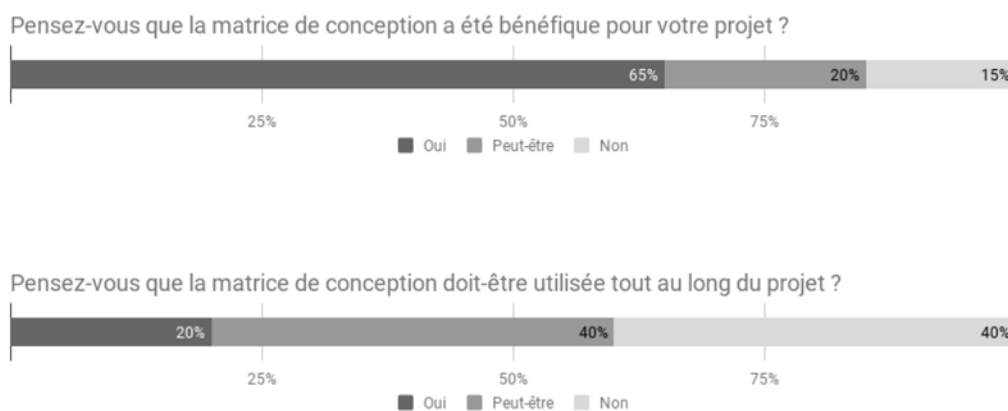




Figure 22 : résultats du questionnaire concernant la matrice de conception

Comme nous avons observé dans les expérimentations précédentes, les étudiants confirment le fait que la matrice de conception n'est pas nécessairement un outil qui a pour vocation d'être utilisé tout au long du projet. Malgré une difficile appropriation par les étudiants dans un premier temps, ces derniers pensent à 65 % qu'elle leur aura été bénéfique pour leur projet ; en probable grande partie, car elle leur a permis de mieux communiquer (à 55 %).

La pratique de la matrice de conception est donc une pratique dont nous devons privilégier la mise en place en début de projet, afin de permettre aux acteurs de la conception d'enclencher les activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation mutuelle de leurs intentions architecturales.

7.3.3.2 Le micro poker

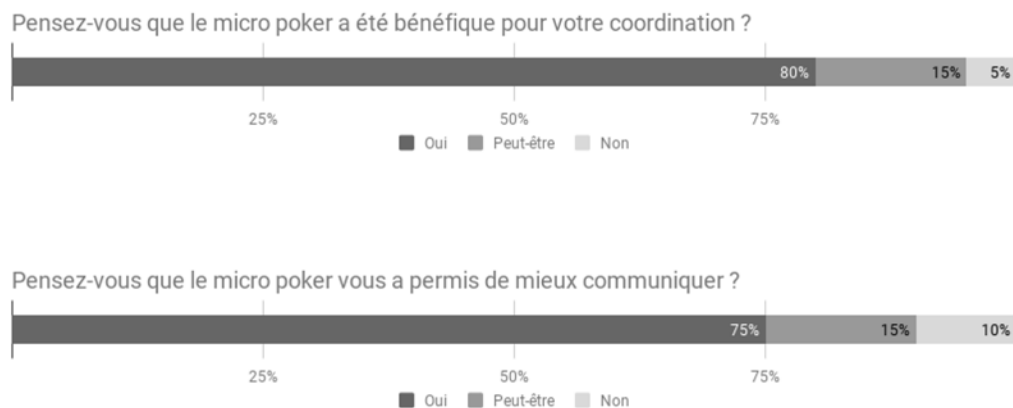


Figure 23 : résultats du questionnaire concernant le micro poker

Les résultats quant à la pratique du micro poker montrent qu'une grande majorité des étudiants, respectivement 80 et 75 %, pensent que cette pratique permet d'améliorer la coordination et la communication dans un groupe de conception architecturale.

7.3.3.3 Le stand-up meeting

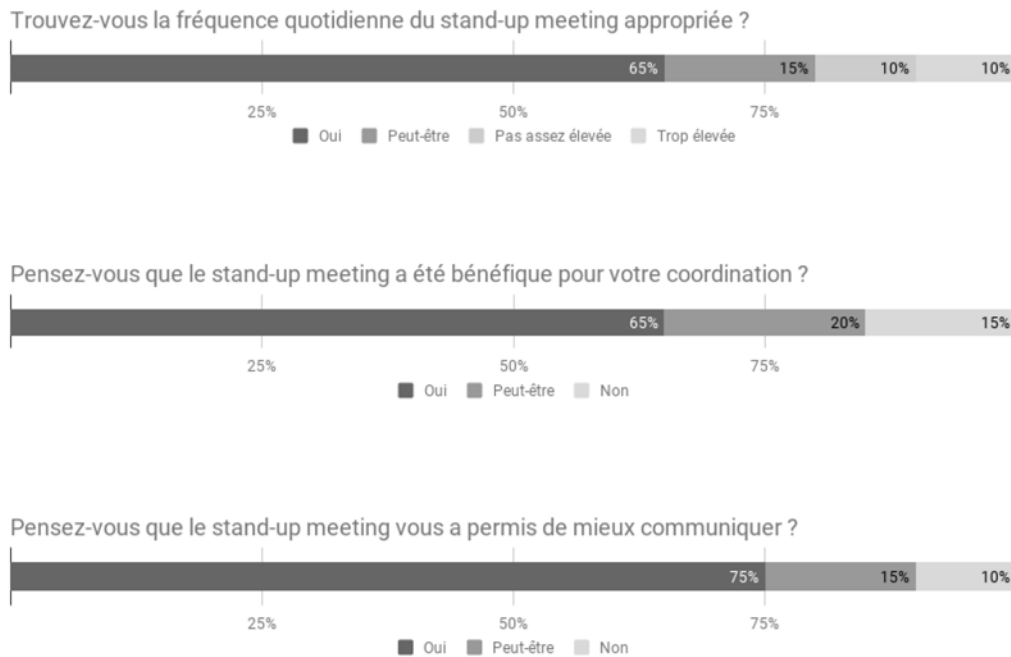
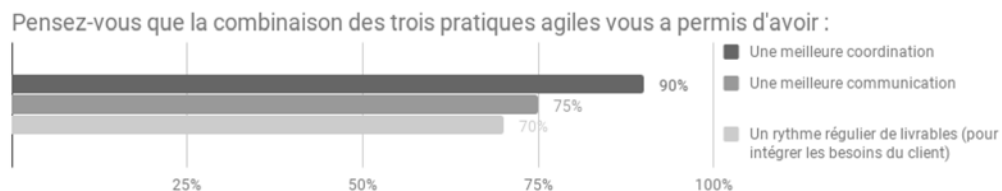


Figure 24 : résultats du questionnaire concernant le *stand-up meeting*

J'ai ici ajouté une question concernant la fréquence du *stand-up meeting*. Nous remarquons que la majorité de 65 % considère qu'une utilisation quotidienne est appropriée à un contexte de conception architecturale BIM. 10 % trouvent la fréquence trop élevée tandis que 10 la trouve trop faible. Par ailleurs, respectivement 65 % et 75 % pensent que la pratique du *stand-up meeting* est bénéfique à la coordination et permet de mieux communiquer.

7.3.3.4 L'ensemble des pratiques agiles

S'en suivent une série de questions concernant tout d'abord l'ensemble des pratiques agiles :



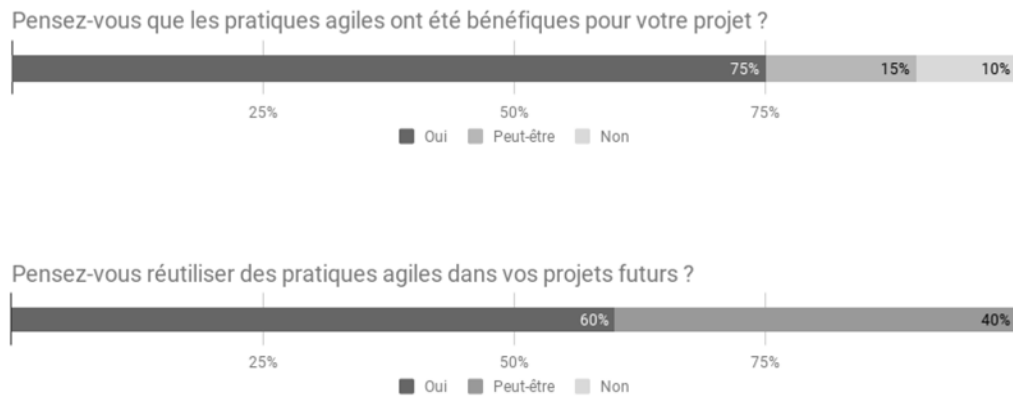
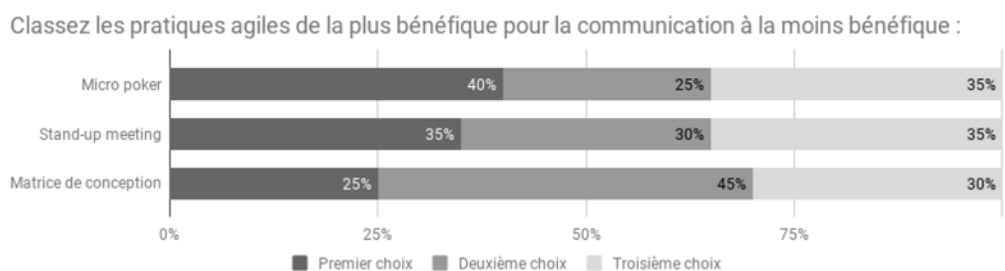
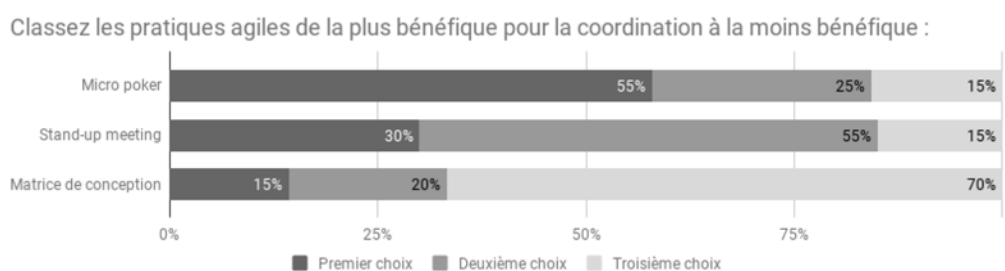


Figure 25 : résultats du questionnaire concernant l'ensemble des pratiques agiles

Nous observons que les étudiants pensent à 90 % que les trois pratiques agiles mises en place permettent d'avoir une meilleure coordination, à 75 % une meilleure communication et à 70 % un rythme régulier de livrables. Cette option de réponse permet d'évaluer la propension des pratiques agiles à permettre aux acteurs de la collaboration de se donner un rythme de travail nécessaire pour qu'ils puissent échanger avec le maître d'ouvrage sur ses besoins.

Les étudiants ont ensuite trouvé les pratiques agiles bénéfiques pour leur projet à 75 % et restent 60 % à songer à les réutiliser dans des projets futurs. Les questions suivantes demandent aux étudiants de classer les pratiques et permettent d'apporter des pistes de perspectives.



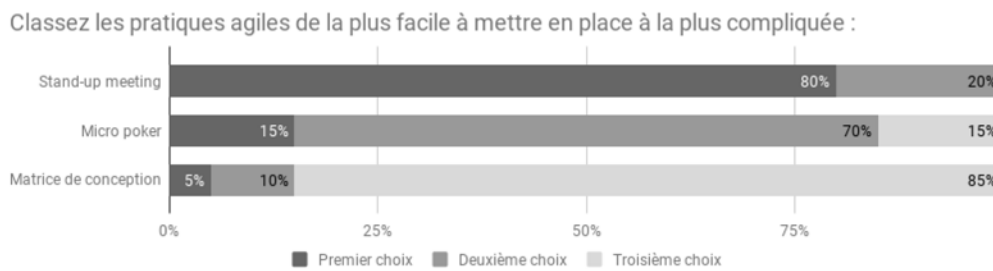


Figure 26 : résultats du questionnaire concernant le classement des pratiques agiles

Nous observons que les étudiants classent majoritairement le micro poker, puis le *stand-up meeting*, puis la matrice de conception comme étant bénéfiques à la coordination d'une part et à la communication d'autre part. En revanche, ils classent en premier la pratique du *stand-up meeting* comme pratique agile la plus facile à mettre en place en conception architecturale BIM. Cette pratique ne nécessite aucun matériel et est très rapidement compréhensible et appropriable, contrairement au micro poker qui nécessite un jeu de cartes et une compréhension des règles et à la matrice de conception qui nécessite un tableur collaboratif et une compréhension de la méthode de remplissage.

7.4 Conclusion du chapitre

Les différentes expérimentations menées dans le cadre de ce travail de recherche, qu'elles soient courtes, lors d'un temps d'une journée, de durée intermédiaire, lors d'un temps d'un workshop d'une semaine, ou longues, lors d'un temps d'un semestre complet, ont permis de mettre en place les quatre pratiques agiles candidates et de vérifier leur compatibilité tout en évaluant leur impact sur la communication et la coordination dans un groupe de conception architecturale BIM.

La pratique de la matrice de conception a beaucoup évolué durant mon travail de recherche, passant du remplissage collaboratif d'un outil voulant associer les éléments programmatiques d'un projet avec des livrables architecturaux à un outil centralisant les informations nécessaires à la conception en ajoutant aux livrables les enjeux et les caractéristiques du projet. La pratique a été reçue de manière plutôt positive par les étudiants, dès lors

que la méthode de remplissage fût acquise, mais se voit être de moins en moins utilisée lors de l'avancement de la conception. Il s'agit dès lors d'une pratique devant se dérouler en phase amont de conception, permettant aux acteurs de la conception d'enclencher les activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation de leurs intentions architecturales. Cette pratique reste efficace pour améliorer la communication dans un groupe de conception collaborative, mais présente une appropriation difficile de premier abord et se voit donc classée comme une pratique difficile à mettre en place.

La pratique du micro poker a quant à elle été immédiatement perçue de manière positive par les étudiants en raison de l'aspect ludique que proposent les cartes à jouer. Le jeu de cartes sur lequel repose la pratique est passé d'un jeu de treize cartes à un jeu de quatre cartes dans l'objectif de simplifier la phase de réflexion afin de privilégier celle des échanges entre les concepteurs. La pratique les encourage à discuter de la quantité de travail qu'ils ont à produire, de la manière dont ils vont collaborer, de qui réalise quoi et surtout de collaborativement définir en quoi consiste les tâches qu'ils vont devoir réaliser. Le micro poker n'est pas une négociation de la tâche, mais une opportunité pour les concepteurs de favoriser l'intelligence collective par la synchronisation cognitive et la conscience de groupe. Les diverses estimations réalisées n'ont pas pour but d'être précises, mais de permettre aux experts présents dans les groupes multi compétences BIM de se mettre aux niveaux les uns des autres. Les étudiants avaient parfois recours au micro poker pour créer un système de vote grâce aux couleurs verte et rouge, ou bien à proposer quatre solutions et les attribuer à chacune des cartes avant de voter, ce qui constitue en soi une pratique différente, mais relève d'une appropriation et d'une transformation de la pratique. Cette dernière est classée comme bénéfique à la communication et à la coordination et s'avère facile à mettre en place.

La pratique du *stand-up meeting* est une pratique facilement applicable dans un contexte de conception collaborative en architecture. C'est une aide à la réunion qui nécessite seulement d'adapter les trois questions qui forment sa trame de lecture. Afin de renforcer l'aspect rythmique de cette pratique, j'ai rajouté une obligation de produire et de montrer lors de cette réunion un livrable architectural, sous la forme d'un plan, d'une maquette, ou n'importe

quel autre résultat visualisable d'un travail. Le rythme quotidien d'organisation de cette réunion est adapté à la granularité des tâches d'un travail de conception en architecture et permet de faire le point sur son avancement, de se positionner par rapport aux tâches de ses co-concepteurs tout en enclenchant une activité d'évaluation chez tous les participants, et ce de manière cyclique.

Enfin, la pratique du BIM-agile coach permet de placer un individu dans le rôle d'un acteur extérieur à la conception, chargé du bon déroulement du projet de conception et de la bonne application de l'agilité dans le groupe. Son adaptation du rôle de facilitateur à celui d'expert en BIM-agile lui permet en effet de se concentrer sur les aspects techniques et organisationnels tout en adoptant une posture de représentant de maître d'ouvrage. Il veille à satisfaire les besoins du client afin de faire avancer la conception architecturale dans le bon sens tout en se mettant au service de l'équipe.

Pour une majorité des étudiants ayant participé aux expérimentations, le mélange de ces trois premières pratiques agiles (le BIM-agile coach n'étant pas explicitement présenté aux étudiants comme faisant partie des expérimentations) permet d'améliorer la communication et la coordination en conception architecturale collaborative tout en proposant un rythme facilité de livrables à destination du maître d'ouvrage. Nous avons vérifié que ces pratiques s'inscrivent réellement dans une démarche d'enclenchement des activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation.

L'amélioration de la communication et de la coordination dans un groupe de conception architecturale collaborative, par le biais de pratiques agiles qui favorisent l'élicitation, le raffinement et l'évaluation des intentions et des tâches de conception BIM, nous permet d'affirmer qu'une meilleure appropriation de la technologie BIM est alors effective.

Conclusion

Le travail de recherche présenté dans cette thèse de doctorat s'attache aux problématiques de l'appropriation de la technologie BIM dans un contexte de conception architecturale collaborative. Nous reviendrons dans un premier temps sur la méthode d'identification, de sélection puis d'évaluation des pratiques agiles expérimentées. Puis, nous préciserons les apports et les limites de notre proposition. Enfin, nous dresserons les perspectives de ce travail qui pose les bases d'une conception architecturale BIM-agile.

Adapter les pratiques agiles à la conception architecturale BIM

La transition numérique actuellement observée dans le contexte de l'AEC français est de nature à créer un climat de méfiance de la part des architectes, et ce en particulier vis-à-vis de la technologie BIM. Divers facteurs tels que (1) les coûts matériels et humains des machines et des formations, (2) la peur de la perte de la vision globale de l'architecte à cause de la centralisation des informations dans un modèle numérique ou encore (3) le manque de communication et de coordination au sein de l'équipe de conception tendent à entretenir cette méfiance. Nous avons proposé dans ce travail de recherche à pallier ce troisième facteur en proposant des solutions d'assistance à la communication et à la coordination dans un groupe de conception collaborative.

Notre approche s'inscrit ainsi dans l'assistance à collaboration en phase de conception architecturale et soutient qu'une meilleure communication et

une meilleure coordination dans un groupe de conception permettent une meilleure appropriation de la technologie BIM et *in fine* de l'acte de concevoir.

Nous nous appuyons sur les méthodes agiles développées dans le domaine du génie logiciel au cours des années 2000 et qui se basent sur (1) le développement de l'intelligence collective, (2) la réalisation régulière de livrables, (3) l'intégration du client dans la conception et enfin (4) l'adaptation au changement, par le biais de pratiques favorisant la communication et la coordination entre les acteurs d'un projet.

L'objectif de favoriser la communication et la coordination est de permettre les activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluation des intentions architecturales et des tâches de conception BIM, que nous avons identifiées comme essentielles à la compréhension des tâches de conception BIM et des intentions architecturales des autres acteurs du projet.

La méthode que nous avons adoptée se focalise sur (1) l'identification de pratiques agiles candidates grâce à l'analyse des méthodes agiles reconnues, (2) la sélection selon des critères d'adaptabilité à la conception architecturale et de compatibilité avec un contexte d'expérimentation pédagogique, (3) l'expérimentation des pratiques adaptées et (4) leur évaluation.

Au cours de ce travail de recherche, nous avons sélectionné puis adapté quatre pratiques :

- la matrice de conception ;
- le micro poker ;
- le *stand-up meeting* ;
- le BIM-agile coach.

Les retours des étudiants ainsi que nos différentes observations au cours de ces expérimentations nous ont permis d'enrichir ces pratiques et de les faire évoluer au travers de différentes versions mieux adaptées à la conception architecturale BIM. Nous avons également produit un questionnaire à destination des étudiants dans le but d'obtenir des retours objectifs quant aux pratiques mises en place par les étudiants au travers des différentes expérimentations.

Les résultats de ce questionnaire soutiennent d'une part que les pratiques agiles expérimentées sont bénéfiques quant à l'amélioration de la communication et de la coordination dans un groupe de conception architecturale BIM et d'autre part que ces pratiques ne sont pas de nature à perturber la conception architecturale BIM, mais permettent au contraire d'assister le projet.

Ces pratiques font l'objet d'une « mise en catalogue » disponible sur le site internet du laboratoire MAP-CRAI et disponible à cette adresse :



Apports de l'approche

La proposition d'une méthode de sélection de pratiques adaptées à la conception architecturale, ainsi que les quatre pratiques en étant issues constituent un travail de recherche inscrit à la fois dans un contexte pédagogique et dans le contexte du laboratoire du MAP-CRAI.

L'apport de cette proposition nous permet de préciser les bénéfices des activités d'élicitation, de raffinement et d'évaluations des intentions architecturales et des tâches de conception en phase de conception collaborative. Ces activités soutiennent la communication et la coordination entre les acteurs d'un projet et favorisent l'appropriation de la technologie BIM. Notre recherche nous a permis de positionner les méthodes agiles et les pratiques adaptées comme supports à cette appropriation et de l'acte de concevoir en architecture et pose donc les bases d'une conception BIM-agile.

Cette recherche a également permis de développer la modélisation de la conception architecturale et des approches collaboratives telles qu'étudiées au sein de notre laboratoire.

Limites de l'approche

Au cours de notre recherche, nous avons en revanche dû faire face à plusieurs difficultés. Le contexte pédagogique sur lequel nous nous appuyons montre en effet plusieurs limites.

Tout d'abord, le projet pédagogique du Master 2 DNA nous empêche de procéder à des expérimentations avec groupe témoin. Il est nécessaire que tous les étudiants suivent la même formation, manipulent les mêmes outils et mettent en place les mêmes pratiques afin d'être évalués de la même manière.

Ensuite, le contexte pédagogique ne représente pas la réalité du terrain de la conception architecturale BIM en agence. Les hypothèses émises durant ce travail de recherche misent sur le parallèle établi entre monde pédagogique et professionnel par le fait que les tâches de conception BIM représentent des tâches de conception nouvelles à la fois pour les étudiants et à la fois pour les architectes. Une expérimentation dans un cadre professionnel nécessite donc un temps d'introduction, d'initiation et de formation à l'agilité pour ne pas subir les changements et les pratiques innovantes, mais y adhérer.

Perspectives de recherche

La problématique développée dans ce mémoire de thèse soulève plusieurs perspectives de recherche concernant la technologie BIM et son intégration dans les approches collaboratives.

Tout d'abord, la méthode d'identification, de sélection et d'évaluation des pratiques expérimentées pourrait être améliorée afin d'intégrer un panel plus large de contextes pédagogiques et même des phases d'expérimentation dans lesquelles nous pourrions avoir un ou des groupes témoins afin d'évaluer l'apport des pratiques agiles de manière quantitative. Nous pourrions ainsi expérimenter plus de pratiques, notamment les pratiques non sélectionnées.

Par ailleurs, comme expliqué dans les limites de l'approche, nous pourrions adapter la méthode au monde professionnel afin d'expérimenter les pratiques agiles dans un contexte d'agence d'architecture. Les pratiques

présentées dans ce travail de recherche s'inscrivent dans un contexte pédagogique particulier et posent la question de leur simple transfert dans un contexte d'agence ou de la nécessité de les adapter. Leur adaptation serait-elle globale au contexte de l'AEC, ou alors spécifique à chaque agence ou type d'agence ? La question du choix des pratiques à utiliser en conception architecturale se pose également. Selon le contexte du projet (construction neuve, rénovation, réhabilitation, etc. ou encore projet privé ou projet par concours), serait-il préférable de choisir telle ou telle pratique ? La communication du catalogue aux professionnels peut dans un premier temps les aider à s'approprier les pratiques agiles.

Enfin, une dernière perspective soulève la question de la création d'une méthode agile propre à l'architecture. À la manière de la méthode *Scrum*, RAD, ou XP, nous pourrions imaginer une méthode BIM-agile qui s'appuierait non seulement sur des pratiques BIM-agiles mais également sur un flux de travail adapté à la conception architecturale collaborative. Cette méthode reposerait sur des pratiques BIM-agiles qui auraient fait leurs preuves lors d'expérimentations pédagogiques et professionnelles et décrites sous la forme d'un livre blanc de la conception architecturale BIM-agile.

Ces quelques perspectives de recherche devraient permettre d'enrichir la méthode d'identification, de sélection et d'évaluation des pratiques agiles dédiées à la conception architecturale BIM tout en vérifiant l'apport de ces pratiques agiles en vue d'une meilleure appropriation de la technologie BIM par les acteurs de la collaboration. Elles constituent également des opportunités de recherche à court et à long terme à travers la mise en place d'un projet de recherche, d'un post-doctorat ou bien encore d'un sujet de thèse complémentaire.

Bibliographie

- ADAMU, Zulfikar A., EMMITT, Stephen et SOETANTO, Robby, 2015. Social BIM: Co-creation with shared situational awareness. In : *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 27 février 2015. Vol. 20, n° 16, p. 230-252.
- 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 Building. Bath, Royaume-Uni : s.n. 7 juillet 1986.
- ANDERSON, David J. et REINERTSEN, Donald G., 2010. *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. 3.8.2010 edition. Sequim, Washington : Blue Hole Press. ISBN 978-0-9845214-0-1.
- AUTODESK, 2002. *Building Information Modeling*. 2002. S.l. : s.n.
- AXELROD, Robert, 1997. *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton, N.J : Princeton University Press. ISBN 978-0-691-01567-5.
- AXELROD, Robert et HAMILTON, William D., 1981. The evolution of cooperation. In : *Science*. 27 mars 1981. Vol. 211, n° 4489, p. 1390-1396. DOI 10.1126/science.7466396.
- AZHAR SALMAN, 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. In : *Leadership and Management in Engineering*. 1 juillet 2011. Vol. 11, n° 3, p. 241-252. DOI 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
- BAJJOU, Mohamed Saad, CHAFI, Anas et EN-NADI, Abdelali, 2017. A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System. In : *International Journal of Engineering Research in Africa*. mars 2017. Vol. 29, p. 118-132. DOI 10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118.
- BALLARD, Herman Glenn, 2000. *The last planner system of production control*. d_ph. Disponible à l'adresse : <https://theses.bham.ac.uk/id/eprint/4789/>.

- BALLAY, J.-F., 1997. *Capitaliser et transmettre le savoir-faire de l'entreprise*. Paris : Eyrolles. ISBN 978-2-212-01653-6.
- BECERIK-GERBER, Burcin et KENSEK, Karen, 2010. *Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends*. S.l. : s.n.
- BECK, Kent, 2004. *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. 2. Boston, MA : Addison Wesley. ISBN 978-0-321-27865-4.
- BECK, Kent, SCHWABER, Ken et SUTHERLAND, Jeff, 2001. Manifesto for Agile Software Development. 2001. [Consulté le 7 novembre 2017]. Disponible à l'adresse : <http://agilemanifesto.org/>.
- BEEDLE, Mike, DEVOS, Martine, SHARON, Yonat, SCHWABER, Ken et SUTHERLAND, Jeff, 1999. SCRUM: An extension pattern language for hyperproductive software development. In : *Pattern languages of program design*. 1999. Vol. 4, p. 637-651.
- BEERS, Pieter J., BOSHUIZEN, Henny P. A., KIRSCHNER, Paul A. et GIJSELAERS, Wim H., 2006. Common Ground, Complex Problems and Decision Making. In : *Group Decision and Negotiation*. 1 novembre 2006. Vol. 15, n° 6, p. 529-556. DOI 10.1007/s10726-006-9030-1.
- BIN ZAKARIA, Z., MOHAMED ALI, N., TARMIZI HARON, A., MARSHALL-PONTING, A. J. et ABD HAMID, Z., 2013. Exploring the adoption of Building Information Modelling (BIM) in the Malaysian construction industry: A qualitative approach. In : *International Journal of Research in Engineering and Technology*. août 2013. Vol. 2, p. 384-395.
- BIRRELL, N. D. et OULD, M. A., 1988. *A Practical Handbook for Software Development*. Cambridge England; New York : Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-34792-1.
- BLACK, Rex, 2011. *Managing the Testing Process: Practical Tools and Techniques for Managing Hardware and Software Testing*. S.l. : John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-07401-5.
- BLANCHETON, Bertrand, 2012. *Maxi fiches de Sciences économiques*. 2e. S.l. : Dunod.
- BONNARDEL, Nathalie et RECH, M, 1998. Les sources d'inspiration en conception. In : *Sciences et techniques de la Conception*. S.l. : s.n. 1998. p. 37-53.
- BORILLO, Mario et GOULETTE, Jean-Pierre, 2004. Cognition et création: Exploration cognitive des processus de conception. In : *Questions de communication*. Mardaga. 1 juillet 2004. [Consulté le 14 février 2019]. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/questionsdecommunication/7123>.

- 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*. Luxembourg : s.n. juin 2014. p. 45, 46.
- BOUATTOUR, Mohammed, 2005. *Assistance à la conception coopérative fondée sur la sémantique des ouvrages. Application au domaine du bois*.
- BOUCLAGHEM, D., SHANG, H., WHYTE, J. et GANAH, A., 2005. Visualisation in Architecture, Engineering and Construction. In : *Automation in Construction*. 2005. DOI 10.1016/j.autcon.2004.08.012. Disponible à l'adresse : <https://eprint.ncl.ac.uk/21074>.
- BOURQUE, P et FAIRLEY, R.E., 2014. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, Version 3.0*. IEEE Computer Society. S.l. : s.n.
- BUSBY, J. S, 2001. Error and distributed cognition in design. In : *Design Studies*. 1 mai 2001. Vol. 22, n° 3, p. 233-254. DOI 10.1016/S0142-694X(00)00028-4.
- CARROLL, John, NEALE, Dennis C., ISENHOUR, Philip L., ROSSON, Mary Beth et MCCRICKARD, D. Scott, 2003. Notification and awareness: Synchronizing task-oriented collaborative activity. In : *International Journal of Human Computer Studies*. 1 janvier 2003. Vol. 58, n° 5, p. 605-632. DOI 10.1016/S1071-5819(03)00024-7.
- CEROVSEK, Tomo, 2011. A review and outlook for a 'Building Information Model' (BIM): A multi-standpoint framework for technological development. In : *Advanced Engineering Informatics*. 1 avril 2011. Vol. 25, n° 2, p. 224-244. DOI 10.1016/j.aei.2010.06.003.
- CHEANEAU, Isabelle, 2018. *Profession architecte : identité - responsabilité - contrats - règles – agence – économie – chantiers*. S.l.
- CHEN, LiJuan et LUO, Hanbin, 2014. A BIM-based construction quality management model and its applications. In : *Automation in Construction*. 1 octobre 2014. Vol. 46, p. 64-73. DOI 10.1016/j.autcon.2014.05.009.
- CHILDS, Mark, SOETANTO, Robby, AUSTIN, Stephen, GLASS, Jacqueline, ADAMU, Zulfikar A., ISADINSO, Chinwe, POH, Paul, KNYAZEV, Dmitri, TOLLEY, Harry et MACKENZIE, Helen, 2014. *Virtual collaboration in the built environment*. S.l. : © European Distance and E-learning Network (EDEN) and the Authors. [Consulté le 15 février 2019]. ISBN 978-963-89559-5-1. Disponible à l'adresse : <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/16524>.
- CHOI, B. K., BARASH, M. M. et ANDERSON, D. C., 1984. Automatic recognition of machined surfaces from a 3D solid model. In : *Computer-Aided Design*. 1 mars 1984. Vol. 16, n° 2, p. 81-86. DOI 10.1016/0010-4485(84)90164-7.

- CLOT, Yves, 2007. De l'analyse des pratiques au développement des métiers.
In : *Éducation et didactique*. 1 avril 2007. Vol. 1, n° vol 1-n°1, p. 83-93.
DOI 10.4000/educationdidactique.106.
- CNOA, 2018. *Archigraphie 2018*. S.l.
- CNRTL, [sans date]. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales.
[Consulté le 31 janvier 2019]. Disponible à l'adresse :
<http://www.cnrtl.fr/>.
- COHN, Mike, 2005. *Agile Estimating and Planning*. 1 édition. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall. ISBN 978-0-13-147941-8.
- COLLIER, Ken W., 2011. *Agile Analytics: A Value-Driven Approach to Business Intelligence and Data Warehousing*. 1 édition. Upper Saddle River, NJ : Addison-Wesley Professional. ISBN 978-0-321-50481-4.
- CONAN, Michel, 2000. *Concevoir un projet d'architecture: Convention CSTB/Plan construction nb0s 87 61 434*. Paris : Editions L'Harmattan. ISBN 978-2-7384-0795-5.
- CORIAT, Benjamin, 1994. *L'atelier et le Chronomètre*. Paris : Christian Bourgeois.
- CORNICK, Tim, 1991. *Quality management for building design*. S.l. : Butterworth Architecture. ISBN 978-0-7506-1225-8.
- CROTTY, Ray, 2012. *The impact of building information modelling: transforming construction*. London, Royaume-Uni : s.n. ISBN 978-0-415-60167-2.
- DAMODARAN, Leela et SHELBURN, Mark, 2006. Collaborative Working—The Elusive Vision. In : *Architectural Engineering and Design Management*. 1 janvier 2006. Vol. 2, n° 4, p. 227-243.
DOI 10.1080/17452007.2006.9684619.
- DARSES, Françoise, 2004. Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception: contribution de la psychologie ergonomique. In : *Université de Paris V*. 2004.
- DARSES, Françoise, 2009. Résolution collective des problèmes de conception. In : *Le travail humain*. 12 mars 2009. Vol. Vol. 72, n° 1, p. 43-59.
- DARSES, Françoise, DÉTIENNE, Françoise et VISSER, Willemien, 2001. Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. In : *Actes des journées d'étude en psychologie ergonomique*, ÉPIQUE 2001. S.l. : s.n. 2001. p. 11-20.
- DARSES, Françoise et FALZON, Pierre, 1996. La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In : DE TERSSAC, G et FRIEDBERG, E (éd.). In : *Coopération et Conception*. Toulouse : s.n. 1996. p. 12.

- DEFORGE, Yves, 1981. *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*. Mâcon : Éditions du Champ Vallon.
[Consulté le 15 février 2019]. Millieux. Disponible à l'adresse :
<http://www.champ-vallon.com/yves-deforge-le-graphisme-technique/>.
- DELCAMBRE, Bertrand, 2014. *Mission Numérique Bâtiment*. S.l.
- DEMIAN, Peter et WALTERS, David, 2014. The advantages of information management through building information modelling. In : *Construction Management and Economics*. 2 décembre 2014. Vol. 32, n° 12, p. 1153-1165. DOI 10.1080/01446193.2013.777754.
- DENZER, A. S. et HEDGES, K. E., 2008. From CAD to BIM: Educational Strategies for the Coming Paradigm Shift. In : *AEI 2008, Architectural Engineering Conference (AEI) 2008*. Denver, Colorado, United States : American Society of Civil Engineers. 18 septembre 2008. p. 1-11. DOI 10.1061/41002(328)6.
- DÉTIENNE, Françoise, 2006. Collaborative design: Managing task interdependencies and multiple perspectives. In : *Interacting with Computers*. janvier 2006. Vol. 18, n° 1, p. 1-20. DOI 10.1016/j.intcom.2005.05.001.
- DÉTIENNE, Françoise, BOUJUT, Jean-François et HOHMANN, Betty, 2004. Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation. In : *COOP'2004*. S.l. : IOS Press. 11 mai 2004. p. 83-98.
- DÉTIENNE, Françoise et VISSER, Willemien, 2006. Multimodality and parallelism in design interaction: co-designers' alignment and coalitions. In : HASSALANY, T, KUNAU, G et ZACKLAD, M (éd.). In : *Cooperative systems design*. S.l. : IOS Press. 2006. p. 118-131.
- DÉTIENNE, Françoise, VISSER, Willemien et TABARY, Raphaël, 2006. Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. In : *Psychologie de l'interaction*. 2006. n° 21-22, p. 283-307.
- DUPIN, Patrick, 2014. *Le LEAN appliqué à la construction: Comment optimiser la gestion de projet et réduire coûts et délais dans le bâtiment*. 1re. Paris : Eyrolles. ISBN 978-2-212-13832-0.
- EASTMAN, Chuck, TEICHOLZ, Paul, SACKS, Rafael et LISTON, Kathleen, 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. S.l. : John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-02169-9.
- ELLIS, Clarence et WAINER, Jacques, 1994. A Conceptual Model of Groupware. In : *Proceedings of the 1994 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*. New York, NY, USA : ACM. 1994. p. 79-88. DOI 10.1145/192844.192878.

- ENGESTRÖM, Y, 1987. Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research. In : . Helsinki, Finland : Orienta-Kosultit Oy. 1987.
- EPRON, Jean-Pierre, 1981. *L'architecture et la règle: essai d'une théorie des doctrines architecturales*. S.l. : Editions Mardaga. ISBN 978-2-87009-140-1.
- ERDOGAN, Bilge, ANUMBA, Chimay J., BOUCLAGHEM, Dino et NIELSEN, Yasemin, 2008. Collaboration Environments for Construction: Implementation Case Studies. In : *Journal of Management in Engineering*. octobre 2008. Vol. 24, n° 4, p. 234-244. DOI 10.1061/(ASCE)0742-597X(2008)24:4(234).
- FALZON, Pierre, 1994. Dialogues fonctionnels et activité collective. In : *Le travail humain*. 1994. p. 299-312.
- FALZON, Pierre et VISSER, Willemien, 1989. Variations in expertise: Implications for the design of assistance systems. In : SALVENDY, G. et SMITH, M. J. (éd.). In : *HCI89 - Third International Conference on Human-Computer Interaction*. Boston, United States : Cambridge University Press. septembre 1989. p. 121-128.
- FORBES, Lincoln H. et AHMED, Syed M., 2010. *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*. 1 edition. Boca Raton, FL : CRC Press. ISBN 978-1-4200-6312-7.
- FORD, Henry et CROWTHER, Samuel, 1926. *Ma vie et mon œuvre*. Paris : Payot.
- GALLAS, Mohamed-Anis et HALIN, Gilles, 2016. Une approche pédagogique par les modèles pour la sensibilisation au concept de BIM (Maquette Numérique). In : Séminaire de Conception Architecturale Numérique (SCAN'16). Toulouse : s.n. 7 septembre 2016.
- GAPP, Rod, FISHER, Ron et KOBAYASHI, Kaoru, 2008. Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. In : *Management Decision*. 2 mai 2008. Vol. 46, n° 4, p. 565-579. DOI 10.1108/00251740810865067.
- GLESS, Henri-Jean, 2014. *Création d'un serious game en vue d'une introduction aux pratiques collaboratives : favoriser l'émergence des comportements positifs de groupe*.
- GLESS, Henri-Jean, HALIN, Gilles et HANSER, Damien, 2018. Need of a BIM-agile Coach to Oversee Architectural Design: From one pedagogical experiment to another. In : *Computer For A Better Tomorrow*, 36th eCAADe conference. Lodz, Poland : s.n. septembre 2018. p. 445-450.

- GLESS, Henri-Jean, HALIN, Gilles et HANSER, Damien, 2019. Towards a BIM-Agile Method in Architectural Design: Assessment of a Pedagogical Experiment. In : *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, CIB W78 2018. Chicago, Illinois, USA : Springer, Cham. 2019. p. 397-404. DOI 10.1007/978-3-030-00220-6_47.
- GLESS, Henri-Jean, HANSER, Damien et HALIN, Gilles, 2017. BIM-Agile Practices Experiments in Architectural Design. In : *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, 14th International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering. Mallorca, Spain : Springer, Cham. 17 septembre 2017. p. 135-142. DOI 10.1007/978-3-319-66805-5_17.
- GLESS, Henri-Jean, HANSER, Damien et HALIN, Gilles, 2018. Pratique BIM-agile d'élicitation et de raffinement des intentions architecturales : le Micro Poker. In : *SHS Web of Conferences*. 2018. Vol. 47, p. 01008. DOI 10.1051/shsconf/20184701008.
- GODIN, Christian, 1949. *Dictionnaire de philosophie*. Paris : Fayard. ISBN 978-2-213-62116-6.
- GOLDSCHMIDT, Gabriela, 2014. Modeling the Role of Sketching in Design Idea Generation. In : CHAKRABARTI, Amaresh et BLESSING, Lucienne T. M. (éd.). In : *An Anthology of Theories and Models of Design: Philosophy, Approaches and Empirical Explorations*. London : Springer London. p. 433-450. [Consulté le 14 février 2019]. ISBN 978-1-4471-6338-1. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6338-1_21.
- GOODY, Jack, 1995. *The domestication of the savage mind*. Reprint. Cambridge : Cambridge Univ. Press. Themes in the social sciences. ISBN 978-0-521-29242-9.
- GREER, D et RUHE, G, 2004. Software release planning: an evolutionary and iterative approach. In : *Information and Software Technology*. 15 mars 2004. Vol. 46, n° 4, p. 243-253. DOI 10.1016/j.infsof.2003.07.002.
- GREGORI, N, BLANCO, E, BRASSAC, C et GARRO, O, 1997. Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires. In : *Les objets en conception*, 01Design'97. S.l. : s.n. 1997. p. 135-154.
- GRENNING, James, 2002. *Planning Poker or How to avoir analysis paralysis while release planning*. 2002. S.l. : s.n. [Consulté le 3 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : <https://wingman-sw.com/articles/planning-poker>.
- GUERRIERO, Annie, 2009. *La représentation de la confiance dans l'activité collective. Application à la coordination de l'activité de chantier de construction*.

- HAJIAN, Hamid et BECERIK-GERBER, Burcin, 2010. Scan to BIM: Factors Affecting Operational and Computational Errors and Productivity Loss. In : 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Batislava, Slovakia : s.n. 20 juin 2010. DOI 10.22260/ISARC2010/0028.
- HALIN, Gilles, 2004. *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale*. thesis. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00101454/document>.
- HAMED, A. M. M. et ABUSHAMA, H., 2013. Popular agile approaches in software development: Review and analysis. In : 2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (ICCEEE), 2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (ICCEEE). S.l. : s.n. août 2013. p. 160-166. DOI 10.1109/ICCEEE.2013.6633925.
- HANSER, Damien, 2003. *Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment*. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2003INPL082N>.
- HATCHUEL, Armand et WEIL, Benoit, 2008. C-K design theory: an advanced formulation. In : *Research in Engineering Design*. 19 août 2008. Vol. 19, n° 4, p. 181. DOI 10.1007/s00163-008-0043-4.
- HATCHUEL, Armand, WEIL, Benoit et MASSON, Pascal Le, 2014. *Théorie, méthodes et organisations de la conception*. 1. S.l. : Presses des Mines Transvalor. ISBN 978-2-35671-140-3.
- HAUGEN, N. C., 2006. An empirical study of using planning poker for user story estimation. In : *AGILE 2006 (AGILE'06)*, AGILE 2006 (AGILE'06). S.l. : s.n. juillet 2006. p. 9 pp. - 34. DOI 10.1109/AGILE.2006.16.
- HENRI, France et LUNDRGREN-CAYROL, Karin, 2005. *Apprentissage collaboratif à distance. Pour comprendre et concevoir les environnements d'apprentissage virtuels*. Sainte-Foy, Québec, Canada : Presses de l'Université du Québec. ISBN 978-2-7605-1094-4.
- HERZBERG, Frederick, MAUSNER, Bernard et SNYDERMAN, Barbara Bloch, 1959. *The Motivation to Work*. S.l. : UMI Research Press. ISBN 978-0-317-28036-4.
- HEYLIGHEN, Ann et MARTIN, Genevieve, 2004. That Elusive Concept of Concept in Architecture. In : GERO, John S. (éd.). In : *Design Computing and Cognition '04*. S.l. : Springer Netherlands. 2004. p. 57-76.
- HOSSEN, Muhammed Mufazzal, KANG, Sunkoo et KIM, Jonghyun, 2015. Construction schedule delay risk assessment by using combined AHP-RII methodology for an international NPP project. In : *Nuclear Engineering and Technology*. 1 avril 2015. Vol. 47, n° 3, p. 362-379. DOI 10.1016/j.net.2014.12.019.

- IGNACE, Marie-Pia, IGNACE, Christian, MEDINA, Régis et CONTAL, Antoine, 2012. *La pratique du lean management dans l'IT: Agilité et amélioration continue*. S.l. : Pearson Education France. ISBN 978-2-7440-6544-6.
- JAAFAR, Mastura et AZIZ, Abdul Rashid Abdul, 2014. *New Management Approaches in Construction (Penerbit USM)*. S.l. : Penerbit USM. ISBN 978-983-861-712-3.
- JACQUIER, Bertrand, 2013. *Du lean au management maigre*. première édition. Paris : Lulu. ISBN 978-1-291-61339-1.
- JEANTET, Alain, TIGER, Henri, VINCK, Dominique et TICHKIEWITCH, Serge, 1996. La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit. In : . 1996. p. 87-100.
- JERNIGAN, Finith E., 2008. *BIG BIM little bim – Second Edition*. 2. Salisbury, MD : 4Site Press. ISBN 978-0-9795699-2-0.
- KASSEM, M. (Mohamad), SUCCAR, B. (Bilal) et DAWOOD, N. (Nashwan), 2013. *A Proposed Approach To Comparing the BIM Maturity of Countries*. S.l. : s.n. [Consulté le 15 février 2019]. ISBN 978-7-302-33994-6. Disponible à l'adresse : <https://tees.openrepository.com/tees/handle/10149/323596>.
- KENSEK, Karen, 2014. *Building Information Modeling*. S.l. : s.n. ISBN 978-0-415-71774-8.
- KENSEK, Karen, 2015. *Manuel BIM: théorie et applications*. Paris : Eyrolles. ISBN 978-2-212-14180-1.
- KNIBERG, Henrik, 2015. *Scrum and Xp from the Trenches 2nd Edition*. 2. S.l. : Lulu.com. ISBN 978-1-329-22427-8.
- KOSKELA, Juha et ABRAHAMSSON, Pekka, 2004. On-Site Customer in an XP Project: Empirical Results from a Case Study. In : DINGSØYR, Torgeir (éd.). In : *Software Process Improvement*. S.l. : Springer Berlin Heidelberg. 2004. p. 1-11.
- KOSKELA, Lauri, 2000. *An exploration towards a production theory and its application to construction*.
- KRAFICK, John, 1988. Triumph of the Lean Production System. In : Sloan Management Review. S.l. : s.n. 1988.
- KRYGIEL, Eddy et NIES, Brad, 2008. *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*. Indianapolis, Ind : Wiley Pub. Sybex serious skills. ISBN 978-0-470-23960-5. TH880 .K79 2008
- KUBICKI, Sylvain, 2006. *Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments : Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération*. Disponible à l'adresse : <http://www.theses.fr/2006NAN10137>.

- KUBICKI, Sylvain, GUERRIERO, Annie, LECLERCQ, Pierre et BIGNON, Jean-Claude, 2009. Cooperative design studios in education Lessons learnt from two experiments. In : *Proceedings of 13th Congress of Iberoamerican Society of Digital Graphics, From Modern to Digital: the Challenges of a Transition*. S.l. : s.n. 2009.
- KUMAR, S. Suresh et MCARTHUR, J. J., 2015. Streamlining Building Information Model creation using Agile project management. In : BIM 2015. Bristol, UK : s.n. 9 septembre 2015. p. 229-240. DOI 10.2495/BIM150201.
- KUUTI, K, 1996. Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research. In : NARDI, B (éd.). In : *Context and consciousness: activity theory and human-computer interaction*. Cambridge, MA, USA : MIT Press. 1996. p. 17-44.
- KVAN, Thomas, 2000. Collaborative design: what is it? In : *Automation in Construction*. 1 juillet 2000. Vol. 9, n° 4, p. 409-415. DOI 10.1016/S0926-5805(99)00025-4.
- LASEAU, Paul, 2000. *Graphic Thinking for Architects and Designers*. 3rd Edition. New York : John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-35292-1.
- LEBÈGUE, Eric et VERVANDIER, Benoît, 2015. Définitions : MN, BIM, open BIM. In : CELNIK, Olivier et LEBÈGUE, Eric (éd.). In : *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. S.l. : Editions Eyrolles. Collection Blanche BTP. p. 43-45. ISBN 978-2-212-14274-7.
- LECLERCQ, Pierre et HEYLIGHEN, Ann, 2002. 5. 8 Analogies per Hour: A designer's view on analogical reasoning. In : GERO, John S. (éd.). In : *Artificial Intelligence in Design '02*. Dordrecht : Springer Netherlands. p. 285-303. [Consulté le 14 février 2019]. ISBN 978-94-017-0795-4. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-94-017-0795-4_14.
- LEONTIV, A. N., 1978. *Activity, Consciousness, and Personality*. S.l. : Prentice-Hall Englewood Cliffs, Nj.
- LIDDELL, H. G., SCOTT, R., JONES, Sir Henry Stuart, MCKENZIE, Roderick et GLARE, P. G. W., 1996. *A Greek-English Lexicon*. Ninth Edition with Revised Supplement. Oxford, New York : Oxford University Press. ISBN 978-0-19-864226-8.
- LIKER, Jeffrey K, 2005. *The Toyota Way*. S.l. : ESENSI. ISBN 978-979-781-377-2.
- LINDEROTH, Henrik C.J., 2010. Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks. In : *Automation in Construction*. janvier 2010. Vol. 19, n° 1, p. 66-72. DOI 10.1016/j.autcon.2009.09.003.

- LINDVALL, Mikael, BASILI, Vic, BOEHM, Barry, COSTA, Patricia, DANGLE, Kathleen, SHULL, Forrest, TESORIERO, Roseanne, WILLIAMS, Laurie et ZELKOWITZ, Marvin, 2002. Empirical Findings in Agile Methods. In : WELLS, Don et WILLIAMS, Laurie (éd.). In : *Extreme Programming and Agile Methods – XP/Agile Universe 2002*. S.l. : Springer Berlin Heidelberg. 2002. p. 197-207.
- LOUART, Pierre, 2002. Maslow, Herzberg et les théories du contenu motivationnel. In : *Les cahiers de la recherche*. S.l. : s.n. 2002. p. 1-18.
- LUCIANI, Stephano Cinti, GARAGNANI, Simone et MINGUCCI, Roberto, 2012. BIM tools and design intent. Limitations and opportunities. In : KENSEK, Karen et PENG, Jinhua (éd.). In : *Management, Implementation, Coordination and Evaluation*, Pratical BIM 2012. Los Angeles, USA : s.n. 2012. p. 19-20.
- MAHER, Mary Lou, PAULINI, Mercedes et MURTY, Paul, 2011. Scaling Up: From Individual Design to Collaborative Design to Collective Design. In : GERO, John S. (éd.). In : *Design Computing and Cognition '10*. S.l. : Springer Netherlands. 2011. p. 581-599.
- MALONE, Thomas et CROWSTON, Kevin, 1994. The Interdisciplinary Study of Coordination. In : *ACM Computing Surveys*. S.l. : s.n. mars 1994.
- MAO, Weihua, ZHU, Yimin et AHMAD, Irtishad, 2007. Applying metadata models to unstructured content of construction documents: A view-based approach. In : *Automation in Construction*. mars 2007. Vol. 16, n° 2, p. 242-252. DOI 10.1016/j.autcon.2006.05.005.
- MARTIN, Géraldine, DÉTIENNE, Françoise et LAVIGNE, Elisabeth, 2001. Analysing viewpoints in design through the argumentation process. In : INTERACT 2001. S.l. : IOS Press. juillet 2001. p. 521-529.
- MARTIN, James, 1991. *Rapid Application Development*. New York : Toronto : New York : Macmillan Coll Div. ISBN 978-0-02-376775-3.
- MASLOW, Abraham H, 1954. *Motivation and personality*. New York : Harper.
- MASSON, Pascal Le et MCMAHON, Chris, 2016. Armand Hatchuel et Benoit Weil La théorie C-K, un fondement formel aux théories de l'innovation. In : . 2016. p. 588-613.
- MCGREGOR, Douglas, 2006. *The Human Side of Enterprise, Annotated Edition*. Annotated edition. New York : McGraw-Hill Professional. ISBN 978-0-07-146222-8.
- MOTAWA, Ibrahim et CARTER, Kate, 2013. Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. In : *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 29 mars 2013. Vol. 74, p. 419-428. DOI 10.1016/j.sbspro.2013.03.015.
- NEWELL, Allen et SIMON, Herbert A., 1972. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J : Prentice-Hall. ISBN 978-0-13-445403-0.

- NEWSOME, Sandra L. et SPILLERS, William R., 1989. Tools for Expert Designers: Supporting Conceptual Design. In : NEWSOME, Sandra L., SPILLERS, W. R. et FINGER, Susan (éd.). In : *Design Theory '88*. S.l. : Springer New York. 1989. p. 49-55.
- NOFERA, Wenda et KORZMAN, Sinem, 2010. Design Process Integration for Sustainable, High Performance Buildings. In : TAYLOR, John E et CHINOWSKY, Paul (éd.). In : *Working Paper Proceedings, Engineering Project Organizations Conference*. South Lake Tahoe, CA : s.n. novembre 2010.
- OH, Yeonjoo, YI-LUEN DO, Ellen et GROSS, Mark D, 2004. Intelligent critiquing of design sketches. In : RANDALL DAVIS, J. L., STAHOVICH, T., MILLER, R. et SAUND, E. (éd.). In : *Making Pen-Based Interaction Intelligent and Natural*. Arlington, Virginia, USA : AAAI Press. 2004.
- 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. In : *Journal of Building Engineering*. 1 novembre 2018. Vol. 20, p. 60-71. DOI 10.1016/j.jobbe.2018.06.017.
- ŌNO, Taiichi, 1988. *Toyota production system: beyond large-scale production*. Cambridge, Mass : Productivity Press. ISBN 978-0-915299-14-0. TS157 .O5713 1988
- OTTER, Ad Den et EMMITT, Stephen, 2008. Design team communication and design task complexity: the preference for dialogues. In : *Architectural Engineering and Design Management*. 1 décembre 2008. Vol. 4, n° 2, p. 121-129. DOI 10.3763/aedm.2008.0072.
- PAASIVAARA, M., DURASIEWICZ, S. et LASSENIUS, C., 2009. Using Scrum in Distributed Agile Development: A Multiple Case Study. In : *2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering, 2009 Fourth IEEE International Conference on Global Software Engineering*. S.l. : s.n. juillet 2009. p. 195-204. DOI 10.1109/ICGSE.2009.27.
- PAHL, G. et BEITZ, W., 1988. *Engineering Design: A Systematic Approach*. London, Angleterre; New York : Springer-Verlag. ISBN 978-0-387-50442-1.
- PAHL, Gerhard, BADKE-SCHAUB, Petra et FRANKENBERGER, Eckart, 1999. Résumé of 12 years interdisciplinary empirical studies of engineering design in Germany. In : *Design Studies*. 1 septembre 1999. Vol. 20, n° 5, p. 481-494. DOI 10.1016/S0142-694X(99)00022-8.
- PANUWATWANICH, Kriengsak, WONG, Mei Liang, DOH, Jeung-Hwan, STEWART, Rodney et MCCARTHY, Timothy, 2013. Integrating building information modelling (BIM) into Engineering education: an exploratory study of industry perceptions using social network data. In : *Faculty of Engineering and Information Sciences - Papers: Part A*. 1 janvier 2013. p. 1-9.

- PARETO, Vilfredo, 1967. *Écrits sur la courbe de la répartition de la richesse*. S.l. : Librairie Droz. [Consulté le 30 janvier 2019]. ISBN 978-2-600-04021-1. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/ecrits-sur-la-courbe-de-la-repartition-de-la-riche--9782600040211.htm>.
- PAZLAR, Tomaž et TURK, Žiga, 2008. Interoperability in practice: geometric data exchange using the IFC standard. In : *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 30 juin 2008. Vol. 13, n° 24, p. 362-380.
- PIQUET, Alexandre, 2009. *Guide pratique du travail collaboratif : Théories, méthodes et outils au service de la collaboration*. 2009. S.l. : s.n.
- PROMMIER, Emmanuelle, 2018. *To BIM or not (to) BIM*. septembre 2018. S.l. : s.n.
- PROULX, Serge, 2005. Penser les usages des TIC aujourd'hui : enjeux, modèles, tendances. In : VIEIRA, Lise et PINÈDE, Nathalie (éd.). In : *Enjeux et usages des TIC : aspects sociaux et culturels*. Bordeaux : Presses universitaires de Bordeaux. 2005. p. 7-20.
- RACCOON, L, 1997. Fifty Years of Progress in Software Engineering. In : *SIGSOFT Software Engineering Notes*. S.l. : s.n. 1997. p. 88-104.
- RAYL, A. J. S., 2018. NASA Engineers and Scientists-Transforming Dreams Into Reality. 2018. [Consulté le 10 décembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.nasa.gov/50th/50th_magazine/scientists.html.
- REBOUL, Olivier, 2010. *Qu'est-ce qu'apprendre ?* Paris : Presses Universitaires de France - PUF. ISBN 978-2-13-058306-6.
- REKOLA, Mirkka, KOJIMA, Jun et MÄKELÄINEN, Tarja, 2010. Towards Integrated Design and Delivery Solutions: Pinpointed Challenges of Process Change. In : *Architectural Engineering and Design Management*. 1 janvier 2010. Vol. 6, n° 4, p. 264-278. DOI 10.3763/aedm.2010.IDDS4.
- ROSCELLE, Jeremy et TEASLEY, Stephanie D., 1995. The Construction of Shared Knowledge in Collaborative Problem Solving. In : O'MALLEY, Claire (éd.). In : *Computer Supported Collaborative Learning*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. p. 69-97. [Consulté le 15 février 2019]. ISBN 978-3-642-85100-1. Disponible à l'adresse : http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-3-642-85098-1_5.
- ROYCE, W. W., 1987. Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques. In : *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society Press. 1987. p. 328–338.
- RUFFLE, S, 1986. Architectural Design Exposed: From Computer-Aided Drawing to Computer-Aided Design. In : *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1 décembre 1986. Vol. 13, n° 4, p. 385-389. DOI 10.1068/b130385.

- RUIKAR, K., ANUMBA, C.j. et CARRILLO, P.m., 2005. End-user perspectives on use of project extranets in construction organisations. In : *Engineering, Construction and Architectural Management*. 1 juin 2005. Vol. 12, n° 3, p. 222-235. DOI 10.1108/09699980510600099.
- RUIKAR, K., ANUMBA, C.J. et CARRILLO, P.M., 2006. VERDICT—An e-readiness assessment application for construction companies. In : *Automation in Construction*. janvier 2006. Vol. 15, n° 1, p. 98-110. DOI 10.1016/j.autcon.2005.02.009.
- SACKEY, E, TUULI, M et DAINTY, A, 2015. Sociotechnical Systems Approach to BIM Implementation in a Multidisciplinary Construction Context. In : *Journal of Management in Engineering*. 1 janvier 2015. Vol. 31, n° 1, p. A4014005. DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000303.
- SACKS, Rafael, KOSKELA, Lauri, DAVE, Bhargav A. et OWEN, Robert, 2010. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. In : *Journal of Construction Engineering and Management*. 1 septembre 2010. Vol. 136, n° 9, p. 968-980. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.
- SAFIN, Stéphane, 2011. *Processus d'externalisation graphique dans les activités cognitives complexes : le cas de l'esquisse numérique en conception architecturale individuelle et collective*. Disponible à l'adresse : <https://orbi.uliege.be/handle/2268/110740>.
- SAKIKHALES, Mohammad et STRAVORAVDIS, Spyros, 2017. *Using Agile Project Management and BIM for Improved Building Performance*. S.l. : s.n. ISBN 978-3-319-50345-5.
- 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. In : *IHM'95*. Toulouse : s.n. octobre 1995. p. 27-34.
- SALEM, O., SOLOMON, J., GENAIDY, A. et MINKARAH, I., 2006. Lean Construction: From Theory to Implementation. In : *Journal of Management in Engineering*. octobre 2006. Vol. 22, n° 4, p. 168-175. DOI 10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168).
- SCHMIDT, K., 1994. Cooperative Work and its Articulation: Requirements for Computer Support. In : *Le Travail Humain*. 1994. Vol. 57, n° 4, p. 345-366. JSTOR
- SCHMIDT, Kjeld et WAGNER, Ina, 2004. Ordering Systems: Coordinative Practices and Artifacts in Architectural Design and Planning. In : *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*. 1 décembre 2004. Vol. 13, n° 5, p. 349-408. DOI 10.1007/s10606-004-5059-3.
- SCHON, Donald, 1984. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action*. 1 édition. New York : Basic Books. ISBN 978-0-465-06878-4.

- SCHON, Donald A. et DESANCTIS, Vincent, 1986. The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. In : *The Journal of Continuing Higher Education*. 1 juillet 1986. Vol. 34, n° 3, p. 29-30. DOI 10.1080/07377366.1986.10401080.
- SCHUH, Peter, 2004. *Integrating Agile Development In The Real World*. 1 edition. Hingham, Mass : Charles River Media. ISBN 978-1-58450-364-4.
- SCHWABER, Ken et BEEDLE, Mike, 2001. *Agile Software Development with Scrum*. 1 edition. Upper Saddle River, NJ : Pearson. ISBN 978-0-13-067634-4.
- SEBASTIAN, Rizal, 2007. *Managing Collaborative Design*. S.l. : Eburon Uitgeverij B.V. ISBN 978-90-5972-189-0.
- SHAH, Rachna et WARD, Peter T, 2003. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. In : *Journal of Operations Management*. 1 mars 2003. Vol. 21, n° 2, p. 129-149. DOI 10.1016/S0272-6963(02)00108-0.
- SILVERMAN, Rachel Emma, 2012. No More Angling for the Best Seat; More Meetings Are Stand-Up Jobs. In : *Wall Street Journal*. 2 février 2012. [Consulté le 3 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052970204652904577193460472598378>.
- SIMON, Herbert A., 2004. *Les Sciences de l'artificiel*. Éd. rev. et complétée. Paris : Folio. ISBN 978-2-07-030152-2.
- SOMMERVILLE, Ian, 2006. *Software Engineering: Update, 8th Edition*. 8 edition. Harlow, England ; New York : Addison Wesley. ISBN 978-0-321-31379-9.
- STEELE, John, 2000. *The interdisciplinary conceptual design of buildings*. Thesis. Disponible à l'adresse : <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/6867>.
- STEMPFLE, Joachim et BADKE-SCHAUB, Petra, 2002. Thinking in design teams - an analysis of team communication. In : *Design Studies*. 1 septembre 2002. Vol. 23, n° 5, p. 473-496. DOI 10.1016/S0142-694X(02)00004-2.
- STRAY, Viktoria, SJØBERG, Dag I. K. et DYBÅ, Tore, 2016. The daily stand-up meeting: A grounded theory study. In : *Journal of Systems and Software*. 1 avril 2016. Vol. 114, p. 101-124. DOI 10.1016/j.jss.2016.01.004.
- STROHMEIER, Alfred et BUCHS, Didier, 1999. *Génie Logiciel : Principes, méthodes et techniques*. 2. S.l. : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR).

- SUCCAR, Bilal, 2009. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. In : *Automation in Construction*. 1 mai 2009. Vol. 18, n° 3, p. 357-375. DOI 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- SUCCAR, Bilal et KASSEM, Mohamad, 2015. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. In : *Automation in Construction*. septembre 2015. Vol. 57, p. 64-79. DOI 10.1016/j.autcon.2015.04.018.
- SUCCAR, Bilal, SHER, Willy et WILLIAMS, Anthony, 2012. Measuring BIM performance: Five metrics. In : *Architectural Engineering and Design Management*. 1 mai 2012. Vol. 8, n° 2, p. 120-142. DOI 10.1080/17452007.2012.659506.
- SUH, Nam, 2001. *Axiomatic Design: Advances and Applications*. S.l. : s.n.
- SUTHERLAND, Ivan, 1963. *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*.
- SUTHERLAND, Jeff et SCHWABER, Ken, 2011. The scrum papers: nut, bolts, and origins of an Agile framework. In : *Scrum inc*. S.l. : s.n. 2011.
- SUZAKI, Kiyoshi, 1991. *Le nouveau défi industriel : les techniques et les hommes*. Paris : InterÉditions.
- TAKEUCHI, Hiroataka et NONAKA, Ikujiro, 1986. The New New Product Development Game. In : *Harvard Business Review*. 1 janvier 1986. n° January 1986. Disponible à l'adresse : <https://hbr.org/1986/01/the-new-new-product-development-game>.
- TAYLOR, Frederic Winslow, MAURY, Luc et DANTY-LAFRANCE, Louis, 1967. *La direction scientifique des entreprises*. S.l. : Dunod.
- TAYLOR, Frederick Winslow, 1911. *The Principles of Scientific Management*. S.l. : s.n.
- THE STANDISH GROUP, 1994. *The Standish Group Report*. S.l.
- THOMINE, Alice, 2000. L'informatique en architecture : utilisation et problèmes de conservation. In : *Gazette des archives*. 2000. Vol. 190, n° 1, p. 225-231. DOI 10.3406/gazar.2000.3647.
- TVERSKY, Amos et KAHNEMAN, Daniel, 1974. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. In : *Science*. 1974. Vol. 185, n° 4157, p. 1124-1131. JSTOR
- VAN NEDERVEEN, G. A. et TOLMAN, F. P., 1992. Modelling multiple views on buildings. In : *Automation in Construction*. 1 décembre 1992. Vol. 1, n° 3, p. 215-224. DOI 10.1016/0926-5805(92)90014-B.
- VATIN, François, 1985. Émile Belot et le principe de continuité. In : *Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, Sciences, histoire et société*. S.l. : s.n. 1985. p. 56-69.

- VISSER, Willemien, 2001. Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive. In : . S.l. : INRIA. 2001.
- WARCUP, Robert et REEVE, Edward, 2014. Using the Villego® Simulation to Teach the Last Planner® System. In : *Lean Construction Journal*. 2014.
- WATZLAWICK, Paul, BEAVIN, Janet Helmick et JACKSON, Don-D., 1979. *Une logique de la communication*. Paris : Seuil. ISBN 978-2-02-005220-7.
- WEINREICH, Ronny, NEUMANN, Norbert, RIEDEL, Ralph et MÜLLER, Egon, 2015. *Scrum as Method for Agile Project Management Outside of the Product Development Area*. S.l. : s.n.
- WERTSCH, James, 1991. *Voices of the Mind: A Sociocultural Approach to Mediated Action*. S.l. : Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf.
- WOMACK, James et JONES, Daniel, 1996. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. S.l. : s.n.
- WOMACK, James P., JONES, Daniel T. et ROOS, Daniel, 1990. *Machine that Changed the World*. S.l. : Simon and Schuster. ISBN 978-0-89256-350-0.
- YIP, Jason, 2016. *It's Not Just Standing Up: Patterns of Daily Stand-up Meetings*. S.l. : s.n.
- ZANNI, Maria A., 2017. *Communication of sustainability information and assessment within BIM-enabled collaborative environment*. Thesis. Disponible à l'adresse : <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/24680>.
- ZELKOWITZ, Marvin, 2004. *Advances in Computers: Advances in Software Engineering*. S.l. : Elsevier. ISBN 978-0-08-047190-7.
- ZIGNALE, Daniel, 2013. *Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrées usages*. Thesis.
- ZIGNALE, Daniel, HALIN, Gilles et KUBICKI, Sylvain, 2011. Modelling practices and usages to improve adaptation of groupware-tool services: Application in the AEC sector. In : EuropIA.13: 13th International Conference on Advances in Design Sciences and Technology. Roma, Italy. : s.n. 2011.

Annexes

Annexe 1 : Synthèse des enseignements en architecture

Annexe 2 : Résultats de l'expérimentation du planning poker

Annexe 3 : Micro poker version 3

Annexe 4 : Matrices de conception des groupes SDC

Annexe 5 : Base de la matrice de conception finale

Annexe 6 : Matrice de conception du chapitre 7

Annexe 1 : Synthèse des enseignements en architecture

L'annexe 1 présente les différentes observations réalisées en analysant les programmes d'enseignements des 20 écoles d'architecture en France.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Bordeaux

Bordeaux a des modules intitulés « boîtes à outils numériques » dont la description évoque le « (BIM) DAO / Modélisation » (nous observons ici une incohérence en comparant BIM et DAO). Le programme de Master propose également cet enseignement sous forme de « boîte à outils », mais sans en préciser le contenu.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Bretagne (Rennes)

Bretagne propose un enseignement « Informatique » au semestre 3, décrit comme « prétexte d'introduction au BIM », puis un cours simplement appelé Archicad du S4. La suite de l'enseignement se fait au semestre 6. Nous trouvons enfin une mention au BIM en master dans un cours du S7.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Clermont-Ferrand

Clermont-Ferrand ne fait pas mention du BIM dans ses enseignements, mais fait mention d'un cours d'outils numériques pour l'architecture.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

Grenoble propose une suite de cours intitulés « approches numériques de l'architecture », sans en préciser le contenu.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Lille

Lille dispense des cours d'informatique (sans précisions).

École Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon

Lyon ne détaille pas suffisamment ses cours pour en conclure qu'ils n'ont pas de formations sur la technologie BIM.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Marne-la-Vallée

Marne-la-Vallée cherche dans son cours « Informatique » à « favoriser une optimisation des échanges d'informations pour répondre aux multiples défis posés aux architectes » au S3.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Marseille

Marseille fait mention de numérique et de CAO au S2 puis S3.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier

Montpellier, ne détaille pas suffisamment ses enseignements pour en conclure qu'ils n'ont pas de cours BIM. Montpellier propose également une formation BIM, centrée sur le management d'un projet BIM et des spécificités techniques de la technologie.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

Nancy dispense de cours intitulés « CAO », centrés sur l'apprentissage des outils de modélisation BIM. Nancy propose également en double cursus de M2 des cours théoriques sur le BIM, de modélisation de processus BIM et de gestion de projet BIM.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

Nantes propose au S4 un cours « outil informatique » centré sur l'apprentissage des outils de modélisation, plus particulièrement sur les méthodologies de modélisations informatiques, les notions de modèles, et le BIM (Building Information Model).

École Nationale Supérieure d'Architecture de Normandie

Normandie propose plusieurs cours d'informatique tout au long de sa licence, simplement intitulés « initiation à l'informatique », ou « informatique ».

École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Belleville

Paris Belleville a un cours « Les bases de l'informatique pour l'architecture » au S1, avec de la DAO. Le S3 propose un cours « Géométral

assisté par ordinateur et maquette numérique », qui malgré son nom ne dispense qu'un enseignement centré sur AutoCad. Enfin au S5, « Bâtiment et Informations modélisées (BIM), initiation » se concentre sur l'outil BIM.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette

Paris La Villette a un cours au S4 appelé « dessin informatique », puis des cours « Informatique » en L3. Un cours « Le "BIM" au service du projet ? » au S8.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Malaquais

Paris Malaquais propose au S3 un cours « Intensifs numériques – Interactive design » comme une initiation à la modélisation géométrique.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Val de Seine

Paris Val de Seine a un cours « Technologies numériques - maquettes virtuelles » aux S3 et S5, orientés DAO. En master, des enseignements « Génération numérique » se concentrent sur les outils BIM.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Saint-Étienne

Saint-Étienne propose des enseignements de « Représentation architecturale ». Au S5, on y trouve une initiation au BIM, qui constitue un apprentissage de l'outil Revit, qui se poursuit en S6. Durant ce dernier semestre, le programme pédagogique précise qu'il sera question « d'exports en IFC, de gestion des droits de partage et de synchronisation d'un projet BIM au sein d'une équipe multidisciplinaire ». Au S9, un cours de soutien est proposé pour se perfectionner notamment en « maquette numérique (BIM).

École Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg

Strasbourg propose des cours de « Représentation informatique ». Au S3 il y est question d'initiation à l'élaboration de maquettes numériques. Au S4 il s'agit de modéliser des projets simples. Au S5, il est question de l'utilisation des outils informatiques, et de modèle BIM. Au S6, il s'agit de la documentation d'une maquette BIM, puis de simulations grâce aux IFC. Au S7, le cours de « Simulation informatique » propose une exploitation d'une maquette numérique BIM dans un environnement collaboratif. Enfin, une option au S7 propose aux étudiants architectes-ingénieurs de collaborer autour d'une

maquette BIM à la réalisation d'un projet aux grandes performances énergétiques.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse

Toulouse dispense un cours « Maquette numérique » au S4, puis un cours « Environnement numérique » centré sur l'apprentissage de Revit au S9. Toulouse propose également un cours « BIM et nouvelles pratiques de collaboration » en formation continue, dans lequel sont abordés les outils BIM, mais également la conception collaborative, les niveaux de BIM, et les nouveaux rôles.

École Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles

Versailles ne détaille pas clairement ses enseignements, mais propose une « Formation à la pratique du BIM » destinée aux professionnels.

Annexe 3 : Micro poker version 3

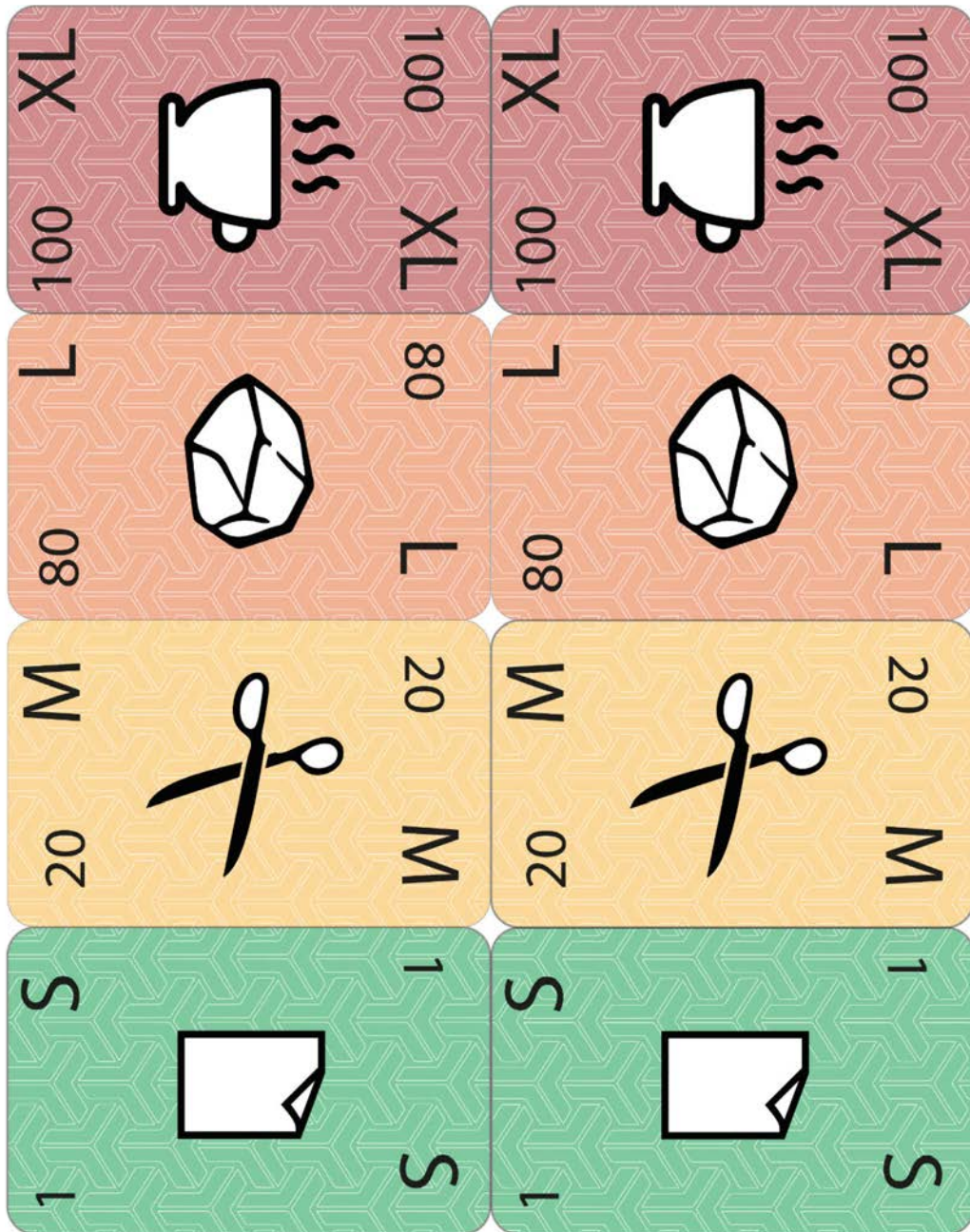


Figure 28 : deux sets de micro poker v3 côté recto

Annexe 4 : Matrices de conception des groupes SDC

Groupe 1 :

		Extrants						
		Diagramme fonctionnel	Plan Masse	Plans de niveau	Coupes	Élévations	Images de rendu	Mot-clé
MJ TEAM	Garage/atelier	Lié au dortoir et à la zone d'entraînement	Accès rapide à la route la plus importante	RDC, niveau rue	Normes, hauteurs minimal	Normes ouvertures	Mise en situation des camions (garés arrivants et sortants)	Efficace, organisé, hiérarchisé
	Dortoir	Lié au garage	orientation de préférence Nord/Est	Au dessus du garage et zone d'embarquement	/	/	Montre l'organisation et les déplacements des pompiers,	modulable, pratique, adapté, adaptable, ergonomique
	Parking	liaison avec l'administration et au espace de travail des pompiers	Souterrain ou alors dans un parc arboré et végétalisé dans la continuité du jardin	normé, adapté en nombre	Souterrain	/	/	Optimisé Silo, liaison visuelle avec l'environnement proche (y compris parc et rue)
	Piscine	lié au sanitaires, a proximité du garages et autre espaces d'entraînement	/	Normé, couloir de nage	double hauteur, emboîtement	Sculptural	Montrer les deux scénario d'utilisation (sportif / détente)	entraînement et détente, élément sculptural
	Administration	Au moins un bureau lié au garage atelier	/	Organisation clair, gestion des flux public/privé, open space ou pas	/	/	distribution et luminosité	Penser pour le travail efficace.
	Logements	/	vue sur parc, double orientation, indépendant ou pas	Adapté à une famille type 4 au minimum, espace terrasse	/	/	scène de vie	Convivialité
Programme								

Figure 29 : matrice de conception du groupe 1

Groupe 2 :

MATRICE CASERNE (Semaine 1)		Extrants					
		Diagramme fonctionnel	Implantation	Concept	Matérialité	Mot-clé	Niveau
Intrants	Pôle administratif	Indépendant	Indépendant, endroit stratégique dans la logique d'entrée sur le site	A DEFINIR ????????	A DEFINIR ??????????	Rapport au public, Détaché	Au maxi 3 niveau
	Garage	Lié aux bureaux op..	NORD, façade sur rue	FEU, coté industriel Structure apparente	Corten, acier, béton	Intervention, Efficacité	RDC
	Bureaux operationnels	Lié au garage	Avec le garage	FEU, coté industriel	Corten, acier, béton	Contrôle, Gestion, Efficacité	RDC, R+1
	Pôle entraînement	Lié aux dortoirs et à l'espace vie et garage	SUD, SUD-OUEST, vue sur l'arrière du site (espace vert)	AIR, structure légère, vue sur l'extérieur, effet intérieur/extérieur	Structure métal fine et verre [ou "matérialiser" l'air par un volume qui n'a pas de contact avec le sol]	Sport, Progression, Efficacité	R+1, R+2
	Dortoirs	Très proche du garage, déplacement efficace jusqu'à celui-ci, potentiel lien entre le garage et les espaces de vie	Côté espace vert, loin de la rue	TERRE, végétalisation, détente	Végétal, bardage bois	Repos, Calme, Détente, A l'aise	Potentiellement sur plusieurs étages
	Espace vie (détente, cuisine, repos...)	Extrants (représentation visuelle, schémas, livrables)	A proximité de tous les pôles	TERRE, végétalisation, détente	Végétal, bardage bois	Convivialité	RDC et R+1

Figure 30 : 1^{ère} matrice de conception du groupe 2

MATRICE CASERNE (Semaine 2)		Extrants						
		Implantation	Volumétrie	Concept	Matérialité	Mot-clé	Niveau	
Intrants	Pôle administratif	Juxtaposé au reste, à l'est	Articulation autour d'un patio intérieur contenant un bassin Accès en PAF : Appel visuel de l'entrée Dynamisme vis-à-vis du reste du bâti	Eau Fluidité du bâti Accueillant Bien-être	A DEFINIR TRESPA ?	Rapport au public, Détaché	Au maxi 3 niveau	
	Garage	Dans le socio	Fait office de socle qui soulève le tout : comme le sol Elaement	FEU, côté industriel Structure apparente	Corten, acier, béton	Intervention, Efficacité	RDC	
	Bureaux operationnels	Tour corten	Tour droite reliée au socio	FEU, côté industriel	Corten, acier, béton	Contrôle, Gestion, Efficacité	R+1, R+2	
	Pôle entraînement	Dans un bloc assez vitré sur la partie ouest du bâtiment	Pôle vitré, excentré, en PAF : Flotte dans les airs, esprit de légèreté	AIR, structure légère, vue sur l'extérieur, effet intérieur/extérieur	Structure métal fine et verre [ou matérialiser l'air par un volume qui n'a pas de contact avec le sol]	Sport, Progression, Efficacité	Piscine R0, R+1	
	Dortoirs	-Tour déstructurée posée sur le socle. Structure bois ?	Tour dont chaque étage semble désolidarisé par une rotation Aspect organique	TERRE, végétalisation, détente	Végétal, bardage bois	Repos, Calme, Détente, A l'aise	Potentiellement sur plusieurs étages	
	Espace vie (détente, cuisine, repos...)	Le but est que tout le monde puisse y accéder facilement		TERRE, végétalisation, détente	Végétal, bardage bois	Convivialité	R+1, R+2, R+3	

Figure 31 : 2^e matrice de conception du groupe 2

MATRICE CASERNE (Semaine 3)		Extrants							
	Concept	Mot-clé	Matérialité	Facade	Perspective	Aspect rendu	Plans	Coupe	Schema Concept
Intrants	Pôle administratif	Eau Canalisation des flux de personne dans un atrium Emboîtement avec les bureaux opé et le garage	Rapport au public,	Béton clair	Jeu d'ouvertures aléatoires, revêtement lisse	/	/	/	/
	Garage	Sième élément Neutralité Elément liant	Intervention, Efficacité, liaison	Neutre, Noir (couleur qui représente le "rien")	revêtement lisse noir	/	/	/	/
	Bureaux opérationnels	Feu Emboîtement avec l'admm et liaison avec le garage	Contrôle, Gestion, Efficacité	Revêtement dans les tons de core proche de la couleur du cotent	bardage en plaques verticale qui reprend le rythme des ouverture	/	/	/	/
	Pôle entraînement	AIR, vue sur l'extérieur, effet intérieur/extérieur Emboîtement avec le garage et la Tour de vie	Sport, Progression, Efficacité	Majoritairement vitre, jeu de brise soleil	Jeu de brise soleil horizontaux	/	/	/	/
	Tour de vie	Terre, détente Emboîtement avec le pôle sport et liaisons direct avec le garage	Repos, Calme, Détente, A l'aise	Revêtement bois,	côté chaleureux, revêtement bardage bois	/	/	/	/
	Tout le projet	/	/	/	2 vues depuis la rue avec le rapport au parc (une côté admin et l'autre côté sport) Pourquoi pas une vue un peu aérienne (vue de drone) Une depuis l'arrière (cours de manoeuvre) Sorte de séquence de l'intérieur : une vue garage ouvert une vue gymnase (ouverture sur l'ext.) Une vue bureau opé qui donne sur le toit avec la tdv Une vue de l'espace détente (monter rapport à la TDV)	Photostatiste qui met en avant le jeu des matériaux en facade pour l'extérieur Pour les vue intérieur travailler surtout des perspectives blanches qui montrent les espaces générés par nos dispositifs avec des personnages "réelle" à l'intérieur, avec des vue "réelle" des espaces extérieur. L'idée est vraiment de mettre en avant les espaces et leur rapport à l'extérieur plutôt que l'aménagement intérieur.	Tout les niveaux en montrant bien la liaison qu'on a voulu créer entre les éléments	mise en situation avec les alentours	Qui montre l'idée de liaison (schema sketchup volume coté)

Figure 32 : 3^e matrice de conception du groupe 2

Groupe 3 :

		Extrants				
		Disposition spatiale	Diagramme fonctionnel		Mots-clés	Classification sonore
Entrants	Garage	A proximité de la rue / à proximité des dortoirs	Double entrée arrivée par l'arrière du bâtiment et sortie à l'avant		Fonctionnel élément central du projet double accès orangeroze faille centrale	Bruyant ++
	Dortoir	Dortoir au dessus du garage ou à proximité, avec passerelle pour accès rapide	façade double peau espace tampon en R+1 ou R+2	espace tampon pour améliorer l'isolation phonique et thermique	isolation phonique orientation Est/Ouest	Calme ++
	Circulation	Relier le maximum d'espace	différencier les circulations d'urgences (dortoir/salle de garde/garage) des circulations administratives et publics circulations rapide / circulation lente		visibilité de l'extérieure verre / transparence éclairage couleur	
	Parking	Parking divisé / pour personnel en fonction et vacant	Abris véhicule 2 roues		accessibilité	Bruyant
	Piscine	RDC	Plusieurs bassins de différentes profondeurs	définir l'intérêt d'une piscine, choix entre bassin, cuve, et piscine	optimiser / ergonomique empreinte minimale extérieure	Neutre
	Terrain Multisport	Complexe au dessus de la piscine		salle de musculation, planche, terrain omnisport	gymnase plutôt opaque pour la concentration et l'esprit d'équipe	Bruyant
	Sanitaire	Regrouper vers pièces humides		hygienique		Neutre
	Salle de restauration	Proximité salle humide	Connexion avec la cuisine	self	espace extérieur terrasses vue sur l'extérieur	Bruyant
	Salle de Réunion					Neutre
	Salle de Formation	zone calme		Accès informatique, projection, études		Neutre
	Zone d'exercice	Extérieur	accès eau, entretien facile, espace abrité	exercice feu, exercice sauvetage, exercice animalier	Espace de simulation	Bruyant ++
	Salle Détente		Plusieurs types d'espaces Salle de télé, terrasse		Chaleureux, clair, Qualité paysagère, spacieux, aéré, espace extérieur	Calme ++
	Locaux technique	Si possible éloigné du dortoir	En sous sol ou sur le toit si possible (ou les 2 !)		Sécurisé	Bruyant
Vestiaire	Proche dortoir, proche garage proche sanitaires					
Bureaux des opérations	entre garage et extérieur		Un volume coloré, visible de l'extérieur et de l'intérieur	entre deux		

Figure 33 : 1^{ère} matrice de conception du groupe 3

		Extrants				
		Disposition spatiale	Diagramme fonctionnel	Mot-clé	Classification sonore	
Entrants	Garage	A proximité de la rue / à proximité des dortoirs		Fonctionnel / élément central du projet/Rouge/Aci	Bruyant ++	
	Dortoir	Dortoir au dessus du garage ou à proximité, avec passerelle pour accès rapide (Trappe verticale ?)	façade double peau (pourquoi ?) isolation phonique ? espace tampon en R+1 ou R+2	espace tampon pour améliorer l'isolation phonique et thermique (attention perte de place. Pour l'isolation thermique, les espaces tampons sont plutôt utilisés dans les climats extrêmes (en tout cas plus que Nancy))	isolation phonique orientation Est/Ouest	Calme ++
	Parking	Parking divisé / pour personnel en fonction et vacant	Abris véhicule 2 roues		accessibilité	Bruyant
	Piscine	RDC	Plusieurs bassins de différentes profondeurs Bassin extérieur comme a proposé Olivier ? 1 bassin extérieur polyvalent ?	définir l'intérêt d'une piscine, choix entre bassin, cuve, et piscine	optimiser / ergonomique empreinte minimale extérieure	Neutre
	Terrain Multisport	Complexe avec piscine+fitness		salle de musculation, planche, terrain omnisport	fitness en R+3 ouvert pour avoir des vues gymnase plutôt opaque pour la concentration et l'esprit d'équipe	Bruyant
	Sanitaire	Regrouper vers pièces humides verticalement	intégration des GT dès le début	hygiénique		Neutre
	Salle de restauration	Proximité salle humide	Connexion avec la cuisine	self		Bruyant
	Salle de Réunion					Neutre
	Salle de Formation	zone calme		Accès informatique, projection, études		Neutre
	Zone d'exercice	Extérieur	accès eau, entretien facile, espace abrité	exercice feu, exercice sauvetage, exercice animalier	Espace de simulation	Bruyant ++
	Salle Détente		Plusieurs types d'espaces Salle de tété, Foyer, terrasse		Chaleureux, clair, Qualité paysagère, spacieux, aéré, espace extérieur	Calme ++
	Locaux technique	Si possible éloigné du dortoir/ sous sol /	En sous sol ou sur le toit si possible (ou les 2 !)	attention accessibilité pour entretien	Sécurisé	Bruyant
	Vestiaire	Proche dortoir, proche garage/ fitness /piscine proche sanitaires			hygiénique	
	Salle de Garde	pas très loin des garages /côté vestiaire			calme confortable et fonctionnelle /café	calme
	bureau d'opérations	encastré dans le garage avec vue sur l'extérieur			possibilité de communiquer avec l'intérieur du garage (micro)/en verre pour avoir de la visibilité ext et int pour le garage *entre deux poste de commande symbolique "tour de contrôle, mirador"	
	Circulation	Relier le maximum d'espace	différencier les circulations d'urgences (dortoir/salle de garde/garage) des circulations administratives et publics circulations rapide / circulation lente		visibilité de l'extérieure verre / transparence éclairage couleur symbolique de l'eau fluidité, écoulement rapide (rapport à l'eau)	
entree	rue de face			large et fonctionnel		
sortie	rue face					

Figure 34 : 3^e matrice de conception du groupe 3

		Extrants				
		Disposition spatiale	Diagramme fonctionnel	Mot-clé	Classification sonore	
Entrants	Garage	A proximité de la rue / à proximité des dortoirs et des vestiaires	double entrée	Fonctionnel / élément central du projet/Rouge/Acier /Rigid	Bruyant ++	
	Dortoir	Dortoir au dessus du garage ou à proximité, avec passerelle pour accès rapide (Trampe verticale ?)	espace tampon pour améliorer l'isolation phonique et thermique (attention perte de place. Pour l'isolation thermique, les espaces tampons sont plutôt utilisés dans les climats extrêmes (en tout cas plus que Nancy))	isolation phonique orientation Est/Ouest	Calme ++	
	Parking	Parking divisé ext pour les visiteurs / souterrain pour personnel en fonction et vacant	Abris véhicule 2 roues	Trame structurelle dimensionnante pour les étages supérieurs	accessibilité	Bruyant
	Piscine	RDC	1 bassin de nage +/-20m 1 bassin exercice en rdc	Bassin accessible par un camion pour simulation de plongée	optimiser / ergonomique empreinte minimale extérieure	Neutre moi je dirais bruyant
	Terrain Multisport	Complexe avec +fitness proche sanitaire	Offrir deux types d'espaces : un extérieur et un intérieur en cas d'intempéries	salle de musculation, planche, terrain omnisport	fitness en R+3 ouvert pour servir des salles gymnase plutôt opaque pour la concentration et l'esprit d'équipe	Bruyant
	Sanitaire	Regrouper vers pièces humides verticalement	intégration des GT dès le début	hygiénique		Neutre
	Salle de restauration	Proximité salle humide	Connexion avec la cuisine	self	terrasse couvert ou non	Bruyant
	Salle de Réunion	zone calme				Neutre
	Salle de Formation		amovible parois	Accès informatique, projection, études		Neutre
	Zone d'exercice	Extérieur proche bassin	accès eau, entretien facile, espace abrité	exercice feu, exercice sauvetage, exercice animalier	Espace de simulation	Bruyant ++
	Salle Détente		Plusieurs types d'espaces Salle de télé, Foyer, terrasse		Chaleureux, clair, Qualité paysagère, spacieux, aéré, espace extérieur	Calme ++
	Locaux technique	Si possible éloigné du dortoir/ sous sol /	En sous sol ou sur le toit si possible (ou les 2 !)	attention accessibilité extérieure pour entretien	Sécurisé/grillage grille verou	Bruyant
	Vestiaire	Proche dortoir, proche garage/ fitness /piscine proche sanitaires			hygiénique	
	Salle de Garde	pas très loin des garages /côté vestiaire			calme confortable et fonctionnelle /café	calme
	bureau d'opérations	encastré dans le garage avec vue sur l'extérieur			possibilité de communiquer avec l'intérieur du garage (micro)/en verre pour avoir de la visibilité ext et int pour le garage "entre deux poste de commande symbolique "tour de contrôle, mirador"	
	jardin sur toit	sur un toit			-semi couvert amovible fleurs...	
	Circulation	Relier le maximum d'espace	différencier les circulations d'urgences (dortoir/salle de garde/garage) des circulations administratives et publics circulations rapide / circulation lente		visibilité de l'extérieure verre / transparence éclairage couleur symbolique de l'eau fluidité, écoulement rapide (rapport à l'eau)	
entree	rue de face			large et fonctionnel		

Figure 35 : 4^e matrice de conception du groupe 3

	Extrants					
	Disposition spatiale	Diagramme fonctionnel	Mot-clé	Classification sonore		
Entrants	Garage	A proximité de la rue / à proximité des dortoirs et des vestiaires	double entrée	Fonctionnel / élément central du projet/Rouge/Acier/Rigide, cartésien, av	Bruyant ++	
	Dortoir	Dortoir au dessus du garage ou à proximité, avec passerelle pour accès rapide (Trappe verticale ?)	espace tampon pour améliorer l'isolation phonique et thermique (attention perte de place. Pour l'isolation thermique, les espaces tampons sont plutôt utilisés dans les climats extrêmes (en tout cas plus que Nancy))	isolation phonique orientation Est/Ouest	Calme ++	
	Parking	Parking divisé ext pour les visiteurs / souterrain pour personnel en fonction et vacant	Abris véhicule 2 roues	Trame structurelle dimensionnante pour les étages supérieurs	accessibilité	Bruyant
	Piscine	RDC	1 bassin de nage +/-20m 1 bassin exercice en rdc	Bassin accessible par un camion pour simulation de plongée	optimiser / ergonomique empreinte minimale extérieure	Neutre moi je dirais bruyant
	Terrain Multisport	Complexe avec +fitness proche sanitaire	Offrir deux types d'espaces : un extérieur et un intérieur en cas d'intempéries	salle de musculation, planche, terrain omnisport	fitness en R+3 ouvert pour avoir des vues gymnase plutôt opaque pour la concentration et l'esprit d'équipe	Bruyant
	batiment organique (region restauration)				courcive pour passer de l'alle administrative au garage pompier	
	Sanitaire	Regrouper vers pièces humides verticalement en bloc une	intégration des GT dès le début	hygiénique		Neutre
	Salle de restauration	Proximité salle humide passer le restau du r+1 au r+2] intégrer quelque sanitaire	Connexion avec la cuisine	seif	terrasse couvert ou non orienté sud	Bruyant
	Salle de Réunion	zone calme				Neutre
	Salle de Formation		amovible parois	Accès informatique, projection, études		Neutre
	Zone d'exercice	Extérieur proche bassin	accès eau, entretien facile, espace abrité	exercice feu, exercice sauvetage, exercice animalier	Espace de simulation	Bruyant ++
	Salle Détente		Plusieurs types d'espaces Salle de télé, Foyer, terrasse		Chaleureux, clair, Qualité paysagère, spacieux, aéré, espace extérieur	Calme ++
	Locaux technique	Si possible éloigné du dortoir/ sous sol avec parking	En sous sol ou sur le toit si possible (ou les 2 !)	attention accessibilité extérieure pour entretien	Sécurisé/grillage grille verou	Bruyant
	Vestiaire	Proche dortoir, proche garage/ fitness /piscine proche sanitaires			hygiénique	
	Salle de Garde	pas très loin des garages /côté vestiaire			calme confortable et fonctionnelle /café	calme
	bureau d'opérations	encastré dans le garage avec vue sur l'extérieur			possibilité de communiquer avec l'intérieur du garage (micro)/en verre pour avoir de la visibilité ext et int pour le garage *entre deux poste de commande symbolique "tour de contrôle, mirador"	
	jardin sur toit	sur un toit surment modifié plus tard			semi couvert amovible fleurs....	
	Circulation	Relier le maximum d'espace pas d'aller-retours pour la circulation d'urgence	différencier les circulations d'urgences (dortoir/salle de garde/garage) des circulations administratives et publics circulations rapide / circulation lente		visibilité de l'extérieure verre / transparence éclairage couleur symbolique de l'eau fluidité, écoulement rapide (rapport à l'eau) placer les circulation par rapport aux pièces	
entree	rue de face			large et fonctionnel		
sortie	rue face					

Figure 36 : 5^e matrice de conception du groupe 3

Groupe 4 :

MATRICE CONCEPT		Extrants					
		Diagramme fonctionnel	Implantation	Concept	Matérialité	Mot-clé	Niveau
Programme	Pôle administratif	Accueil	Coté est	Matière combustible	?	legèreté	RDC/R+1/R+2/R+3
	Garage	Structure principale	Coté voirie / Nord	feu	Un structure minéral	liaison	R+1
	Bureaux operationnels	Admi. et garage	Centre				
	Pôle entraînement	Sur vestiaire	Ouest	energie	?	legèreté	R+1/R+2
	Dortoirs	au centre du batiment	Centré par rapport au garage	conburant / oxygene	?	legèreté	R+2
	Espace vie (detente, cuisine, repos...)	Prolongement de l'accueil	Est sur les locaux de stockage	Matière combustible	?	legèreté	R+2/R+3

MATRICE CONCEPT		Extrants					
		Diagramme fonctionnel	Implantation	Concept	Matérialité	Mot-clé	Niveau
Programme	Pôle administratif	Accueil	Coté est	Matière combustible	?	legèreté	RDC/R+1/R+2/R+3
	Garage	Structure principale	Coté voirie / Nord	feu	Un structure minéral	liaison	R+1
	Bureaux operationnels	Admi. et garage	Centre				
	Pôle entraînement	Sur vestiaire	Ouest	energie	?	legèreté	R+1/R+2
	Dortoirs	au centre du batiment	Centré par rapport au garage	conburant / oxygene	?	legèreté	R+2
	Espace vie (detente, cuisine, repos...)	Prolongement de l'accueil	Est sur les locaux de stockage	Matière combustible	?	legèreté	R+2/R+3
Accès	Prolongement de l'accueil	Est sur les locaux de stockage	Matière combustible	?	legèreté	R+2/R+3	

Figure 37 : 1^{ère} et 2^e matrice de conception du groupe 4

Projet CASERNE 11/10/2017		Surface (m²)		14632		Détail	Plan Masse	Niveau
Espace communs (PMR)	Parking / véhicul privé		3200			150 places Voiture + Motos + Vélos	SS	Jardin
	Parking visiteur		300			12 places de VL	Sous ADM	P
	Espace d'accueil		40			Fusion des 2 accueils EC et SA	Sortant de l'ADM	
	Sanitaite		40				PMR	R+2
	Cuisine de collectivité		50		4050	Pour 150 couverts)	Liaison entre block	R+2
	Salle de prise de repas		200				lien entre block	R+2
	Salle de l'amical du personnel		30				proche cir.V	R+2
	Infirmierie		40				cote ouest porte a faux	R+2
	Lacaux personnel d'entretien		30				s-SOL	R+2
	Locaux de chaufferie et technique		120					S-SOL
Service opérationnels	Personnel	Salle de détente		180				R+2
		Salle de repos		120				R+2
		Dortoir (80 lits +rengement)		400				R+2
		Vestiaire		300		3400		R+1
		Douche + Sanitaire		100				R+1
		Salle de fitness		200				R+3
		Salle de sport 27*45)		1200				R+2
		Piscine (25*18)		900				
	Matériel	Cour de manoeuvre		3500		5690		RDC
		Local lavage et stockage tuyaux		350				RDC
		Atelier entretien véhicules		200				RDC
		Garage doubles accès 15 VL		750	1840	9530		RDC
		Vestiaires feu		500				RDC
		Entrepots particuliers N=7		390				RDC
	TOUR							
	Bureaux des opérations	Bureau du commmandemant		60				
		Gestion des investigations		75				
		Gestion de la garde		80				
		Officier de garde		15				
		Planton - gestion des appels		60		440		
Dispatch - gestion des interventions		80						
Salle de réunion		30						
Sanitaire		40						
Service administratif	Espace d'accueil		30					RDC
	Sanitaires		30					R+2
	Salles de réuion N=5		120					R+2
	Bureau paysage		120					R+3
	Bureau privé		48					R+3
	Bureau paysage		120		1052			
	Bureau privé		48					
	Bureau paysage		200					
	Bureau privé		36					
	Bureau des instructions		60					
	Bureaux gradé		40					
	Grande salle de cours		100					
Petite salle de cours		100						

Figure 38 : partie gauche de la 3^e matrice de conception du groupe 4

Groupe 5 :

SEMAINE 40		Fortes proximités		Diagramme fonctionnel		Plan Masse	
Entrants (programme)	Garage					Montrer acces	
	Dortoir				Central		
	Parking			Entrée séparée de l'accès aux garages Ne pas encombré le passage des camions		Peut-être souterrain	Si extérieur, dessiner le nombre de places
	Restauration			Espace agréable visuellement	Terrasse	Changement de matière pour la terrasse	
	Vestiaires			Espace de rangement			
	Entrainement					Espace extérieur	
	Piscine						

Figure 40 : partie gauche de la 1^{ère} matrice de conception du groupe 5

Sortants					
Plan			Coupe		Mot-clé
Accès depuis la rue	Surface importante	Montrer les zones de manoeuvres	Correspondance avec la hauteur d'un camion		Fonctionnel
Eviter les escaliers					Adaptatif
Positionnement des tables					
Int/Ext			Si intérieur, double hauteur pour cordes, échelles ou escaliers		
			Faire attention		

Figure 41 : partie droite de la 1^{ère} matrice de conception du groupe 5

SEMAINE 41			M²	Détails	RDC ou Etage ?	Diagramme fonctionnel	
Entrants (programme)	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200		RDC	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible	Une partie peut être enterrée
		Parking visiteur	300		RDC		
		Espace d'accueil	40		RDC	Accessible depuis la rue ou le parking visiteur	Visible rapidement
		Sanitaires	40		RDC	Accessible de l'entrée	
		Cuisine de collectivité	50		Etage	Accès livraison	
		Salle de prise des repas	200		Etage	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	Terrasse ?
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria	Etage		
		Infirmierie	40		Etage		
		Locaux du personnel d'entretien	30		Etage		
	Locaux de chaufferie et techniques	120		RDC	Accès sur l'extérieur		
	Personnel	Salle de détente	180		-RDC		
		Salle de repos	120		-RDC	Isoler du bruit de circulation	
		Dortoir	400		-RDC	Isoler du bruit de circulation	
		Vestiaires	300		-RDC	Espace de rangement	
		Douches et Sanitaires	100		-RDC		
		Salle de fitness	200		-RDC		
		Salle de sport	1200		-RDC		
		Piscine	900		RDC	Bassin d'entraînement dans le Jardin	
	Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure	RDC	Besoin de longueur pour dérouler les tuyaux	
		Local lavage et stockage des tuyaux	350		RDC		
		Ateliers d'entretien des véhicules	2x100		RDC		
		Garages doubles accès	750	Trame 3.5	RDC	Central	
		Vestiaires feu	500		RDC		
		Entrepôts particuliers	390		RDC		
	Bureau des opérationnels	Bureau du commandement	60		-RDC	Pas besoin de se changer, peuvent être plus loin(ou étage) du garage Eloigné des lieux de passages	
		Gestion des interventions spéciales	75		-RDC		
		Gestion de la garde	80		-RDC		
		Officier de garde	15	Besoin de partir en interventions ? Ou reste sur place tout le temps ?	-RDC		
		Planton-gestion des appels d'urgences	60		-RDC		
		Dispatching- gestion des interventions	80		-RDC		
		Salle de réunion	30		-RDC		
	Sanitaires	40		-RDC			
	Services des administratifs	Espace d'accueil	30		Etage		
		Sanitaires	30		Etage		
		Salle de réunion	3x20+2x30		Etage		
		Personnel Bureaux paysager	3x40		Etage		
		Personnel Bureaux privé	4x12		Etage		
		Logistiques Bureaux paysager	3x40		Etage		
		Logistiques Bureaux privé	4x12		Etage		
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40		Etage		
Prévention Incendie Bureaux privé		3x12		Etage			
Bureaux des instructeurs		60		Etage			
Bureaux gradé		40		Etage			
Grande salle de cours		100		Etage			
Petite salle de cours		2x50		Etage			

Figure 42 : partie gauche de la 2^e matrice de conception du groupe 5

SEMAINE 43			M²	Détails	Diagramme fonctionnel			
Entrants (programme)					RDC ou Etage ?	Lumière		
	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200		Sous-sol	Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible	Enterré
		Parking visiteur	300		RDC	Extérieur		A l'avant du bâtiment Simple d'accès
		Espace d'accueil	40		RDC	Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur	Visible rapidement Au centre du bâtiment
		Sanitaires	40		RDC	Artificielle	Accessible de l'entrée	Pour les visiteurs
		Cuisine de collectivité	50		Etage	Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur	Proche de la Salle de repas
		Salle de prise des repas	200		Etage	Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	Avoir une terrasse Lieu agreable
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria	Etage	Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente	Proche d'un lieu extérieur
		Infirmierie	40		Etage	Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...	
		Locaux du personnel d'entretien	30		RDC	Artificielle		
	Locaux de chaufferie et techniques	120		Sous-sol	Artificielle	Acces sur l'exterieur	Dans le sous-sol, accès depuis le parking	
	Personnel	Salle de détente	180		Etage	Lumière Sud		
		Salle de repos	120		Etage	Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation	
		Dortoir	400		Etage	Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation	
		Vestiaires	300		Etage	Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue	
		Douches et Sanitaires	100		Etage	Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness	
		Salle de fitness	200		Etage	Lumière Naturelle	En façade	
		Salle de sport	1200		Etage	Lumière Naturelle		
		Piscine	900		Etage	Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin	
	Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure	RDC	Extérieur	Besoin de longueur pour dérouler les tuyaux	
		Local lavage et stockage des tuyaux	350		RDC	Artificielle	proche de la cour de manoeuvre	
		Ateliers d'entretien des véhicules	2x100		RDC	Artificielle	Proche de la cour de manoeuvre	
		Garages doubles accès	750	Trame 3.5	RDC	Naturelle	Accessible depuis la rue Facile de manoeuvre	Pas de vehicule l'un derriere l'autre
		Vestiaires feu	500		RDC	Artificielle ou Nord	Pas visible sur rue	Proche du Garage
	Bureau des opérationnels	Entrepôts particuliers	390		Sous-sol ou Etag	Artificielle		
		Bureau du commandement	60		Etage	Lumiere naturelle		
		Gestion des interventions spéciales	75		Etage	Lumiere naturelle		
		Gestion de la garde	80		Etage	Lumiere naturelle		
		Officier de garde	15		Etage	Lumiere naturelle		
		Planton-gestion des appels d'urgences	60	Besoin de partir en interventions ? Ou reste sur place tout le temps ?	Etage	Lumiere naturelle	Pas besoin de se changer, peuvent étres plus loin(ou étage) du garage Eloigné des lieux de passages	
		Dispatching- gestion des interventions	80		Etage	Lumiere naturelle		
	Services des administratifs	Salle de réunion	30		Etage	Lumiere naturelle		
		Sanitaires	40		Etage	Lumiere naturelle		
		Espace d'accueil	30		Etage			
		Sanitaires	30		Etage			
		Salle de réunion	3x20+2x30		Etage			
		Personnel Bureaux paysager	3x40		Etage			
		Personnel Bureaux privé	4x12		Etage			
		Logistiques Bureaux paysager	3x40		Etage			
		Logistiques Bureaux privé	4x12		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux privé	3x12		Etage			
		Bureaux des instructeurs	60		Etage			
Bureaux gradé		40		Etage				
Grande salle de cours	100		Etage					
Petite salle de cours	2x50		Etage					

Figure 44 : partie gauche de la 3^e matrice de conception du groupe 5

SEMAINE 45		M²	Détails	Diagramme fonctionnel				
				RDC ou Etage ?	Lumière			
Entrants (programme)	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200		Sous-sol	Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible	Enterré
		Parking visiteur	300		RDC	Extérieur		A l'avant du bâtiment Simple d'accès
		Espace d'accueil	40		RDC	Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur	Visible rapidement Au centre du bâtiment
		Sanitaires	40		RDC	Artificielle	Accessible de l'entrée	Pour les visiteurs
		Cuisine de collectivité	50		Etage	Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur	Proche de la Salle de repas
		Salle de prise des repas	200		Etage	Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	Avoir une terrasse Lieu agréable
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria	Etage	Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente	Proche d'un lieu extérieur
		Infirmierie	40		Etage	Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...	
		Locaux du personnel d'entretien	30		RDC	Artificielle	Accès sur l'extérieur	
	Locaux de chaufferie et techniques	120		Sous-sol	Artificielle		Dans le sous-sol, accès depuis le parking	
	Personnel	Salle de détente	180		Etage	Lumière Sud		
		Salle de repos	120		Etage	Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation	
		Dortoir	400		Etage	Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation	
		Vestiaires	300		Etage	Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue	
		Douches et Sanitaires	100		Etage	Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness	
		Salle de fitness	200		Etage	Lumière Naturelle	En façade	
		Salle de sport	1200		Etage	Lumière Naturelle	Salle de sport pour accueillir terrain Hand	
		Piscine	900		Etage	Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin	
	Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure	RDC	Extérieur	Besoin de longueur pour dérouler les tuyaux	Extérieur
		Local lavage et stockage des tuyaux	350		RDC	Artificielle	proche de la cour de manoeuvre	
		Ateliers d'entretien des véhicules	2x100		RDC	Artificielle	Proche de la cour de manoeuvre	
		Garages doubles accès	750	Trame 3.5	RDC	Naturelle	Accessible depuis la rue Facile de manoeuvre	Pas de vehicule l'un derriere l'autre
		Vestiaires feu	500		RDC	Artificielle ou Nord	Pas visible sur rue	Proche du Garage
	Bureau des opérationnels	Entrepôts particuliers	390		Sous-sol ou ETag	Artificielle		
		Bureau du commandement	60		Etage	Lumiere naturelle		
		Gestion des interventions spéciales	75		Etage	Lumiere naturelle		
		Gestion de la garde	80		Etage	Lumiere naturelle		
		Officier de garde	15	Besoin de partir en interventions ? Ou reste sur place tout le temps ?	Etage	Lumiere naturelle	Pas besoin de se changer, peuvent étre plus loin (ou étage) du garage Eloigné des lieux de passages	
		Planton-gestion des appels d'urgences	60		Etage	Lumiere naturelle		
		Dispatching- gestion des interventions	80		Etage	Lumiere naturelle		
	Services des administratifs	Salle de réunion	30		Etage		Accéssible depuis la colonne verticale	
		Sanitaires	30		Etage		Tous les niveaux	
		Salle de réunion	3x20+2x30		Etage		Peut étre dans un espace plus éloigné des façades , peu utilisé par rapport à un bureau	
		Personnel Bureaux paysager	3x40		Etage			
		Personnel Bureaux privé	4x12		Etage			
		Logistiques Bureaux paysager	3x40		Etage			
		Logistiques Bureaux privé	4x12		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux privé	3x12		Etage		Apport maximal de la lumière naturelle	
		Bureaux des instructeurs	60		Etage			
		Bureaux gradé	40		Etage			
		Grande salle de cours	100		Etage			
	Général	Petite salle de cours	2x50		Etage			
		Volumétrie générale						
		Parc Sainte-Marie						
Circulation horizontale								
	Circulation verticale					Acces sur l'extérieur	Prévoir des escaliers de secours(escaliers secondaires) sur les deux cotés du batiments	

Figure 46 : partie gauche de la 4^e matrice de conception du groupe 5

Sortants									
Plan Masse		Plan			Coupe		Façade	Visualisation graphique	Mot-clé
Sous-terrain	Si extérieur, dessiner le nombre de places	places pour PMR proches de la circulation verticale							
coté rue									
Le mettre en évidence sur le plan de masse		superposés sur les différents niveaux							
Changement de matière pour la terrasse		Positionnement des tables							
	Terrasses aménagé	Eviter les escaliers							Adaptatif
Bassin d'entraînement extérieur						Faire attention			
	Espace extérieur -Accessible depuis la rue -Montrer la perméabilité	Extérieur							
	Accessible depuis la cour de manoeuvre								
Montrer acces		Acces depuis la rue	Surface importante	Montrer les zones de manoeuvres	Correspondance avec la hauteur d'un camion				Fonctionnel
Ombres		Aménagement intérieur	Lisibilité des circulations		Montrer l'organicité	Grouillots			ORGANICITE
Mettre en valeur pour montrer la liaison avec le site					Relation avec la végétation du projet		Organicité	Schématisme du concept + principe d'implantation + éléments graphiques qui facilitent la lecture, nécessaire lors de la présentation du projet.	
		éviter les couloirs sombres							
		Noyau central							

Figure 47 : partie droite de la 4^e matrice de conception du groupe 5

SEMAINE 45		M ²	Détails	Diagramme fonctionnel				
				RDC ou Etage ?	Lumière	Diagramme fonctionnel		
Entrants (programme)	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200		Sous-sol	Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible	Enterré
		Parking visiteur	300		RDC	Extérieur		A l'avant du bâtiment Simple d'accès
		Espace d'accueil	40		RDC	Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur	Visible rapidement Au centre du bâtiment
		Sanitaires	40		RDC	Artificielle	Accessible de l'entrée	Pour les visiteurs
		Cuisine de collectivité	50		Etage	Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur	Proche de la Salle de repas
		Salle de prise des repas	200		Etage	Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	Avoir une terrasse Lieu agréable
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria	Etage	Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente	Proche d'un lieu extérieur
		Infirmierie	40		Etage	Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...	
		Locaux du personnel d'entretien	30		RDC	Artificielle	Acces sur l'exterieur	
		Locaux de chaufferie et techniques	120		Sous-sol	Artificielle		Dans le sous-sol, accès depuis le parking
	Personnel	Salle de détente	180		Etage	Lumière Sud		
		Salle de repos	120		Etage	Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation	
		Dortoir	400		Etage	Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation	
		Vestiaires	300		Etage	Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue	
		Douches et Sanitaires	100		Etage	Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness	
		Salle de fitness	200		Etage	Lumière Naturelle	En façade	
		Salle de sport	1200		Etage	Lumière Naturelle	Salle de sport pour accueillir terrain Hand	
		Piscine	900		Etage	Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin	
	Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure	RDC	Extérieur	Besoin de longueur pour dérouler les tuyaux	Extérieur
		Local lavage et stockage des tuyaux	350		RDC	Artificielle	proche de la cour de manoeuvre	
		Ateliers d'entretien des véhicules	2x100		RDC	Artificielle	Proche de la cour de manoeuvre	
		Garages doubles accès	750	Trame 3.5	RDC	Naturelle	Accessible depuis la rue Facile de manoeuvre	Pas de vehicule fun derriere l'autre
		Vestiaires feu	500		RDC	Artificielle ou Nord	Pas visible sur rue	Proche du Garage
		Entrepôts particuliers	390		Sous-sol ou Etage	Artificielle		
	Bureau des opérationnels	Bureau du commandement	60	Besoin de partir en interventions ? Ou reste sur place tout le temps ?	Etage	Lumière naturelle	Pas besoin de se changer, peuvent être plus loin (ou étage) du garage Éloigné des lieux de passages	
		Gestion des interventions spéciales	75		Etage	Lumière naturelle		
		Gestion de la garde	80		Etage	Lumière naturelle		
		Officier de garde	15		Etage	Lumière naturelle		
		Planton-gestion des appels d'urgences	60		Etage	Lumière naturelle		
		Dispatching- gestion des interventions	80		Etage	Lumière naturelle		
		Salle de réunion	30		Etage	Lumière naturelle		
		Sanitaires	40		Etage	Lumière naturelle		
	Services des administratifs	Espace d'accueil	30		Etage		Accessible depuis la colonne verticale	
		Sanitaires	30		Etage		Tous les niveaux	
		Salle de réunion	3x20+2x30		Etage		Peut être dans un espace plus éloigné des façades , peu utilisé par rapport à un bureau	
		Personnel Bureaux paysager	3x40		Etage		Apport maximal de la lumière naturelle	
		Personnel Bureaux privé	4x12		Etage			
		Logistiques Bureaux paysager	3x40		Etage			
		Logistiques Bureaux privé	4x12		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40		Etage			
		Prévention Incendie Bureaux privé	3x12		Etage			
		Bureaux des instructeurs	60		Etage			
		Bureaux gradé	40		Etage			
	Grande salle de cours	100		Etage				
	Petite salle de cours	2x50		Etage				
Général	Volumétrie générale							
	Parc Sainte-Marie							
	Circulation horizontale							
	Circulation verticale					Acces sur l'exterieur	Prévoir des escaliers de secours(escaliers secondaires) sur les deux cotés du batiments	

Figure 48 : partie gauche de la 5^e matrice de conception du groupe 5

SEMAINE 45		M²	Détails	Fortes proximités	RDC ou Etage ?	Mot-clé	Lumière	Diagramme fonctionnel		
									Entrants (programme)	
Entrants (programme)	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200			Sous-sol	Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible		
		Parking visiteur	300			RDC	Extérieur			
		Espace d'accueil	40				RDC	Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur	
		Sanitaires	40				RDC	Artificielle	Accessible de l'entrée	
		Cuisine de collectivité	50				Étage	Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur	
		Salle de prise des repas	200				Étage	Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria			Étage	Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente	
		Infirmierie	40				Étage	Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...	
		Locaux du personnel d'entretien	30				RDC	Artificielle	Accès sur l'extérieur	
		Locaux de chaufferie et techniques	120				Sous-sol	Artificielle		
	Personnel	Salle de détente	180				Étage	Lumière Sud		
		Salle de repos	120				Étage	Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation	
		Dortoir	400				Étage	Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation	
		Vestiaires	300				Étage	Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue	
		Douches et Sanitaires	100				Étage	Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness	
		Salle de fitness	200				Étage	Lumière Naturelle	En façade	
		Salle de sport	1200				Étage	Lumière Naturelle	Salle de sport pour accueillir terrain Hand	
		Piscine	900				Étage	Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin	
		Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure			RDC	Extérieur	Besoin de longueur pour dérouler les tuyaux
			Local lavage et stockage des tuyaux	350				RDC	Artificielle	proche de la cour de manoeuvre
	Ateliers d'entretien des véhicules		2x100				RDC	Artificielle	Proche de la cour de manoeuvre	
	Garages doubles accès		750	Trame 3.5			RDC	Naturelle	Accessible depuis la rue Facile de manoeuvre	
	Vestiaires feu		500				RDC	Artificielle ou Nord	Pas visible sur rue	
	Entrepôts particuliers		390				Sous-sol ou Étage	Artificielle		
	Bureau des opérationnels	Bureau du commandement	60				Étage	Lumière naturelle		
		Gestion des interventions spéciales	75				Étage	Lumière naturelle		
		Gestion de la garde	80				Étage	Lumière naturelle		
		Officier de garde	15				Étage	Lumière naturelle		
		Planton-gestion des appels d'urgences	60	Besoin de partir en interventions ? Ou reste sur place tout le temps ?			Étage	Lumière naturelle	Pas besoin de se changer, peuvent étre plus loin (ou étage) du garage Éloigné des lieux de passages	
		Dispatching- gestion des interventions	80				Étage	Lumière naturelle		
		Salle de réunion	30				Étage	Lumière naturelle		
		Sanitaires	40				Étage	Lumière naturelle		
		Espace d'accueil	30				Étage		Accessible depuis la colonne verticale	
		Sanitaires	30				Étage		Tous les niveaux	
	Services des administratifs	Salle de réunion	3x20+2x30				Étage		Peut étre dans un espace plus éloigné des façades , peu utilisé par rapport à un bureau	
		Personnel Bureaux paysager	3x40				Étage			
		Personnel Bureaux privé	4x12				Étage			
		Logistiques Bureaux paysager	3x40				Étage			
		Logistiques Bureaux privé	4x12				Étage			
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40				Étage			
		Prévention Incendie Bureaux privé	3x12				Étage			
		Bureaux des instructeurs	80				Étage			
		Bureaux gradé	40				Étage			
		Grande salle de cours	100				Étage			
		Petite salle de cours	2x50				Étage			
		Total	13640							
		Général	Volumétrie générale						Organicité	
			Parc Sainte-Marie							
	Circulation horizontale									
	Circulation verticale								Accès sur l'extérieur	

Figure 50 : partie gauche de la 6^e matrice de conception du groupe 5

Annexe 5 : Base de la matrice de conception finale

		Caractéristiques							Enjeux			
		Capacité	Surface m²	Contraintes		Concept	Mots clés	Référence(s)	Question(s)			
ENTRANTS	PROJET											
	EXTERIEURS	Enveloppe	—		PLUI	volumétrie intégrée mais reconnaissable, publicité, lanterne urbaine, verticalité		1 / 3 / 5	Importance de la volumétrie affirmée pour un cinéma ?			
		Aménagements paysagers	—		PLUI	parking perméable, masque végétal du parking, P vélos, mobilier urbain		4				
		Parking public	80 places		accessibilité handicapé	peu visible depuis la rue						
		Parking du personnel	6 places		6 places réservées	peu visible depuis la rue						
		Zone de livraison	—		accessibilité véhicules imposants	peu visible depuis la rue						
	HALL	Entrée	60 pers		sortie de secours, access. handicapé	visibilité, transparence & lien avec l'extérieur, vues		1	Une boîte opaque (réponse 100) ou la transparence ouverte (1) ?			
		Espace d'attente 1			suffisamment grand pour faire la queue avant achat des place	grandes dimensions, grande hauteur		1 / 3 / 6				
	ACCUEIL	Guichet	2 caisses		espace vente, espace d'attente	visibilité, transparence, lien avec l'extérieur, vues, matérialité intérieure chaleureuse (bois)		1 / 3 / 6				
		Confiserie	40 pers		espace vente, espace d'attente			1 / 3 / 6				
		Espace d'attente 2	100 pers		suffisamment grand pour faire la queue avant contrôle			1 / 3 / 6				
		WC public 1	8 chiottes		accessibilité handicapé, capacité d'accueil			1 / 3 / 6				
	SALLES	Salle principale	100 pers		100 places, sortie de secours, access. handicapé	spacieux, recul suffisant avec l'écran			Le volume du bâtiment : étalement horizontale (1) ou verticalité (100) ?			
		Salle secondaire	50 pers		50 places, sortie de secours, access. handicapé	spacieux, recul suffisant avec l'écran						
		WC public 2	8 chiottes		accessibilité handicapé, capacité d'accueil							
	TECHNIQUES	Local ménage	—	10 m2	accessibilité handicapé							
		Local stockage confiserie	—	11 m2	réserve nourriture et boissons							
		Local stockage matériel 1	—	12 m2	réserve stocks gobelets et autres							
		Local stockage matériel 2	—	13 m2	réserve affiches et autres							
		Local technique	—	14 m2	chaudière, compteur électrique, etc.							
		Local poubelle	—	15 m2	accès extérieur							
		Régie 1	—	16 m2	projecteur, gestion du son, etc.							
		Régie 2	—	17 m2	projecteur, gestion du son, etc.							
	ADMINISTRATION	Bureau direction	2 pers		pour 2 personnes	visibilité, transparence, lien avec l'extérieur, vues, matérialité intérieure chaleureuse (bois)		6				
		Salle de réunion	6 pers		pour 6 personnes			6				
		Salle de pause	3 pers		pour 3 personnes			6				
		Salle des coffres	—	6 m2	sécurité renforcée			6				
		Vestiaires	—	2 x 10 m2	casiers, cabine pour se changer			6				
		WC personnel	2 places		accessibilité handicapé			6				
		Espace réception livraison	—	12m²	accès extérieur			6				

Figure 52 : partie gauche de la matrice de conception servant de base pour la finale

Annexe 6 : Matrice de conception du chapitre 7

SEMAINE 45			M²	Détails	Fortes proximités	RDC ou Etage ?	Mot-clé	Lumière	Diagramme fonctionnel			
Entrants (programme)	Espace Commun	Parking véhicules privés	3200			Sous-sol		Artificielle	Entrée séparée de l'accès aux garages Circulation ne doit pas gêner les camions Accessible depuis la rue principale / Visible	Enterré		
		Parking visiteur	300			RDC		Extérieur		A l'avant du bâtiment Simple d'accès		
		Espace d'accueil	40			RDC		Lumière Nord	Accessible depuis la rue et le parking visiteur	Visible rapidement Au centre du bâtiment		
		Sanitaires	40			RDC		Artificielle	Accessible de l'entrée	Pour les visiteurs		
		Cuisine de collectivité	50			Etage		Lumière Nord	Accès livraison Peut se faire par ascenseur	Proche de la Salle de repas		
		Salle de prise des repas	200			Etage		Lumière Sud	Espace agréable visuellement Donné un point de vue sur le jardin	Avoir une terrasse Lieu agréable		
		Salle de l'amicale du personnel	30	Cafétéria			Etage		Lumière Sud	Proche des lieux communs de détente	Proche d'un lieu extérieur	
		Infirmierie	40				Etage		Lumière Nord	Au centre du Bâtiment avec accueil...		
		Locaux du personnel d'entretien	30				RDC		Artificielle	Accès sur l'extérieur		
		Locaux de chaufferie et techniques	120				Sous-sol		Artificielle		Dans le sous-sol, accès depuis le parking	
	Personnel	Salle de détente	180				Etage		Lumière Sud			
		Salle de repos	120				Etage		Lumière Sud	Isoler du bruit de circulation		
		Dortoir	400				Etage		Artificielle ?	Isoler du bruit de circulation		
		Vestiaires	300				Etage	Apaisant	Artificielle ou Nord	Espace de rangement Pas visible de la rue		
		Douches et Sanitaires	100				Etage		Artificielle ou Nord	Proche de la salle de sport, la salle de fitness		
		Salle de fitness	200				Etage		Lumière Naturelle	En façade		
		Salle de sport	1200				Etage	Dynamique	Lumière Naturelle	Salle de sport pour accueillir terrain Hand		
		Piscine	900				Etage		Extérieur	Bassin d'entraînement dans le Jardin		
		Matériel	Cour de manoeuvre	3500	Cour d'exercice extérieure			RDC		Extérieur	Besoin de longueur pour dérouler les travaux	Extérieur
			Local lavage et stockage des tuyaux	350				RDC		Artificielle	proche de la cour de manoeuvre	
	Ateliers d'entretien des véhicules		2x100				RDC		Artificielle	Proche de la cour de manoeuvre		
	Garages doubles accès		750	Trame 3.5			RDC	Rapidité	Naturelle	Accessible depuis la rue Facile de manoeuvre	Pas de véhicule l'un derrière l'autre	
	Vestiaires feu		500				RDC		Artificielle ou Nord	Pas visible sur rue	Proche du Garage	
	Entrepôts particuliers		390				Sous-sol ou Etage		Artificielle			
	Bureau des opérationnels	Bureau du commandement	80				Etage		Lumière naturelle			
		Gestion des interventions spéciales	75				Etage		Lumière naturelle			
		Gestion de la garde	80				Etage		Lumière naturelle			
		Officier de garde	15	Beaoin de partir en interventions ? Ou resto sur place tout le temps ?			Etage	Calme	Lumière naturelle	Pas besoin de se changer, peuvent étre plus loin (ou étage) du garage Eloigné des lieux de passages		
		Planton-gestion des appels d'urgences	80				Etage		Lumière naturelle			
		Dispatching- gestion des interventions	80				Etage		Lumière naturelle			
		Salle de réunion	30				Etage		Lumière naturelle			
		Sanitaires	40				Etage		Lumière naturelle			
		Espace d'accueil	30				Etage			Accessible depuis la colonne verticale		
		Sanitaires	30				Etage			Tous les niveaux		
	Services des administratifs	Salle de réunion	3x20+2x30				Etage			Peut étre dans un espace plus éloigné des façades, peu utilisé par rapport à un bureau		
		Personnel Bureaux paysager	3x40				Etage					
		Personnel Bureaux privé	4x12				Etage					
		Logistiques Bureaux paysager	3x40				Etage					
		Logistiques Bureaux privé	4x12				Etage	Rassurant		Apport maximal de la lumière naturelle		
		Prévention Incendie Bureaux paysager	5x40				Etage					
		Prévention Incendie Bureaux privé	3x12				Etage					
		Bureaux des instructeurs	80				Etage					
		Bureaux gradé	40				Etage					
		Grande salle de cours	100				Etage					
	Petite salle de cours	2x50				Etage						
Total	13640											
Général	Volumétrie générale						Organicité					
	Parc Sainte-Marie											
	Circulation horizontale											
	Circulation verticale								Acces sur l'extérieur	Prévoir des escaliers de secours(escaliers secondaires) sur les deux cotés du bâtiments		

Figure 54 : partie gauche de la matrice de conception présentée au chapitre 7

Glossaire

Acteur : individu au sein d'une activité collective ou d'un groupe de travail. Il participe au projet en étant concepteur, ou en ayant un rôle plus précis tel qu'architecte, ingénieur ou maître d'ouvrage.

Activité : processus ayant pour finalité un objectif général et qui se décompose en plusieurs étapes : les actions, elle mêmes découpées en opérations ou tâches. La conception architecturale est une activité dans laquelle collaborent plusieurs acteurs.

AEC : *Architecture, Engineering and Construction*, pour Architecture, Ingénierie et Construction.

Agile : se dit d'une méthode ou d'une pratique dont l'objectif premier est la satisfaction du client grâce à une grande réactivité, un cycle de développement itératif, incrémental et adaptatif ainsi que des valeurs prônant la communication et la coordination plutôt qu'un processus rigide.

Artefact : objet produit par un outil et qui désigne un document réel ou virtuel. Il peut s'agir de livrables architecturaux (plans, coupes, etc.) ou même d'ouvrages architecturaux.

BIM : *Building Information Model* (ou *Modeling* ou *Management*). Technologie d'échange d'informations entre les acteurs du secteur de l'AEC, basée sur la production d'un modèle numérique unique renseigné et partagé.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur. Se dit d'un logiciel permettant d'assister un ou des concepteurs dans la conception d'un modèle numérique d'un objet ou d'un projet.

CNRTL : Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales.

Collaboration : modèle de coordination dit « horizontal » où chaque acteur est placé au même niveau que les autres et visent ensemble un objectif commun grâce à la production de tâches communes.

Coopération : modèle de coordination dit « vertical » où les tâches et missions sont divisées entre les acteurs (ou équipes) et dont l'objectif est atteint lorsque chaque acteur (ou équipe) a terminé son sous-objectif.

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur. Se dit d'un logiciel qui permet d'assister un ou des acteurs dans le dessin d'un objet, de pièces mécaniques ou encore de plans.

Élicitation : acte de formaliser une idée, un concept ou une intention, et de le transmettre afin d'être compris par ses interlocuteurs.

Évaluation : acte qui consiste à juger de la pertinence des propositions apportées, interne lorsqu'elle est personnelle, externe lorsqu'elle fait intervenir d'autres acteurs.

Outil : objet physique ou numérique dont on a l'usage et qui permet l'accomplissement d'une tâche ou la production d'un artefact en mettant en relation l'acteur et l'artefact. L'outil médiatise l'artefact.

Pratique : activité individuelle ou collective dirigée vers un but conscient et qui consiste en un découpage de tâches. Nous pouvons distinguer les pratiques métiers, les pratiques BIM ou encore les pratiques agiles.

Processus : suite d'étapes permettant l'accomplissement d'un but défini.

RAD : *Rapid Application Development*. Méthode agile de développement logiciel basée sur la programmation en binôme, le rôle d'un facilitateur, un groupe d'animation et de rapport et sur la production rapide de livrables.

Raffinement : acte qui consiste à redéfinir une tâche de conception ou une intention grâce à des informations supplémentaires acquises lors d'une phase d'élicitation collective.

Scrum : Anglais pour « mêlée ». Méthode agile de développement logiciel basée sur un cadre méthodologique particulier : mise en place de « sprints » de production et de réunions quotidiennes d'avancement, ainsi que l'utilisation d'*user stories* et la production de livrables de démonstration.

Technologie : étude des outils et des techniques. Par extension, une technologie désigne le regroupement des outils, des processus et des méthodes permettant la mise en place de cette technologie.

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication. Intègrent également les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication), dont la qualification « nouvelles » est ambiguë et oblige à définir ce qui est nouveau ou pas.

User story : Anglais pour « récit utilisateur ». Pratique utilisée dans les méthodes agiles pour décrire une fonctionnalité en se positionnant à la place de l'utilisateur.

Usage : pratique métier particulière d'un acteur au sein d'une activité individuelle ou collective lorsqu'il a l'emploi d'un outil dans la production d'un artefact.

Tables des figures et des tableaux

Table des figures

Figure 1 : plan en deux parties du travail de recherche	23
Figure 2 : synthèse des principales notions de l'activité collective.....	34
Figure 3 : évolution du nombre de salariés dans les agences d'architecture..	38
Figure 4 : interprétation schématique de la conception selon Halin	47
Figure 5 : avancement des activités cognitives centrées sur la tâche selon le temps.....	51
Figure 6 : les différents niveaux de maturité du BIM inspirés de Bew & Richards	79
Figure 7 : cycle de développement en cascade	104
Figure 8 : cycle de développement en « V »	105
Figure 9 : cycle de développement itératif	105
Figure 10 : cycle de développement <i>Scrum</i>	113
Figure 11 : conception agile d'après les activités cognitives.....	123
Figure 12 : exemple d'un jeu de <i>planning poker</i>	143
Figure 13 : exemple d'une matrice décrivant un projet de centre nautique ..	162
Figure 14 : rappel d'un jeu de <i>planning poker</i>	163
Figure 15 : résultats pour un groupe : estimations personnelles, estimation négociée et temps réel.....	165
Figure 16 : estimations de tous les groupes.....	166
Figure 17 : première version du micro poker	168
Figure 18 : version 2 du micro poker.....	174

Figure 19 : extrait d'une matrice de conception pour l'exercice de projet de la caserne de pompier	176
Figure 20 : version 3 du micro poker	177
Figure 21 : extrait de la matrice de conception d'un groupe de SDC.....	179
Figure 22 : résultats du questionnaire concernant la matrice de conception	185
Figure 23 : résultats du questionnaire concernant le micro poker	185
Figure 24 : résultats du questionnaire concernant le <i>stand-up meeting</i>	186
Figure 25 : résultats du questionnaire concernant l'ensemble des pratiques agiles	187
Figure 26 : résultats du questionnaire concernant le classement des pratiques agiles	188
Figure 27 : estimations de complexité et de temps des 4 groupes	221
Figure 28 : deux sets de micro poker v3 côté recto.....	223
Figure 29 : matrice de conception du groupe 1.....	225
Figure 30 : 1 ^{ère} matrice de conception du groupe 2	226
Figure 31 : 2 ^e matrice de conception du groupe 2.....	227
Figure 32 : 3 ^e matrice de conception du groupe 2	228
Figure 33 : 1 ^{ère} matrice de conception du groupe 3.....	229
Figure 34 : 3 ^e matrice de conception du groupe 3	230
Figure 35 : 4 ^e matrice de conception du groupe 3	231
Figure 36 : 5 ^e matrice de conception du groupe 3	232
Figure 37 : 1 ^{ère} et 2 ^e matrice de conception du groupe 4	233
Figure 38 : partie gauche de la 3 ^e matrice de conception du groupe 4	234
Figure 40 : partie droite de la 3 ^e matrice de conception du groupe 4	235
Figure 40 : partie gauche de la 1 ^{ère} matrice de conception du groupe 5	236
Figure 41 : partie droite de la 1 ^{ère} matrice de conception du groupe 5	237
Figure 42 : partie gauche de la 2 ^e matrice de conception du groupe 5.....	238
Figure 44 : partie droite de la 2 ^e matrice de conception du groupe 5	239
Figure 44 : partie gauche de la 3 ^e matrice de conception du groupe 5.....	240
Figure 46 : partie droite de la 3 ^e matrice de conception du groupe 5	241
Figure 46 : partie gauche de la 4 ^e matrice de conception du groupe 5.....	242
Figure 48 : partie droite de la 4 ^e matrice de conception du groupe 5	243
Figure 48 : partie gauche de la 5 ^e matrice de conception du groupe 5.....	244

Figure 50 : partie droite de la 5 ^e matrice de conception du groupe 5.....	245
Figure 50 : partie gauche de la 6 ^e matrice de conception du groupe 5.....	246
Figure 52 : partie droite de la 6 ^e matrice de conception du groupe 5.....	247
Figure 53 : partie gauche de la matrice de conception servant de base pour la finale.....	248
Figure 54 : partie droite de la matrice de conception servant de base pour la finale.....	249
Figure 55 : partie gauche de la matrice de conception présentée au chapitre 7	250
Figure 56 : partie droite de la matrice de conception présentée au chapitre 7	251

Table des tableaux

Tableau 1 : l'approche de Zignale par rapport aux concepts de la théorie de l'activité.....	33
Tableau 2 : les formations proposées en 2018-2019 dans les 20 écoles d'architecture de France	40
Tableau 3 : synthèse de la sélection des pratiques agiles.....	137
Tableau 4 : exemple d'une matrice de Suh.....	147
Tableau 5 : calendrier des expérimentations	158
Tableau 6 : exemple d'une matrice de conception v1 en cours de remplissage	160
Tableau 7 : matrice de conception version 3.....	178

Table des matières

Résumé de la thèse	9
Remerciements	11
Sommaire	13
Introduction	17
Contexte général de la recherche.....	18
Un changement de paradigme : la transition numérique.....	18
La technologie BIM est une technologie de rupture.....	19
Une crainte de la part des architectes	19
La recherche est orientée sur les outils et non sur les pratiques	20
Problématique	20
Objectifs et plan de la recherche	21
Première partie : conception architecturale collaborative en France .	25
Chapitre 1 : Impact de la technologie BIM dans le secteur français de l'architecture	27
1.1 L'assistance à l'activité de conception	28
1.1.1 L'activité.....	29
1.1.2 La tâche	30
1.1.3 L'acteur.....	31
1.1.4 Les artefacts, les outils et l'usage	32
1.1.5 La pratique	32
1.1.6 Conclusion	33
1.2 Le contexte socio-économique français de la conception architecturale .	35

1.2.1	Généralités sur les particularités de la conception en architecture	35
1.2.2	La transition numérique	36
1.2.3	L'intégration du BIM perturbe la conception	36
1.3	Les agences en France	37
1.3.1	Des agences de petite taille	38
1.3.2	Un investissement important	38
1.4	La formation des diplômés	39
1.5	Une méconnaissance de la technologie BIM	40
1.6	Conclusion du chapitre	42
Chapitre 2 : Conception architecturale et activité collective		45
2.1	La conception architecturale	46
2.1.1	Définition de la conception	46
2.1.2	L'objet	48
2.1.3	La pensée graphique	49
2.1.4	L'analogie par itérations	49
2.2	Les activités cognitives de la conception	50
2.2.1	Les activités centrées sur la tâche	50
2.2.1.1	La structuration ou l'idéation	51
2.2.1.2	La génération	51
2.2.1.3	L'évaluation	52
2.2.2	Les activités centrées sur le processus	52
2.2.2.1	La synchronisation tempo opératoire	52
2.2.2.2	La synchronisation cognitive	53
2.2.3	Les activités centrées sur la gestion de l'interaction	55
2.2.4	Les espaces fonctionnels	56
2.3	La conception collective et les modes de coordination	56
2.3.1	La conception collective	56
2.3.2	Les modes de coordination	58
2.3.2.1	Coopération : conception distribuée	59
2.3.2.2	Collaboration : co-conception	60
2.3.2.3	Les deux s'appliquent simultanément	60
2.4	L'individu au sein d'un groupe	62
2.4.1	Les besoins, la motivation et les désirs	62
2.4.1.1	Les besoins	62

2.4.1.2	La motivation	63
2.4.1.3	Les désirs.....	65
2.4.2	Les savoirs et les connaissances	65
2.4.3	L'apprentissage	66
2.5	Conclusion du chapitre.....	67
Chapitre 3 : Technologie BIM et transition numérique		69
3.1	La technologie BIM est une Technologie de l'Information et de la Communication.....	70
3.1.1	Définition des TIC.....	70
3.1.2	Le BIM est une TIC.....	70
3.1.3	Les TIC ont des besoins d'assistance en conception	71
3.2	La transition numérique en architecture	72
3.2.1	Du dessin à la DAO	72
3.2.2	De la DAO à la CAO.....	73
3.2.3	De la CAO à la technologie BIM	74
3.2.4	La transition bouscule les pratiques des architectes.....	75
3.3	Le BIM : information et collaboration.....	75
3.3.1	Vers une définition du BIM	75
3.3.2	Les modèles numériques BIM.....	77
3.3.3	L'information unique et la collaboration	78
3.3.4	Les niveaux de maturité.....	79
3.3.5	L'interopérabilité technique et coordinatrice	81
3.4	Les tâches BIM et les activités de coordination	82
3.4.1	Les tâches de conception BIM	82
3.4.2	L'activité d'élicitation.....	84
3.4.3	L'activité de raffinement.....	85
3.4.4	L'activité d'évaluation	86
3.5	Conclusion du chapitre.....	86
Chapitre 4 : Une évolution de la gestion de projet : l'agilité		89
4.1	De l'orienté processus à l'orienté engagement	90
4.1.1	Historique des méthodes traditionnelles de gestion de la production	90
4.1.1.1	Le taylorisme, optimisation de la production	90
4.1.1.2	Le fordisme, application dans l'automobile	91

4.1.1.3	Le toyotisme, valorisation du personnel.....	92
4.1.1.4	Le <i>Lean manufacturing</i>	95
4.1.2	Les méthodes <i>Lean</i> dans le secteur de l'AEC	96
4.1.2.1	La méthode <i>Lean management</i>	96
4.1.2.2	La méthode <i>Lean construction</i>	97
4.1.2.3	La méthode <i>Last planner System</i>	98
4.1.2.4	Le <i>serious game</i> Villego	98
4.1.3	La théorie C-K.....	100
4.1.3.1	La conception axiomatique	100
4.1.3.2	Définition de la matrice de Suh.....	101
4.1.4	Conclusion.....	101
4.2	La conception en génie logiciel.....	101
4.2.1	Historique du génie logiciel	102
4.2.2	Domaines de connaissances du génie logiciel.....	103
4.2.3	Méthodes de développement	103
4.2.4	Conclusion.....	106
4.3	Une transition agile.....	106
4.3.1	Qu'est-ce que l'agilité	107
4.3.1.1	Définition de l'agilité	107
4.3.1.2	Le manifeste agile.....	107
4.3.1.3	Les concepts de l'agilité	110
4.3.2	Les méthodes agiles traditionnelles	110
4.3.2.1	<i>Rapid Application Development</i>	111
4.3.2.2	<i>Extreme programming</i>	111
4.3.2.3	<i>Scrum</i>	112
4.3.2.4	Conclusion	114
4.4	Conclusion du chapitre	115

Seconde partie : Proposition de pratiques BIM-Agiles..... 117

Chapitre 5 : L'agilité en conception architecturale 119

5.1	Verrous de l'étude et enjeux de la proposition	120
5.1.1	Bilan des verrous	120
5.1.2	Un terrain d'étude pédagogique	121
5.1.3	L'agilité vient compléter la méthode traditionnelle.....	122

5.2	Qu'est-ce qu'une pratique architecturale agile ?	123
5.2.1	Qu'est-ce qu'une pratique agile ?.....	124
5.2.2	Définition d'une pratique agile en conception architecturale	125
5.3	Méthode suivie.....	125
5.4	Conclusion du chapitre.....	126
Chapitre 6 : Identification et sélection de pratiques agiles dédiées à la		
conception BIM		129
6.1	Genèse de l'identification des pratiques agiles	130
6.1.1	Villego comme introduction aux bonnes pratiques.....	130
6.1.2	<i>Scrum</i> comme introduction aux méthodes agiles	131
6.2	Méthode de sélection des pratiques agiles et innovantes	131
6.2.1	Identification des pratiques agiles reconnues adaptables	132
6.2.2	Sélection des pratiques agiles candidates	133
6.2.2.1	La programmation en binôme	133
6.2.2.2	Le rôle de facilitateur	133
6.2.2.3	Les groupes d'animation et de rapport	134
6.2.2.4	Des livrables courts.....	134
6.2.2.5	Un cycle de développement rapide ou régulier	135
6.2.2.6	Implication du client dans la conception.....	135
6.2.2.7	Le <i>planning poker</i>	135
6.2.2.8	Les <i>user stories</i>	136
6.2.2.9	Le <i>daily meeting</i> ou <i>stand-up meeting</i>	136
6.2.2.10	La matrice de Suh	136
6.2.3	Choix des pratiques agiles candidates	137
6.3	La pratique du <i>stand-up meeting</i>	138
6.3.1	Origine du <i>stand-up meeting</i>	138
6.3.2	Déroulement du <i>stand-up meeting</i>	138
6.3.3	Objectifs du <i>stand-up meeting</i>	139
6.3.4	Avantages et limites de la pratique	140
6.3.5	Conclusion	141
6.4	La pratique du <i>planning poker</i>	142
6.4.1	Définition du <i>planning poker</i>	142
6.4.2	Déroulement du <i>planning poker</i>	143
6.4.3	Objectifs du <i>planning poker</i>	144

6.4.4	Avantages et limites du <i>planning poker</i>	145
6.4.5	Conclusion.....	146
6.5	La pratique de la matrice de Suh	147
6.5.1	Fonctionnement de la matrice de Suh	147
6.5.2	Objectifs de la matrice de Suh.....	148
6.5.3	Avantages et limites de la matrice de Suh	148
6.5.4	Conclusion.....	149
6.6	La pratique du rôle de facilitateur	150
6.6.1	Définition de la pratique du rôle de facilitateur.....	150
6.6.2	Objectifs du rôle de facilitateur.....	150
6.6.3	Avantages et limites de la pratique du rôle de facilitateur.....	151
6.6.4	Conclusion.....	152
6.7	Conclusion du chapitre	153

Chapitre 7 : Adaptation, expérimentation et validation des pratiques

agiles sélectionnés.....	155	
7.1	Présentation du protocole expérimental général	156
7.1.1	Spécificités communes des protocoles	156
7.1.2	Formes d'évaluation	157
7.1.3	Calendrier des expérimentations	158
7.2	Expérimentations préliminaires : la matrice de conception et le <i>planning poker</i>	158
7.2.1	De la matrice de Suh à la matrice conceptuelle	159
7.2.1.1	Objectifs de la matrice conceptuelle	159
7.2.1.2	Adaptation de la matrice de Suh.....	159
7.2.2	Expérimentation de la première version de la matrice de conception....	160
7.2.2.1	Objectifs de l'expérimentation	161
7.2.2.2	Protocole d'expérimentation	161
7.2.2.3	Observations	161
7.2.2.4	Évaluation.....	162
7.2.3	Expérimentation du <i>planning poker</i> classique	163
7.2.3.1	Objectifs de l'expérimentation	164
7.2.3.2	Protocole d'expérimentation	164
7.2.3.3	Observations	165

7.2.3.4	Évaluation	167
7.2.4	Le micro poker	168
7.2.5	Conclusion	170
7.3	Expérimentations croisées des pratiques agiles	171
7.3.1	Expérimentation lors du SDC	171
7.3.1.1	Présentation du SDC	171
7.3.1.2	Objectifs de l'expérimentation	171
7.3.1.3	Protocole d'expérimentation	172
7.3.1.4	Premières observations	173
7.3.1.5	Adaptation du micro poker v2	174
7.3.1.6	Secondes observations	174
7.3.1.7	Évaluation et adaptations	176
7.3.2	Expérimentation lors du séminaire CFD	179
7.3.2.1	Présentation du CFD	179
7.3.2.2	Objectifs de l'expérimentation	180
7.3.2.3	Protocole d'expérimentation	180
7.3.2.4	Observations	182
7.3.2.5	Évaluation	183
7.3.3	Résultats du questionnaire	184
7.3.3.1	La matrice de conception	184
7.3.3.2	Le micro poker	185
7.3.3.3	Le <i>stand-up meeting</i>	186
7.3.3.4	L'ensemble des pratiques agiles	186
7.4	Conclusion du chapitre	188
	Conclusion	191
	Adapter les pratiques agiles à la conception architecturale BIM	191
	Apports de l'approche	193
	Limites de l'approche	194
	Perspectives de recherche	194
	<i>Bibliographie</i>	197
	<i>Annexes</i>	215
	Annexe 1 : Synthèse des enseignements en architecture	217

Annexe 2 : Résultats de l'expérimentation du planning poker	221
Annexe 3 : Micro poker version 3.....	223
Annexe 4 : Matrices de conception des groupes SDC.....	225
Annexe 5 : Base de la matrice de conception finale	248
Annexe 6 : Matrice de conception du chapitre 7.....	250
<i>Glossaire</i>	<i>253</i>
<i>Tables des figures et des tableaux.....</i>	<i>257</i>
Table des figures.....	257
Table des tableaux.....	259
<i>Table des matières</i>	<i>261</i>

Imprimé le 21 mars 2019
à la reprographie de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

Vers une conception architecturale BIM-agile

Proposition d'un ensemble de pratiques collaboratives en vue d'une meilleure intégration de la technologie BIM

Résumé : La question de la transition numérique est primordiale en conception architecturale. L'objectif de notre recherche est de proposer des pratiques collaboratives afin de faciliter cette transition numérique. Nous nous concentrons sur des pratiques dites « agiles » permettant d'améliorer la communication et la coordination entre architectes, ingénieurs ou encore le maître d'ouvrage. Ces pratiques doivent permettre à ces acteurs d'échanger leurs intentions architecturales et de les évaluer tout en s'assurant que leurs propositions sont satisfaisantes vis-à-vis des besoins du client. Ces pratiques consistent à remplir collaborativement un cahier d'intentions, nécessitant alors confrontations d'opinions, à jouer à un jeu de cartes obligeant tous les concepteurs à prendre la parole, à réaliser des réunions courtes et quotidiennes afin d'expliquer son avancement ou encore à être un coach dont l'objectif est de faciliter la vie de ses collaborateurs.

Mots-clés : Assistance à la collaboration, Conception architecturale, Conception collaborative, Élicitation des intentions, Méthodes agiles, Pratiques agiles, Technologie BIM, Gestion de projet.

Towards a BIM-agile architectural design

Proposal of a set of collaborative practices for a better integration of BIM technology

Abstract: The question of digital transition is a key issue in architectural design. The objective of our research is to propose collaborative practices to facilitate this digital transition. We focus on so-called "agile" practices to improve communication and coordination between architects, engineers or project owner. These practices must allow these actors to exchange their architectural intentions and evaluate them while ensuring that their proposals are satisfactory concerning the client's needs. These practices consist in collaboratively filling out a book of intentions, requiring confrontations of opinions, playing a card game obliging all designers to speak out, holding short, daily meetings to explain their progress or being a coach, whose objective is to make life easier for their employees.

Keywords: Collaboration assistance, Architectural design, Collaborative design, Intent elicitation, Agile methods, Agile practices, BIM technology, Project management.