Déploiement de la théorie du Lean dans la chaîne de valeur de la construction

Zakaria Dakhli

▶ **To cite this version:**

Zakaria Dakhli. Déploiement de la théorie du Lean dans la chaîne de valeur de la construction. Génie civil. Ecole Centrale de Lille, 2016. Français. NNT : 2016ECLI0015 . tel-03510255

HAL Id: tel-03510255
https://theses.hal.science/tel-03510255

Submitted on 4 Jan 2022

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

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

N° d'ordre : 310

CENTRALE LILLE

Thèse

Présentée en vue d'obtenir le grade de

Docteur

En

Spécialité : Génie Civil

Par

Zakaria DAKHLI

DOCTORAT DELIVRE PAR CENTRALE LILLE

Titre de la thèse :

Déploiement de la théorie du Lean dans la chaîne de valeur de la construction

Soutenue le 30 Novembre 2016 devant le jury d'examen

Pr. Thomas BOCK	Université Technique de Munich (Allemagne)	Président du Jury
Dr. HDR. Agnès JULLIEN	IFSTAAR Nantes	Rapporteuse de Thèse
Pr. Essaieb HAMDI	ENIT (Tunisie)	Rapporteur de Thèse
Pr. Mohamed Al-Hussein	Université de l'Alberta (Canada)	Examinateur
Pr William O'BRIEN	Université de Texas à Austin (USA)	Examinateur
M. Marc BERNARD	Directeur de Travaux chez Rabot Dutilleul	Encadrant Entreprise
M. Antoine ROCCO	Directeur Scientifique chez Rabot Dutilleul	Invité
Pr. Zoubeir LAFHAJ	Ecole Centrale de Lille	Directeur de Thèse

Thèse préparée dans le Laboratoire de Mécanique de Lille, FRE, CNRS 3723

Ecole Doctorale SPI 072 (Lille I, Lille III, Artois, ULCO, UVHC, EC Lille)

Sommaire

Sommaire 1
Nomenclatures 9
Liste des figures 11
Liste des tables 16
Introduction générale 19
1. Histoire de la construction 20
2. Etat actuel du secteur de la construction en France 23
3. La motivation de recherche 25
4. Le contexte du projet de recherche 26
4.1. Le Groupe Rabot Dutilleul 26
4.2. Rabot Dutilleul Construction 27
4.3. Nacarat 27
4.4. Objectif du travail de recherche 27
4.4.1. La notion de client est relative 27
4.4.2. Formulation de l'objectif de recherche 29
5. Structure du manuscrit de thèse 29
Chapitre 1 31
Lean Six Sigma dans la promotion immobilière 31
1. Introduction 31
1.1. Objectif de la recherche 31
1.2. Contribution scientifique 31
1.3. Contribution pratique 32
1.4. Originalité 32
2. Recherche bibliographique 32
2.1. Développement d'un projet immobilier 32
2.2. La problématique rencontrée par les promoteurs immobiliers 33
2.3. La théorie du Lean management 33
2.4. Le Lean appliqué à la construction 35

2.5. Approche Lean Six Sigma 37
2.6. Application du Lean Six Sigma dans différents secteurs 38
2.7. Les bienfaits d'une démarche Lean Six Sigma 39
3. Contexte de la recherche 39
4. Méthodologie de recherche 39
4.1. Phase "Définir" 40
4.1.1. Enquête client 40
4.2. Phase "Mesurer" 41
4.3. Phase "Analyser" 41
4.4. Phase "Innover" 42
4.5. Phase "Contrôler" 42
5. Résultats et discussion 43
5.1. Définir - M – A – I – C 43
5.1.1. Identification du client 43
5.1.2. Voix du client 43
5.1.3. Enoncé du problème 44
5.1.4. Le parcours suivi par le client 44
5.1.5. Le but du projet LSS 45
5.2. D – Mesurer – A – I - C 46
5.2.1. Cartographie de la chaîne de valeur 46
5.2.2. Quantifier le problème 47
5.2.3. Collecte des données 48
5.2.4. Performance actuelle du processus 48
5.3. D – M – Analyser – I – C 49
5.3.1. Analyse critique d'un projet de construction typique 49
5.3.2. Potentielles causes racines 53
5.4. D – M – A – Innover – C 55
5.4.1. Évaluer les sous-traitants 55
5.4.2. Effectuer une étude du sol en phase conception 55
5.4.3. Améliorer le processus de sélection de l'entreprise de construction 56
5.4.4. Intempéries 56
5.5. D – M – A – I – Contrôler 56
6. Conclusion 58

Chapitre 2 60

Mise en évidence de la variabilité du coût tout au long de la chaîne de construction 60

1. Introduction 60

1.1. Objectif de la recherche 60

1.2. Contribution scientifique 61

1.3. Contribution pratique 61

1.4. Originalité 61

2. Recherche bibliographique 61

2.1. Project Definition Rating Index (PDRI) 61

2.1.1. Sections de l'outil PDRI 62

2.1.2. Principe de notation 62

2.1.3. Possibilité d'utilisation de l'outil PDRI 65

3. Contexte de la recherche 66

3.1. Structure standard d'une entreprise de promotion immobilière 66

3.2. Les étapes d'une opération immobilière 67

3.3. La problématique chez l'entreprise de promotion immobilière 68

4. Méthodologie de recherche 68

4.1. Collecte des données 68

4.2. Calcul indicateur 68

4.3. Types d'analyses 69

5. Résultats et discussion 70

5.1. Mise en évidence des écarts dans les projets de construction 70

5.1.1. Analyse globale 70

5.1.2. Analyse par région 71

5.1.3. Analyse par nombre de lots 72

5.1.4. Analyse par budget alloué 74

5.1.5. Analyse de la phase de commercialisation 75

5.2. PDRI pour contrôler les écarts d'une opération de construction 77

5.2.1. Analyse des points d'arrêt du cycle de vie d'un projet 77

5.2.2. Adaptation de l'outil PDRI au fonctionnement de l'entreprise de promotion immobilière 78

5.2.3. Proposition d'utilisation de l'outil PDRI 84

6. Conclusion 87
Chapitre 3 89
Effet de la démarche Lean sur la performance de la phase « Etude de Prix » 89
1. Introduction 89
1.1. Objectif de la recherche 89
1.2. Contribution scientifique 89
1.3. Contribution pratique 89
1.4. Originalité 90
2. Recherche bibliographique 90
2.1. Kaizen 90
2.2. L'appel d'offre 91
2.3. Indicateurs de performance 92
3. Contexte de la recherche 94
3.1. La question de recherche 94
3.2. Les limites de la recherche 95
4. Méthodologie de recherche 95
5. Résultats et discussion 98
5.1. Les pratiques actuelles et l'identification de la culture comme un élément clé de la mise en œuvre du Lean 98
5.1.1. Évitez d'ajouter un autre «outil» (comme une solution) aux collaborateurs 98
5.1.2. Évitez de réinventer la roue 99
5.1.3. Simplicité 99
5.1.4. Traduire la terminologie "Lean" au jargon de l'entreprise 99
5.1.5. Les employés d'abord, ensuite le client dans un premier temps 99
5.2. Evaluation des avantages de l'approche Lean 100
5.2.1. Sélection des indicateurs de performance 100
5.2.2. Temps 101
5.2.3. Impact économique 105
5.2.4. Qualité 109
5.2.5. Durabilité 111
5.3. Validité et limites de recherche 113
6. Conclusion 114

Chapitre 4 115

La logistique, un levier de performance sous-estimé en phase « Construction » _ 115

1. Introduction 115

2. Recherche bibliographique : la logistique en construction 117

2.1. Explications des notions en jeu 118

2.1.1. Flux tendu (Pull Planning) 118

2.1.2. Juste-à-temps 120

2.1.3. Kitting 120

2.1.4. Livraison en point d'usage 121

2.1.5. Fabrication hors-site 121

3. Enquête sur le niveau logistique des chantiers : la nécessité de développer des méthodes en logistiques de construction 122

3.1. Caractéristiques de l'échantillon étudié 122

3.2. Résultats de l'enquête 123

3.2.1. Fournisseurs 123

3.2.2. Transport et livraison 124

3.2.3. Stockage sur chantier 126

3.2.4. Préfabrication 127

3.2.5. Sous-traitance 128

3.3. Synthèse de l'étude de cas et implications 130

4. Etude de cas #1 : Kitting sur un chantier de réhabilitation de logements en immeuble « Schramm » 131

4.1. Description générale du projet 131

4.2. Approvisionnement Kitting sur Schramm 132

4.3. Planning du Kitting Schramm 134

4.4. Coût du Kitting 134

4.5. Analyse de l'étude de cas 135

5. Etude de cas #2 : Kitting sur un chantier de réhabilitation de maisons « Flers » 135

5.1. Description générale du projet 135

5.2. Approvisionnement Kitting sur Flers 138

5.3. Planning du Kitting 139

5.4. Intervenants du Kitting 139

5.5. Coût du Kitting 140

5.6. Analyse de l'étude de cas 140
5.6.1. Kitting n'est pas synonyme d'un centre de consolidation 140
6. Formulation de l'approche de recherche 142
6.1. Questions de recherche 142
6.2. Les limites de recherche 142
6.3. Méthodologie de recherche 143
6.4. Chantier test 1: expérience de mise en place du Kitting sur un chantier de réhabilitation d'une maison (en phase initiation et préparation) 143
6.5. Chantier test 2 : expérience de mise en place du Kitting sur un chantier de réhabilitation de 5 maisons (en phase initiation et préparation). 145
6.5.1. Particularités de l'opération 145
6.6. Chantier test 3: Expérience de mise en place du Kitting sur un chantier neuf en phase gros-œuvre (depuis la phase préparation) 147
7. Conclusion 148
Chapitre 5 149
Modèles du Kitting 149
1. Introduction 149
1.5. Modèle traditionnel d'approvisionnement sur chantier 149
1.6. Introduction du Kitting comme nouveau modèle d'approvisionnement 150
1.7. Quel service est le Kitting ? 151
2. Modèles du Kitting 153
2.1. Modèle 1: Kitting avec centre de consolidation externe 153
2.2. Modèle 2: Kitting avec Centre de Consolidation Interne 153
2.3. Modèle 3 : Kitting sans centre de consolidation 154
2.4. Modèle 4 : Kitting mixte 155
2.5. Les variantes du modèle du Kitting 155
3. Centre de consolidation 158
3.1. L'intérêt pour un centre de consolidation 158
3.2. Défis d'adoption d'un centre de consolidation 161
4. Lien entre le Kitting et la théorie du Lean 162
4.1. Le système de livraison « Lean » le long de la chaîne de construction 162
4.2. La théorie « TFV » par Koskela comme philosophie du Lean Construction 163
4.3. Les principes « Lean » liés au Kitting 164
5. Phases d'implémentation du Kitting 165

6. Conclusion 166
Chapitre 6 168
Expérimentations: Phase « préparation » Kitting 168
1. Introduction 168
2. Chantier test #1 : Synergie entre le Kitting et le BIM 168
2.1. Schématisation générale de la planification des Kits grâce au BIM 168
2.1.1. Nomenclatures 169
2.1.2. Dynamo 171
2.1.3. DB Link 171
2.2. Description du projet 174
2.2.1. Type de projet 174
2.2.2. Surfaces 174
2.2.3. Matériaux de construction 175
2.3. Planning des travaux 175
2.4. Tâches programmées en Kitting 176
2.5. Planning GANTT de livraisons des Kits via la maquette BIM 181
2.6. Analyse et discussion 182
2.6.1. Comparaison entre planning manuel et planning basé sur le BIM 182
2.6.2. Synthèse 183
2.7. Conclusion et Perspectives 183
2.7.1. Réception des Kits par la maquette BIM 183
2.7.2. Modélisation 4D des Kits dans la maquette BIM 185
2.7.3. Conclusion 186
3. Chantier test#2 : investigation des phases « initiation » et « préparation » du Kitting 186
3.1. Phase « Alignement » 187
3.1.1. Rétro planning initial 187
3.1.2. Implication rapide du logisticien 188
3.2. Phase « préparation » 188
3.2.1. Identification des produits pour le Kitting 188
3.2.2. Planning Kitting 191
3.3. Considération pour la mise en place du Kitting 191
3.3.2. Partie SAV et définition des responsabilités 191

3.3.3. Analyse transversale du Kitting 194
4. Chantier test#3 : Kitting sur du neuf 194
4.1. Phase « Alignement » 194
4.2. Phase « préparation » 194
4.2.1. Zone de stockage 194
4.2.2. Identification des lots et des produits en Kitting 196
4.3. Phase « fabrication » 201
4.3.1. Planning d'approvisionnement 201
4.4. Analyse des coûts 203
5. Synthèse et analyse globale du Kitting 205
5.1. Phases du Kitting 205
5.2. Sous-traitance et part propre 206
5.3. Fournisseurs 207
5.4. Planning Kitting 207
5.5. Choix des produits et lots en Kitting 207
5.6. Les effets secondaires du Kitting 208
5.7. Rentabilité du Kitting 208
6. Conclusion 208
Conclusion générale 210
Bibliographie 215
Annexe 1: Schéma de l'outil PDRI 229
Annexe 2: Planning chantier test#2 231

Nomenclatures

BE : Bureau d'Etude

BIM : Building Image Modeling

C/A/R : Conception/ Appel d'offre / Réalisation

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

CES : Corps d'Etats Secondaires

C/R : Conception / Réalisation

CII: Construction Industry Institute

DCE : Dossier de Consultation des Entreprises

EDP : Etudes de Prix

ETO: Engineer-to-order

GFA : Garantie Financière Achèvement

IDF : Ile-de-France

JIT : Just-In-Time (juste-à-temps)

LSS : Lean Six Sigma

MO: Maître d'œuvre

MTO: Make-to-order

MTS: Make-to-stock

PIC: Plan d'Installation du Chantier

PPC : Percent Plan Complete (Pourcentage des tâches accomplies)

PPP: Partenariats Public-Privé PPP

RDC : Rabot Dutilleul Construction

SMO : Système de Management de l'Opération

TPS : Toyota Production System

TS : Travaux Supplémentaires

VRD : Voirie et Réseaux Divers

VSM : Value Stream Mapping (Cartographie de la chaîne de valeur)

WIP : Work-In-Progress (Travail-en-cours)

Liste des figures

Figure 1. Modèle de l'industrialisation dite close (Jan Delrue et al. (1974)) 21

Figure 2. Index coût de construction en France (base =1953-T4)..... 24

Figure 3. Projets résidentiels et non résidentiels réalisés en France. Adapté de (INSEE 2015)..... 25

Figure 4. Entreprises du groupe Rabot Dutilleul..... 26

Figure 5. Chaîne de construction simplifiée du point de vue d'un promoteur immobilier 28

Figure 6. Les étapes de la phase "Définir". 40

Figure 7. Etapes de la phase "Mesurer". 41

Figure 8. Etapes de la phase "Analyser". 42

Figure 9. Etapes DMAIC. 42

Figure 10. Sources d'insatisfaction des clients. 43

Figure 11. Le parcours suivi par le client ; depuis « prospect » à « acheteur ». 45

Figure 12. Charte du projet LSS. 46

Figure 13. La chaîne de valeur du processus de livraison de l'appartement en incluant les parties prenantes. 46

Figure 14. Chaîne de valeur globale de l'entreprise de promotion immobilière 47

Figure 15. Retards de livraison de 16 projets. 49

Figure 16. Dates d'achèvements prévues et réelles des différentes phases de construction : P04. 50

Figure 17. Dates de fin travaux prévues et réelle des phases de construction P04. 51

Figure 18. Avancement du projet de la phase « Travaux de structure » prévu et réel. 53

Figure 19. Diagramme « causes et effets » liés aux causes potentielles des retards de livraison. 54

Figure 20. Diagramme de Pareto des causes racines des retards de livraison. 54

Figure 21. Les 3 sections constitutives de l'outil PDRI..... 62

Figure 22. Structure fonctionnelle standard d'une entreprise de promotion immobilière..... 66

Figure 23. Déclinaison du service commercial d'une entreprise de promotion immobilière..... 67

Figure 24. Pourcentage évolution budget global en fonction du nombre des lots des projets..... 74

Figure 25. Pourcentage évolution budget global en fonction du coût du projet 75

Figure 26. Commercialisation Interne à Externe pour 31 projets..... 77

Figure 27. Evolution du score PDRI maximum cumulé au cours d'un projet (SMO)..... 82

Figure 28. Evolution du score PDRI maximum cumulé au cours d'un projet (SMO)..... 83

Figure 29. Implémentation Lean: changement d'attitude..... 100

Figure 30. Intégration de la durabilité dans le triangle de gestion de projet (Grevelman & Kluiwstra 2010) 100

Figure 31. Processus de soumission de l'appel d'offre : entrée et sorties. .. 101

Figure 32. a) Dessin de la cartographie du processus d'appel d'offre futur b) la modélisation du processus futur 103

Figure 33. Exemple d'identification de tâches pour le chargé d'équipe 104

Figure 34. Délais de soumission de l'offre de 45 projets après 6 mois d'implémentation du Lean en fonction de 3 types d'opérations. 105

Figure 35. Variance entre la valeur réelle et prévue du coût de l'appel d'offres après 6 mois de mise en œuvre d'EVM dans le cadre de la démarche Lean 106

Figure 36. Homme/ opération après 6 mois d'implémentation de la démarche Lean 107

Figure 37. Réduction du coût des opérations en utilisant des «séances de brainstorming» pour générer des variantes pour le client 108

Figure 38. Processus "Réunion de bouclage technique/commercial" 110

Figure 39. Variabilité du coût de l'opération avant/après la réunion de bouclage technique suivant le type d'opération. 111

Figure 40. Intégration de l'estimation rapide dans le processus futur de l'appel d'offres 112

Figure 41. Extrait du contrat signé par l'entreprise. Article 5.1 : délais d'exécution 116

Figure 42. Différentes formes de flux dans un projet de construction 118

Figure 43. Stratégies de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction [adapté de : (Hoekstra & Romme 1992)] 119

Figure 44. Schéma simplifié de la pratique du Kitting 121

Figure 45. Caractéristiques de l'échantillon étudié 122

Figure 46. Questions liées à la gestion des fournisseurs. 123

Figure 47. Questions liées au transport et à la livraison 125

Figure 48. Questions liées à l'inventaire sur site 126

Figure 49. Questions liées à la préfabrication 127

Figure 50. Questions liées à la pratique de la sous-traitance 129

Figure 51. Questions liées à la coordination des sous-traitants 130

Figure 52. Images du projet "Schram" 132

Figure 53. Schéma de fonctionnement Kitting pour le chantier "Schramm" 133

Figure 54. Séquencement de la démarche Kitting sur Schramm 134

Figure 55.dessin d'une maison typique du projet « Flers » 136

Figure 56. Approvisionnement Kitting dans le projet Flers 138

Figure 57. La maison à réhabiliter du chantier test 3 en appliquant du Kitting 144

Figure 58. Photo de la courée de la « cité des Postes ». 145

Figure 59. Vue aérienne des courées et du plan de masse. 146

Figure 60. Plan de masse du chantier test 1 147

Figure 61. Modèle traditionnel de livraison des produits sur chantier 150

Figure 62. La congestion et la population en plein centre de Londres (photo prise le 16 Fév. 2016) 151

Figure 63. Matrice Produit-Marché 152

Figure 64. Modèle Kitting avec un Centre de Consolidation Externe 153

Figure 65. Modèle Kitting avec un Centre de Consolidation Interne 154

Figure 66. Modèle Kitting sans Centre de Consolidation 154

Figure 67. Modèle Kitting mixte : cas du Kitting avec CCE et le Kitting direct depuis le fournisseur. 155

Figure 68. Niveaux de la chaîne logistique (Le Moigne 2013) 157

Figure 69. Modèle et variantes du Kitting : données d'entrées pour prise de décision 158

Figure 70. Centre de consolidation appointé pour l'expérimentation test 3: "Saint Nicolas" 159

Figure 71. Le fonctionnement classique d'un centre de consolidation [adapté de : (Vaha et al. 2004)] 160

Figure 72. Système Lean en construction (Ballard 2008) 162

Figure 73. Principes "TFV" du Lean Construction: exemple de la production d'une brique cuite 164

Figure 74. Niveau de fragilité du système Kitting en fonction du niveau de livraison JIT: courbe théorique. 165

Figure 75. Phases d'implémentation d'une opération en Kitting 166

Figure 76. Principe de la planification des Kits grâce au BIM 169

Figure 77. Nomenclatures dans l'arborescence du projet 170

Figure 78. Nomenclature des fenêtres 170

Figure 79. Plug in Dynamo de Revit 171

Figure 80. Programme Dynamo pour la prise de quantité des fenêtres 171

Figure 81. Plug in DB Link de Revit 172

Figure 82. La fenêtre plug in DB Link de Revit 172

Figure 83. Export des informations de la maquette BIM vers une base de données Access via le plug in DB Link 173

Figure 84. Détails des informations sur les portes du projet dans la base de données créée par DB Link 173

Figure 85. Diagramme GANTT des tâches programmées en Kitting 181

Figure 86. Proposition de réception des Kits par le BIM 184

Figure 87. Schéma de réalisation et de modification de planning d'approvisionnement avec une modélisation BIM en 4D 185

Figure 88. Planning global du Kitting pour le chantier test#2 187

Figure 89. Planning initial des travaux du chantier test#2: gros-œuvre et corps d'états secondaire 188

Figure 90. Matrice Risque – Occurrence des CES suivant le SAV..... 193

Figure 91. Plan d'installation chantier test #3 en phase CES..... 196

Figure 92. Planning GANTT CES du R+3 du bâtiment B..... 201

Figure 93. Date de livraison des Kits au centre de consolidation et sur chantier..... 203

Figure 94. Variation du profit en fonction du nombre de lots assujettis au Kitting..... 204

Figure 95. Ratio du profit pour Kitting bâtiment A, B et bâtiment A,B,C en fonction du nmbre des lots..... 205

Figure 96. Matrice Risque/gain pour le choix des sous-traitants..... 206

Liste des tables

Tableau 1. Différences fondamentales entre l'industrie manufacturière et la construction. Adapté de (O'Brien et al. 2008) 22

Tableau 2. Gaspillages dans l'industrie manufacturières et la construction. 34

Tableau 3. Principes du Lean Construction selon différents auteurs (adapté de: (Marhani et al. 2012)). 36

Tableau 4. Analyse de la "Voix du client" 44

Tableau 5. Retour des clients sur les délais de livraison. 48

Tableau 6. Principales étapes de la phase « Corps d'états secondaires » dates début fin/ prévues, réelles. 52

Tableau 7. Indicateurs de performance sélectionnés pour la phase "Contrôler". 58

Tableau 8. Pondérations des indicateurs du PDRI *(issu de l'outil PDRI)* 63

Tableau 9. Statistiques du CII sur le PDRI 64

Tableau 10. Score des différentes sections et catégories du PDRI 64

Tableau 11. Catégories du coût global de la construction et indicateurs respectifs. 69

Tableau 12. Bilan global des indicateurs avec une évolution supérieur à 1% 70

Tableau 13. Bilan des indicateurs de la région IDF avec une évolution supérieur à 1% 71

Tableau 14. Bilan des indicateurs de la région de Lille avec une évolution supérieur à 1% 71

Tableau 15. Bilan des indicateurs de la région OSE avec une évolution supérieure à 1% 72

Tableau 16. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 0-32 lots 72

Tableau 17. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 33-51 lots 73

Tableau 18. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 52+ lots 73

Tableau 19. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 3 à 7M€ 74

Tableau 20. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 7.5 à 13M€ 74

Tableau 21. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 13.5 à 32M€ 75

Tableau 22. Comparaison des indicateurs "Commercialisation interne et externe" pour 16 projets de la région IDF 76

Tableau 23. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section I 79

Tableau 24. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section II 79

Tableau 25. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section III 80

Tableau 26. Nombre d'indicateurs du PDRI par point d'arrêt 81

Tableau 27. Score du PDRI maximum par point d'arrêt 81

Tableau 28. Top 10 des éléments critiques d'un projet de construction suivant les pondérations du PDRI 85

Tableau 29. Indicateurs pertinents du point de vue des responsables Nacarat 86

Tableau 30. Etapes d'implémentation de la démarche Lean dans l'étude de prix. 97

Tableau 31. Les indicateurs de performance choisis pour suivre la mise en œuvre Lean 101

Tableau 32. Idées et actions développées durant le Kaizen et après 6 mois 109

Tableau 33. Effet d'une bonne logistique sur le revenu 115

Tableau 34. Ensemble des travaux réalisés au chantier Flers 137

Tableau 35. Ecoles de pensées du Lean Construction : TFV 164

Tableau 36. Pièces de la maison et leur surface 174

Tableau 37. Répartition des tâches du planning par date de début et de fin et par durée de travaux 175

Tableau 38. Contenu des Kits et dates de livraisons 180

Tableau 39. Comparaison entre un processus de planning sans BIM et avec BIM 182

Tableau 40. Interface de réception des Kits sur Access 184

Tableau 41. Typologie des produits pour le chantier test #2 188

Tableau 42. Extrait des détails des produits en Kitting pour le chantier test#2 189

Tableau 43. Lots et produits correspondants: Kitting et Sans Kitting 189

Tableau 44. Liste complète des produits en Kitting 197

Tableau 45. Planning avec dates CES du R+3 du bâtiment B 202

Tableau 46. Extrait détails des quantités par logement et affectation Kit 1 et 2 pour le lot plomberie 202

Remerciement

J'ai commencé le doctorat il y a 3 ans. Je ne vais pas exagérer si je dis que c'est une expérience qui m'a littéralement changé la vie. J'ai eu l'opportunité de connaître des personnes incroyables. Je fais référence aux collègues du service Etude de prix ou j'ai entamé les premiers mois de mon doctorat, au service méthode avec Hervé (plus qu'un collègue, c'est un ami), Lucie Alex et Alix et aussi le service fluide qui m'a accueilli à bras ouvert tout au long de mes travaux de recherche. Je cite Rémy, Ricardo, Vincent, Alexi, Frédéric, Nicolas, je cite aussi Julien BARCET. Je tiens également à remercier tout le service travaux pour leurs conseils, apports et temps considérable: Damien, Julien, William, Antoine qui m'ont aidé lors de l'expérience Kitting. Je remercie également l'équipe Nacarat, Pierre CRAYE qui sans lui cette thèse n'aurait pas eu lieu. Antoine BOS qui m'a accueilli tout au long des travaux réalisés. Je tiens également à remercier toutes les autres personnes que je n'ai pas citées du groupe Rabot Dutilleul.

Je voudrais également m'attarder pour remercier l'équipe du laboratoire de Recherche. C'est bien plus qu'une équipe, c'est une famille. On a passé des moments inoubliables, plein de travail. J'ai vraiment connu la signification du mot "travailler" avec l'équipe du laboratoire. Je remercie l'équipe du laboratoire en nom de Khaled CHAFFAR qui était un des piliers de l'équipe, Amal MISSAOUI pour sa bonne humeur et ses plats aussi. Je tiens à remercier Marwa, Nissrine, Tadesse, Imane KRIMI, Emna ATTOURI et je tiens à remercier spécifiquement Le Dr. Fayçal ELF GAIER qui a tant donné pour l'équipe.

Je voudrais également remercier l'ensemble de l'administration de l'Ecole Central de Lille pour avoir contribué à la réussite et à l'aboutissement de cette thèse, Monique BUKOSWSKI, Brigitte, Djamila, Virginie CAIGNY aussi.

Les mots les plus simples étant les plus forts, j'adresse toute mon affection à ma famille qui m'a encouragé tout au long de mon parcours. Je tiens à remercier du fond du cœur ma sœur Sanaa et Ouadi, mon frère Anas et Meryem, et surtout mon frère Jumeau Yahya qui m'a conseillé et aidé pratiquement et moralement. Mes parents : malgré mon éloignement depuis de nombreuses années, leur intelligence, leur confiance, leur tendresse, leur amour me portent et me guident tous les jours. Merci pour avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Je vais finir par remercier mes encadrants, Marc Bernard tout d'abord pour le suivi conseil et son souhait volonté pour que je m'améliore et pour que je donne le meilleur de moi. Et Pour finir, toute ma gratitude qui va durer à vie au Professeur Zoubeir LAFHAJ, pour plusieurs raisons. Tout d'abord pour avoir cru en moi. Ma gratitude parce qu'il m'a considéré et mis dans une famille. Gratitude aussi parce que j'ai pu découvrir ma vraie voie et ce que je veux faire. Et enfin pour son fort engagement envers ses doctorants et surtout pour moi pour que je puisse réussir. J'espère être à la hauteur de sa fierté inconditionnelle.

Enfin, je tiens aussi à remercier Sophie, Imane et Yasmine qui ont une place de choix dans mon cœur.

Introduction générale

1. Histoire de la construction

De tout temps, les industries modifient leurs modèles économiques. Elles se convertissent en des formes plus performantes, dynamiques, et plus productives et la construction n'échappe pas à ce principe. En effet, elle a connu plusieurs étapes déterminantes au cours de l'Histoire. Au fil du temps, ce secteur a commencé à s'organiser, notamment en Mésopotamie antique, environ 1750 av. J.-C, avec l'élaboration d'une règlementation de la construction, sous le nom du « code Hammurabi » (André-Salvini 2008). L'empire romain (753 av. J-C – 476), grâce à son excellence technique, l'utilisation massive du béton et des briques et l'introduction des machines, a également contribué au développement du métier de la construction (Ampère 1862).

Un autre évènement majeur est la révolution industrielle, qui a débuté en Grande-Bretagne à la fin du XVIII siècle et a ensuite gagné la France au début du XIX siècle. La standardisation de la production et le travail à la chaîne constituent les piliers de cette ère. Les premiers jalons de la standardisation sont posés par la production industrielle en continu. Des accessoires, des éléments de décoration, de colonnes et de poutrelles sont fabriqués en fonte. La conception d'un bâtiment passe par la connaissance du catalogue des fonderies (Linters et al. 1986). Puis, vient la période de l'après-guerre durant laquelle la construction a considérablement progressé en volume, surtout en Europe, du fait des destructions engendrées par la seconde guerre mondiale (Anon n.d.). C'est face à la nécessité de reconstruire les cités dévastées que l'industrialisation[1] va entrer en force dans le bâtiment (Simonetti 1977).

Des tentatives d'industrialisation de la construction ont été menées après la seconde guerre mondiale. La nécessité de construire des logements et des infrastructures a permis de mener une réflexion sérieuse sur l'amélioration des

[1] Dans ce contexte précis, l'industrialisation a plus le sens d'automatisation dans un but de production de masse. Cependant, le concept d'industrialisation s'est développé au fil du temps. En 2000, Foster (Foster 2000) définit l'industrialisation comme un processus organisationnel basé sur la continuité de la production grâce à un flux constant de la demande, la normalisation, l'intégration de tous les différents étapes de production, un haut degré d'organisation du travail, la mécanisation en remplaçant le travail humain dans la mesure du possible et la recherche et l'expérimentation organisée intégrée à la production.
Selon le CIB (www.cibworld.nl), l'industrialisation implique la rationalisation de l'ensemble du processus de la construction (incluant la conception, les formes et les méthodes de construction adoptées) de sorte que les travaux de construction soient réalisés le plus rapidement possible, avec moins de travail sur le site et à moindre coût.

procédés de construction. Cependant, l'industrialisation a été confondue avec la préfabrication et la standardisation. Au fond, la préfabrication du bâti, parce qu'elle est sérielle et identique, parce qu'elle normalise et nivelle la production, rend le citadin médiocre, moyen, reproductible comme un lapin (Resendiz-Vazquez 2010). En 1963-1964 en France (McCutcheon 1992), les médias et la sphère universitaire ont grandement critiqué cette approche rigide de l'industrialisation. C'est ce qu'on appelle la préfabrication close qui peut être schématisée comme suit (Delrue 1976).

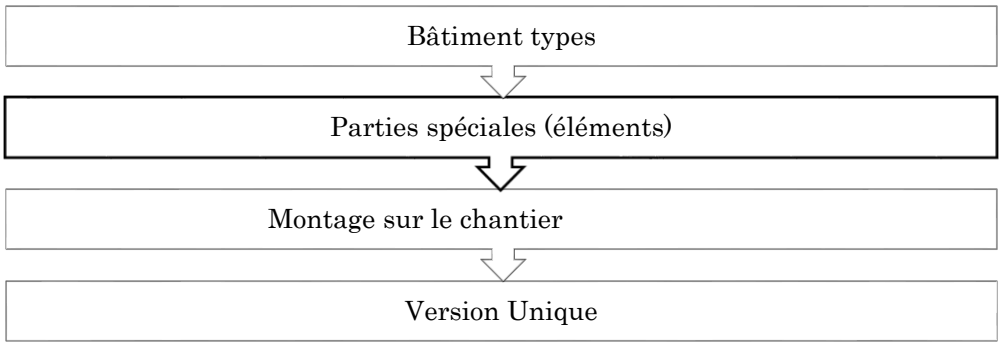


Figure 1. Modèle de l'industrialisation dite close (Jan Delrue et al. (1974))

L'industrialisation close consiste en la production d'éléments ou blocs de bâtiments (pièce entière, cuisine, etc.). Ce qui diminue considérablement la flexibilité de la construction. Ce concept n'a pas pu tenir longtemps puisqu'une nouvelle réflexion a été menée pour aboutir à l'industrialisation dite 'ouverte' (Delrue 1976; Simonetti 1977). En effet, le changement réside en la focalisation sur de petits éléments (des composants comme les fenêtres, les portes…) et non des parties entières du bâtiment.

C'est vrai que la préfabrication peut être considérée comme un élément majeur dans l'amélioration des procédés de construction. Cependant, l'industrialisation doit être regardée à bien des égards comme une sorte de révolution dans la manière de construire, dans les matériaux utilisés, dans les procédés mis en œuvre, dans les formes nouvelles engendrées, dans les rythmes et les échelles (Simonetti 1977). Azambuja M. et O'Brien W. (O'Brien et al. 2008, chap.1) ont souligné les différences existantes entre l'industrie manufacturière et la construction (Tableau 1). L'écart existant se traduit par des caractéristiques différentes : l'industrie manufacturière repose sur une production de masse, une variabilité de l'offre réduite, une amélioration continue et l'intégration d'une logistique efficiente tandis que la construction est limitée en production (quelques projets par an), et fortement fragmentée (Fulford & Standing 2014) : plusieurs acteurs travaillent sur le même projet ce qui rend la gestion et la définition précises des processus plus subtiles.

L'amélioration de la performance n'a jamais été la principale préoccupation du secteur de la construction[2], probablement parce qu'il n'existait, encore récemment, aucun modèle (philosophie, méthode, outils) permettant de prendre en compte toutes les composantes de l'acte de bâtir, en tant que processus complexe, étendu autant spatialement que temporellement (Dupin 2014).

Tableau 1. Différences fondamentales entre l'industrie manufacturière et la construction. Adapté de (O'Brien et al. 2008)

Caractéristiques	Chaîne de production	Chaîne de construction
Structure	Fortement consolidée Grandes barrières à l'entrée Locaux fixes Forte interdépendance Marché global	Fortement fragmentée Faibles barrières à l'entrée Locaux transitoires Faible interdépendance Marché local
Flux d'information	Fortement intégré Partagé Rapide Outils de gestion de la chaîne de production totalement intégré.	Flux d'information recréé plusieurs fois entre les parties prenantes. Manque de partage entre les entreprises. Lent. Absence des technologies de l'information pour supporter la chaîne de construction (pas de données en temps réels et une intégration du flux du travail).
Collaboration	Relations à long terme Bénéfices partagés,	Pratiques contradictoires.
La demande	Très instable (saisonnalité, la concurrence, l'innovation, etc.)	Moins instable (la quantité de matériaux est connue à l'avance un peu).
Variabilité de la production	Environnement automatisé (machines, robots); standardisation, chaînes de production bien définies, faible variabilité.	Environnement ouvert (contraintes extérieures), outils, manque de standardisation et de tolérance en management, disponibilité de l'espace, complexité de l'échange de flux, une grande variabilité.

[2] Le CII (Construction Industry Institue) a mené une étude pour extraire les raisons de la faible productivité du secteur de la construction aux Etats-Unis:

- 10% du coût global d'un projet sont dépensés pour refaire ce qui a déjà été fait, en phase conception et exécution
- Entre 25 et 50% des coûts de construction correspondent à du gaspillage et à de l'inefficacité dans l'emploi des ressources humaines et matérielles.
- Des pertes colossales sont engendrées par une communication inefficace au moment du passage entre la phase de conception et la phase d'exécution. Ces erreurs, manquements et oublis représentent une perte de productivité entre 17 milliards et 36 milliards de dollars chaque année. Ce problème est dû aux difficultés de communication entre les parties prenantes (silos) et de compatibilité entre les programmes informatiques utilisés par chacune d'entre elles.

Temps/ zones tampons	Existence de modèles d'inventaire (EOQ, inventaire de sécurité, etc.)	Modèles non existants. Stock sur site pour réduire les risques. Utilisation des flotteurs (Ordonnancement).
Planification	Planification globale. Modèles d'optimisation.	Planification indépendante. Beaucoup d'hypothèses. Approche réactive (réagir à des situations inattendues…).

2. Etat actuel du secteur de la construction en France

Alors que la France est connue pour sa performance industrielle grâce au développement effectué courant la première et la seconde révolution industrielle, une prouesse moins connu est également réalisée au cours de la même période de temps. Par exemple, le béton armé a été introduit à la fin du 20ème siècle par François Hennebique (1841-1921). Il s'agit là une percée technique. Bien que le béton présente une excellente résistance à la compression, il manquait de la résistance à la traction. Cette dernière est essentielle pour beaucoup de structure comme les planchers et les poutres qui sont plus susceptibles d'être soumis à la flexion générée par la contrainte appliquée. Le béton armé permet de résoudre le problème grâce aux barres d'aciers incorporés qui sont responsables de la prise des efforts de traction. Au cours de cette période, l'administration française a été régie par des règles strictes. En outre, l'administration n'a pas été séduite par l'introduction de ce nouveau matériau (béton armé) et manquait de compréhension claire de ce qu'il pouvait apporter à ses édifices. En 1892, François Hennebique a breveté les premières poutres avec étriers.

Une autre réalisation concerne l'invention du béton précontraint par Eugène Freyssinet (1928) qui a vu une amélioration clé dans l'utilisation du mélange Acier-Béton. Il a estimé que le béton armé pourrait encore être améliorée en le soumettant à une tension au cours de sa fabrication. Le béton est soumis à une contrainte de compression permanente préalable. Une fois en service, le béton va s'opposer plus efficacement à la contrainte de traction appliquée à la structure. De nombreuses applications utilisent maintenant le béton préfabriqué, en particulier dans la construction de ponts.

Actuellement, le secteur de la construction en France génère plus de 201 milliards d'euros en 2013 (source: FFB et FNTP). En 2013, 67% du chiffre d'affaires est réalisé dans le secteur du bâtiment, 33% dans le génie civil.

Considéré comme l'un des secteurs de leader en France en termes de reconnaissance dans le monde entier (de nombreuses entreprises de construction

parmi les tops 10 du classement mondial), la construction a la plus faible productivité parmi toutes les industries existantes. Des études britanniques ont indiqué que jusqu'à 30% de la construction est refaite, seulement 40-60% de l'efficacité du travail potentiel, les accidents peuvent représenter 3-6% des coûts totaux, et au moins 10% des matériaux sont gaspillées. Le coût de la reprise (retravail) des projets de construction australiens a été rapporté comme étant jusqu'à 35% des coûts totaux du projet et contribue jusqu'à 50% des coûts de dépassement totaux d'un projet (Aziz & Hafez 2013).

- Une activité en baisse en raison de la crise économique 2008 (Figure 3).
- Le coût est en augmentation (Le manque de main-d'œuvre qualifiée).

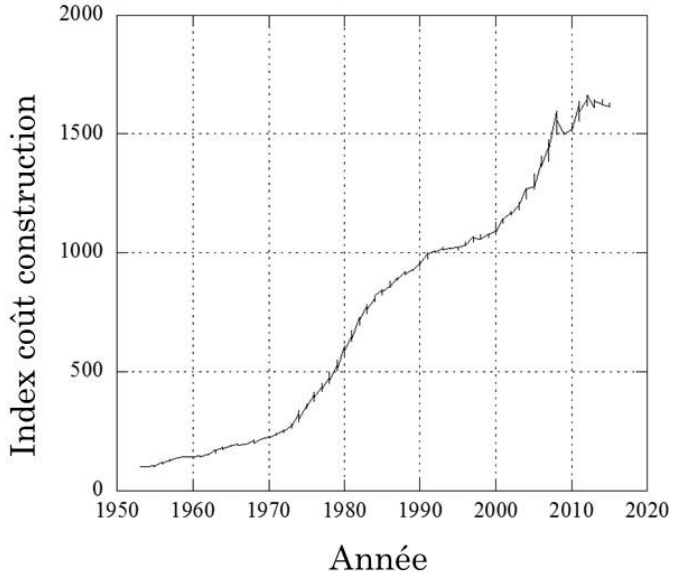


Figure 2. Index coût de construction en France (base =1953-T4)

Le besoin d'innovation dans la méthode de construire est nécessaire pour rester compétitif mais aussi pour répondre aux besoins de la clientèle toujours plus exigeante.

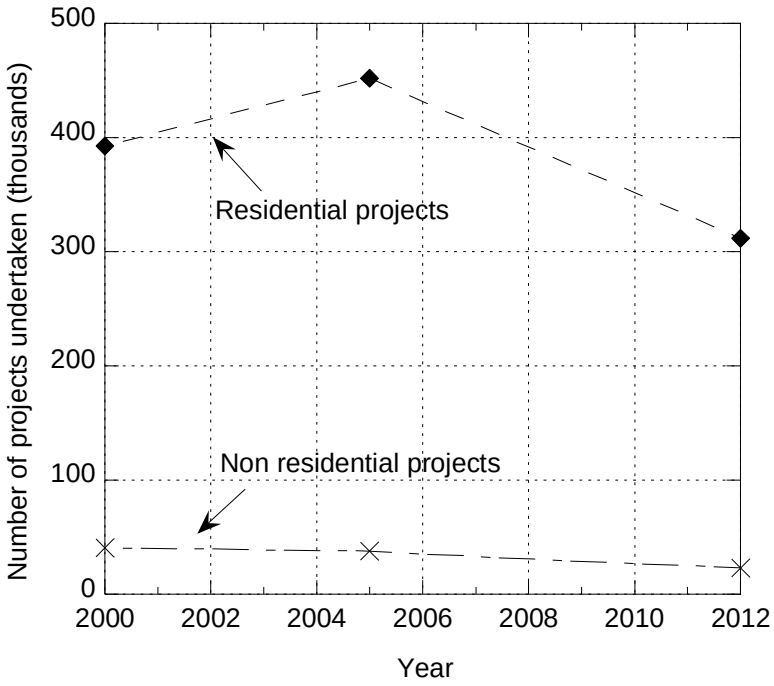


Figure 3. Projets résidentiels et non résidentiels réalisés en France. Adapté de (INSEE 2015)

3. La motivation de recherche

Le monde économique ne cesse de s'améliorer jour après jour. La concurrence est rude ; ceci amène la plupart des acteurs de construction à innover et à repenser leur façon de procéder surtout avec l'avènement des nouvelles obligations énergétiques, environnementales et socio-économiques[3]. En effet, le secteur du bâtiment est soumis à de fortes contraintes qui laissent paraître un paradoxe. Les réglementations et les lois imposées à ce secteur insistent sur la réduction de l'empreinte environnementale et la diminution de la consommation énergétique. Ceci requiert l'application des techniques et solutions innovantes (Slaughter 2000; Summerfield & Lowe 2012). En conséquence, les coûts de la construction augmentent. D'autre part, la crise économique impose implicitement aux entreprises de réduire leurs budgets des projets.

Dans son livre, (LePatner 2007) explique que 49,6% du travail sur site est une activité sans valeur ajoutée. Les causes sous-jacentes sont nombreuses, par exemple: les erreurs humaines, les gaspillages lors de la construction, des retards

[3] Les activités de l'ADEME dans le secteur du bâtiment, qu'il s'agisse d'efficacité énergétique, de lutte contre le bruit, d'urbanisme et plus généralement des aspects environnement et santé, s'inscrivent dans un contexte réglementaire et normatif marqué par de nombreux textes récents aux niveaux Européen et National.

- Directive Européenne sur la Performance énergétique des Bâtiments
- Directive Chaudières
- Directive Etiquetage
- Plan Climat 2004

dans la prise de décisions et de la formulation d'instructions, le manque de communication, le manque de planification, intempéries, le manque de main-d'œuvre qualifiée et l'utilisation abusive des équipements ou matériaux (Memon et al. 2011; Baloyi & Bekker 2011).

Tous ces défis ont amené la communauté scientifique et les praticiens à envisager de nouvelles approches pour améliorer le secteur de la construction. Cela a donné lieu à de nouveaux concepts tels que le Lean Construction.

4. Le contexte du projet de recherche

4.1. Le Groupe Rabot Dutilleul

Le partenaire de ce projet de recherche est le groupe Rabot Dutilleul qui compte aujourd'hui parmi les 10 premiers acteurs français du BTP (Figure 4). Rabot Dutilleul est un groupe familial de Promotion-Construction indépendant et international. Fondé en 1920 dans la métropole lilloise, il a développé des compétences dans des métiers complémentaires liés au monde de la construction, acquérant ainsi une maîtrise de la chaîne de l'immobilier. Le groupe est présent en France, Belgique et Pologne avec un chiffre d'affaire de 792 M€ en 2015 avec 1829 collaborateurs. La part d'activité « logement » dans le chiffre d'affaires est de 54%.

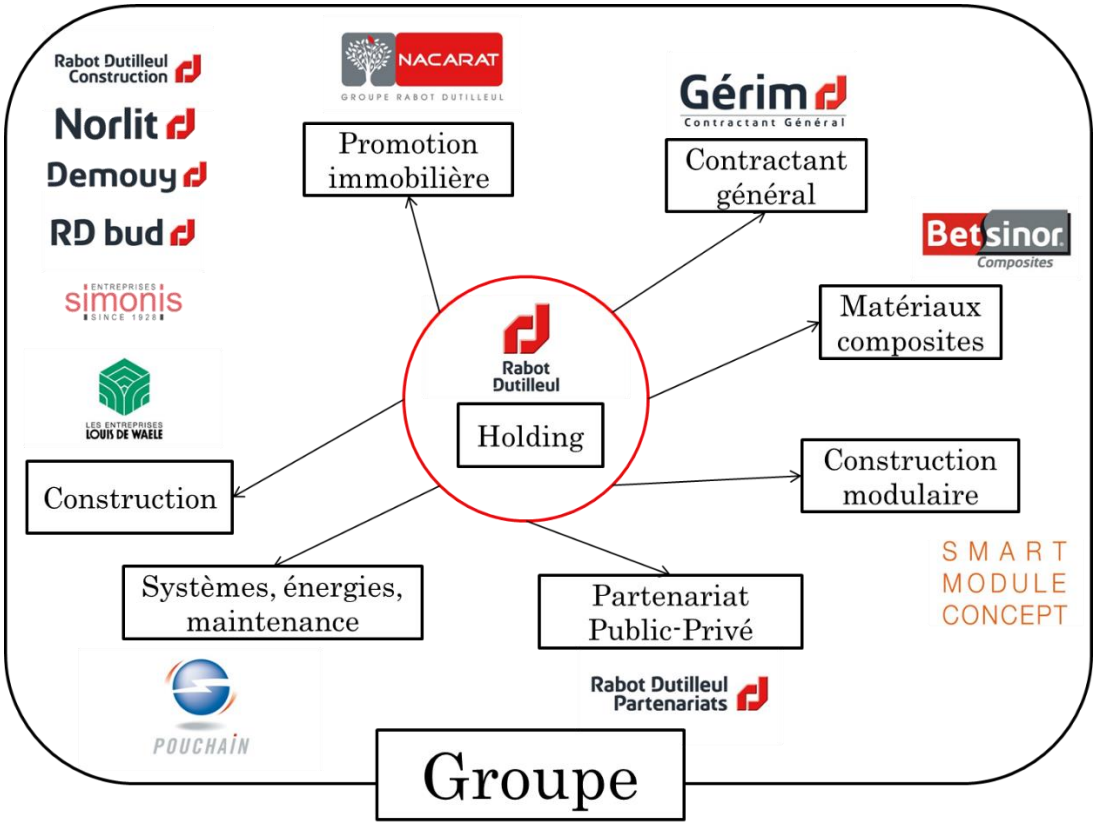


Figure 4. Entreprises du groupe Rabot Dutilleul

Les deux entreprises du groupe sont présentées : « Rabot Dutilleul Construction » et « Nacarat » parce que le travail de recherche a été mené avec ces deux entités du groupe.

4.2. Rabot Dutilleul Construction

Rabot Dutilleul Construction (RDC) est une entreprise spécialisée dans la construction. L'entreprise dispose d'un savoir-faire en ingénierie grâce à ses différents bureaux d'études (étude de prix, structures, béton, méthodes, électricité & plomberie).

4.3. Nacarat

Nacarat est le promoteur immobilier du groupe Rabot Dutilleul. Nacarat développe une expertise en immobilier d'entreprise et résidentiel. Nacarat est une société immobilière de développement spécialisée dans l'acquisition, le développement et la gestion, entre autres, des propriétés résidentielles (+70% de son activité concerne la gestion de l'immobilier résidentiel). La société est présente dans toutes les régions de France avec une forte concentration de l'activité dans le nord et la région parisienne. L'entreprise a un chiffre d'affaires de 250 M € avec 203 employés.

L'entreprise développe principalement des « programmes » résidentiels qui passent ensuite par un appel d'offre pour les entreprises de construction. Nacarat est donc considéré comme un client pour les entreprises de construction. Nacarat travaille avec Rabot Dutilleul Construction (70% des projets sont montés avec RDC) mais développe également des projets avec des entreprises concurrentes.

4.4. Objectif du travail de recherche

L'objectif du travail de recherche est d'améliorer les performances de la chaîne de construction en investiguant l'application de méthodes de production industrielles. En particulier, nous nous attardons sur la théorie du Lean et sa potentielle adaptation le long de l'acte de construire.

4.4.1. La notion de client est relative

L'acte de construire est composé de plusieurs étapes. Chaque étape implique des intervenants différents. Une simplification de la chaîne de construction peut être présentée comme suit :

Le maître d'ouvrage désigne un architecte pour la réalisation du projet. L'architecte compose son équipe de conception (généralement, un architecte et des consultants techniques en charge de l'élaboration des plans du projet et sa faisabilité). Une fois la conception terminée, l'appel d'offre est lancé (sous forme

d'un Dossier de Consultation des Entreprises, DCE) auprès des entreprises de construction pour sélectionner celle qui réalisera le projet de construction. Notons que la plupart des entreprises de construction font appel à de la sous-traitance d'un (ou plusieurs) lot (s) du projet. Dans le cas de Rabot Dutilleul Construction, elle sous-traite généralement une grande partie des corps d'états secondaires (vu que l'entreprise est spécialisée dans le gros-œuvre). (Choudhry et al. 2012) ont investigué la pratique de la sous-traitance et ont pu obtenir des données quantitatives qui valident le recours à la sous-traitance de la majorité des entreprises de construction au Pakistan.

La Figure 5 présente la chaîne de construction simplifiée du point de vue d'un promoteur immobilier. Le projet commence par « la programmation et études » qui servent à tracer les esquisses du projet. Ensuite, la phase « Commercialisation » a pour but de chercher des clients pour acheter, en avance, les appartements/logements. La phase d'appel d'offre s'ensuit une fois un quota de « réservations d'appartements/logement » est atteint. L'entreprise de construction sélectionnée entame les travaux. Enfin, la livraison des appartements/logements finalise le projet de construction.

Les clients de Nacarat sont les clients finaux (acheteurs de l'appartement/logement). Dans le cas où l'entreprise de construction sélectionnée est RDC, le client de RDC est Nacarat. Si RDC fait appel à la sous-traitance, le client direct de ses sous-traitants serait RDC (sachant que le client par défaut est le MOA). Enfin, les bureaux d'études (fluides, structure…) appointés par RDC ont comme client RDC. Ces bureaux d'études peuvent être internes (bureaux d'études de RDC) ou bien externes (entreprises prestataires). C'est ainsi que la notion de client est relatif : peut-être soit « interne, externe ».

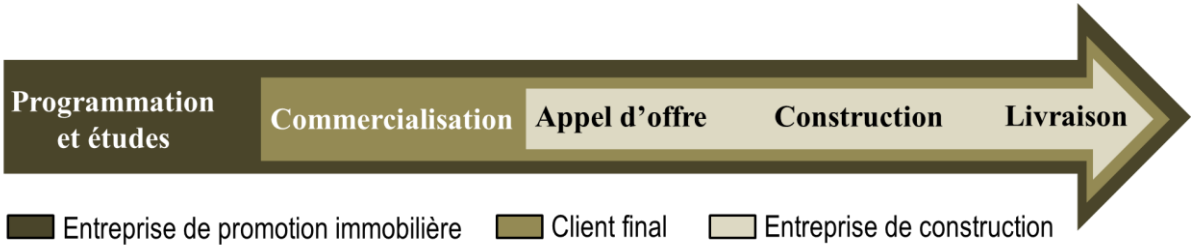


Figure 5. Chaîne de construction simplifiée du point de vue d'un promoteur immobilier

Ceci se complexifie d'autant plus que l'acte de construire fait appel à plusieurs intervenant tout au long de la chaîne de construction. Ainsi, l'identification du client (par exemple, à qui sert le plan de structure en cours de réalisation ?) est difficile. En conséquence, des tâches à non-valeur ajoutée régissent l'acte de construire.

4.4.2. Formulation de l'objectif de recherche

Rabot Dutilleul est un groupe qui contient un ensemble d'entreprises, chacune intervient dans l'acte de construire.

Au travers ce travail de recherche, la théorie du Lean est adapté dans les principales phases de construction, en commençant par le développement immobilier (avec Nacarat), en passant par l'appel d'offre (RDC) jusqu'à la phase construction (RDC).

5. Structure du manuscrit de thèse

Le chapitre 1 met en évidence les retards de livraisons des projets de construction et propose une méthode systématique pour y remédier grâce au Lean Six Sigma (LSS). Le projet est mené auprès de l'entreprise Nacarat qui a eu des retours sur les longs délais de livraison de ses programmes. La lumière est donc mise sur l'importance du respect du temps de livraison du projet.

Le chapitre 2 s'intéresse à la différence entre le coût de conception et réalisation des projets de construction. Alors qu'un budget initial pour le projet de construction est fixé, l'étude montre que ce budget est rarement respecté. Le projet analyse en détails les écarts des coûts tout au long de l'acte de construire. Enfin, un outil pour évaluer les risques de dérapages des coûts dès les premières phases du projet a été développé et présenté en se basant sur le PDRI (Project Definition Index Rating).

Le chapitre 3 investigue la phase de réponse à l'appel d'offre grâce à une expérimentation menée au sein du service Etude de prix de l'entreprise RDC. Cette recherche vise à démontrer les potentiels gains (indicateurs de performances (temps, coût et autres fixés lors du projet) par le biais de l'application de la théorie du Lean Management.

Le chapitre 4 introduit le Kitting comme levier de performances en « phase construction » pour générer de la performance financière et temporelle tout en gardant un haut niveau de qualité de service. Le chapitre commence par le constat suivant : le coût de la construction peut être modélisé avec l'équation : somme des coûts de la main d'œuvre, des matériaux et matériels (amortissement), transport et les coûts indirects. Une analyse fine a permis de constater que le plus grand coût provient de la main d'œuvre et des matériaux. Par ailleurs, une enquête sur l'évaluation de la gestion logistique des chantiers de construction supporte la nécessité d'adopter des méthodes innovantes pour gagner de la performance via la logistique chantier. Le Kitting pourrait être envisagé comme solution surtout que cette pratique est en phase de « prototype » en construction.

Le chapitre 5 présente le concept du Kitting en construction. Alors que le Kitting est répandu en industrie, son introduction en construction est relativement nouvelle et les bases d'applications ne sont pas encore mise en place. Une définition du Kitting a été formulée ainsi que le modèle économique associée à cette pratique. Enfin, des études de cas de l'application du Kitting dans un chantier de rénovation sont présentées et servent à poser les questions de recherche et les limitations dans la littérature à l'égard de la logistique en construction.

Le chapitre 6 trace 3 expérimentations en cours du Kitting : 2 expérimentations sur des chantiers de rénovation et une dans un chantier de construction neuve. Ces expérimentations sont présentées sous forme d'études de cas et les bonnes pratiques d'application du Kitting sont déduites. Enfin, une synthèse des expériences Kitting menées et proposition d'un modèle d'application de la pratique du Kitting dans la construction en tenant en compte toute la chaîne de construction depuis la perspective de l'entreprise de construction.

Chapitre 1

Lean Six Sigma dans la promotion immobilière

Mots clés– Lean, Six Sigma, promotion immobilière, bâtiments, indicateurs de performance.

1. Introduction

L'étude de cas explore les causes du retard des livraisons des logements. Pour le promoteur immobilier, livrer à temps les logements aux particuliers et aux investisseurs (voire même avant la date du contrat) est un enjeu majeur. Par exemple, livrer un logement avant le délai contractuel à un investisseur lui permettra de louer et donc de générer des revenus plus rapidement, ce qui résulterait en une augmentation de la satisfaction client.

Une démarche **systématique** basée sur la méthode **Lean Six Sigma** (LSS) est développée dans ce chapitre pour résoudre la problématique des retards de livraisons des projets de construction en promotion immobilière.

1.1. Objectif de la recherche

La méthode Lean Six Sigma (LSS) manque de méthodologie claire pour son application dans le service tertiaire et en particulier en construction, contrairement à l'industrie manufacturière. La principale raison est la difficulté d'évaluer le flux d'information par rapport au flux physique. En effet, l'utilisation des flux d'information comme une entrée de processus dans la méthode LSS n'est pas bien étudié, principalement en raison des difficultés pour collecter les données adéquates et suffisantes. Le but de ce chapitre est d'étudier l'application du LSS dans le service tertiaire en construction : le développement immobilier.

1.2. Contribution scientifique

Bien que le Lean Six Sigma et les opportunités de son implémentation aient été traités dans plusieurs articles scientifiques, l'application de la méthode sur des

études de cas concrètes reste assez limitée surtout dans les entreprises de services dans le domaine du génie civil. Ce chapitre essaye d'identifier les opportunités d'application de la démarche Lean Six Sigma au sein d'une entreprise de promotion immobilière et illustre les étapes et résultats de son implémentation pour **remédier au retard de livraison des programmes immobilier**s. Il est toutefois indispensable d'expérimenter la démarche sur divers problèmes afin de connaitre le potentiel de cette démarche et l'améliorer/adapter aux spécificités de la construction.

Enfin, l'analyse des flux d'information est encore à ses débuts (on commence à connaître l'ère du *Big Data* et l'internet des objets qui se basent sur les flux d'informations). Alors que la méthode Lean Six Sigma évalue principalement les flux physique, cette recherche est parmi les premières tentatives d'évaluation du flux d'information.

1.3. Contribution pratique

Le travail présente une implémentation du LSS dans la promotion immobilière (premier bout de la chaîne de construction). Il donne également de nouvelles perspectives sur l'application du LSS dans le service tertiaire. Le travail suggère également des recommandations et des solutions pratiques pour faire face aux principaux défis (problématiques) rencontrés par le montage d'un projet de construction en promotion immobilière.

1.4. Originalité

La construction est régie par de nombreux processus difficiles à identifier et, plus encore, à évaluer. Le LSS aide à identifier les processus défectueux et à les améliorer.

2. Recherche bibliographique

2.1. Développement d'un projet immobilier

La promotion immobilière fait appel à toutes entreprises qui se spécialisent dans l'achat, la vente ou la location de terrains, de bâtiments ou de logements. Le développement immobilier joue un rôle crucial dans le processus de construction.

Le processus de développement immobilier typique en France peut être décrit comme suit:

Tout d'abord, une enquête générale sur le marché est réalisée selon la stratégie de l'entreprise. La deuxième étape est de trouver une propriété foncière adéquate. Ensuite, une étude de marché est réalisée dans le but d'établir un programme en fonction des besoins des clients. La troisième étape est la

composition d'une équipe de conception, généralement, un architecte et des consultants de structure en charge de l'élaboration des plans du projet et sa faisabilité. L'entreprise envoie une demande d'un permis de construction à la mairie. Cette procédure prend en moyenne 3 mois. Enfin, un document contenant les détails du projet, appelé « Dossier de Consultation des Entreprises » (DCE), est établi et communiqué aux entreprises de construire. L'entreprise de construction sélectionnée réalise la construction. Une fois le projet terminé, l'entreprise de promotion immobilière livre les appartements (ou autres) à ses clients.

2.2. La problématique rencontrée par les promoteurs immobiliers

Les entreprises de promotion immobilières ont de nombreuses responsabilités envers les différents acteurs de construction (Hiang Liow & Ooi 2004). Tout d'abord, l'entreprise de promotion est liée avec la banque par le biais d'un prêt d'investissement. Deuxièmement, elle doit assurer la satisfaction des clients (acheteurs du bien). Les deux contraintes citées sont fortement liées. En effet, la livraison des bâtiments de haute qualité et dans les délais fixés impliquent une satisfaction client, donc, le remboursement du prêt bancaire rapidement et ainsi un taux de retour sur investissement élevé. Cependant, la réalité est que beaucoup de problèmes sont rencontrés tels que des défauts dans la construction, dépassement des coûts, des retards de livraison et le manque de communication efficace avec le client final.

Ces problèmes "acceptés" provoquent l'insatisfaction des clients. Des répercussions négatives à long terme sont attendues telles que la perte de la part de marché (Lindholm & Leväinen 2006).

2.3. La théorie du Lean management

Le « Lean » est une théorie qui vise à générer de la valeur pour le client, tout en éliminant les gaspillages dans la chaîne de valeur. Le concept du Lean vient du système de production de Toyota nommé Toyota Production System (TPS) dans les années 1950. Le « TPS », initiée par Taiichi Ōno (Jasti & Kodali 2014), était un changement majeur dans la perception de l'efficacité de la production vu que l'excellence à cette époque était assimilée au système de production de masse établi par Henry Ford (Liker & Meier 2005). L'inconvénient majeur de ce système est le manque crucial de flexibilité, par exemple, la chaîne production ne permettait de produire qu'un seul modèle de voiture (le modèle Ford T) et d'une seule couleur des voitures (noire). Le «TPS» est un système plus flexible qui permet plus de contrôle et de changement le long de la chaîne de production (Marksberry 2011).

En 1992, Womack et Jones ont étudié le système TPS et ont présenté le « Lean Management » comme déclinaison des principes et méthodes du TPS. Le terme « Lean » est apparu pour la première fois dans leur livre "La machine qui a changé

le monde» (Womack et al. 1990). (Womack & Jones 1996) ont établi un ensemble de principes pour la philosophie Lean :

- Identifier la valeur pour le client: être clair sur ce que le client veut. Les caractéristiques du produit doivent refléter les besoins du client.

- Identifier la chaîne de valeur et éliminer les processus inutiles: une fois que les exigences du client sont clairement identifiées, les processus doivent être orientés vers la création de la valeur souhaitée par le client. Les gaspillages sont associés à toute activité qui ne crée pas de valeur pour le client ou toute activité qui n'est pas nécessaire à la création de la valeur. Sur la base de cette définition, 3 types d'activités peuvent être distingués: activité à valeur ajoutée, activité nécessaire à la création de valeur et activité à non-valeur ajoutée.

- Etablir un flux continu: une fois que le processus est cartographié, la prochaine étape est de chercher à établir un flux continu de travail. L'objectif est de fixer le rythme de production et de maintenir un état de flux constant (la théorie du Lean affirme qu'une variabilité non maitrisée crée du gaspillage).

- La production est lancée suivant la demande du client (flux tiré) : Le Lean se base sur un flux tiré où la production est activée par la demande du client. Contrairement à un flux poussé où la production est basée sur des prévisions, ce système génère des gaspillages sous plusieurs formes (inventaire non utilisé, un grand nombre de WIP (travail-en-cours), etc.

- Etablir un processus d'amélioration continue pour chercher la perfection: une des composants phares du Lean est l'amélioration continue.

Le Tableau 2 présente les types de gaspillages selon la théorie du Lean, en industrie et en construction.

Tableau 2. Gaspillages dans l'industrie manufacturières et la construction.

Types de gaspillages	**Industrie**	**Construction**
Surproduction	La production dépasse la demande des clients.	Ex. l'utilisation d'un type de finition non inclus dans le cahier des charges.
Attente	Temps d'inactivité de l'opérateur.	Nécessité d'agencement des différents lots.
Transport	Tous les mouvements inutiles de la matière ou de l'information.	Livraison de matériel, cycle de grue inutile, etc.

Sur-traitement	Activités de processus qui vont au-delà des spécifications du client et ne fournissent aucune valeur ajoutée, mais génèrent des coûts	Plus de main d'œuvre que nécessaire, procédures administratives lourdes, etc.
Inventaire	Stockage de matériels et matériaux non nécessaire à la création de valeur instantanée.	Stockage du matériel pour une longue durée sur chantier.
Mouvements	Mouvements à non-valeurs ajoutées	Mouvements sur site pour chercher les outils.
Non qualité	Les produits non conformes, qui sont soit éliminés ou traités à nouveau.	Démolition, reprise des malfaçons, etc.
Compétences	L'utilisation de la main-d'œuvre non qualifiée ou bien sur qualifiée	

2.4. Le Lean appliqué à la construction

Après les améliorations notables dans l'industrie manufacturière grâce à la théorie du Lean (Khanchanapong et al. 2014; Belekoukias et al. 2014), le Lean a été adopté par différents autres secteurs: industrie de la santé (Crema & Verbano 2015), informatique (Hicks et al. 2015), etc.. En ce qui concerne le secteur de la construction, Koskela a commencé à écrire sur Lean Construction (LC) en 1992. Il a analysé dans son rapport «Application de la nouvelle philosophie de production dans la construction" (Lauri Koskela 1992) la possibilité d'appliquer les principes du Lean dans le secteur de la construction. Koskela a affirmé la possibilité d'adaptation des concepts de production Lean dans la construction et a présenté un modèle (TFV : Transformation- Flow – Value), où la production a été conceptualisée de trois façons complémentaires. Ce point de vue tripartite de la production a conduit à la naissance de la théorie « Lean Construction » comme discipline qui englobe la gestion de la construction contemporaine (L. Koskela 1992). (Howell & Ballard 1994) ont également contribué à la genèse du LC en investiguant le manque crucial de collaboration dans ce domaine.

La littérature fournit plusieurs définitions du Lean Construction. Ces définitions différent de celles fournies dans l'industrie manufacturière, mais l'objectif reste le même: réduire la non-valeur ajoutée. (Marhani et al. 2012) présente un résumé: des principes du LC selon plusieurs auteurs connus dans le domaine (Tableau 3).

Tableau 3. Principes du Lean Construction selon différents auteurs (adapté de: (Marhani et al. 2012)).

Auteurs	Principes du Lean Construction
Koskela (1992)	Réduire les activités sans valeur ajoutée
	Augmenter la valeur de sortie du processus
	Réduire la variabilité
	Réduire le temps de cycle
	Réduire le nombre d'étapes, le nombre de produits et ses parties constitutives.
	Augmenter la flexibilité de sortie du processus
	Augmenter la transparence des processus
	Se concentrer sur le contrôle du processus global
	Etablir l'amélioration continue
	Balancer entre l'amélioration du flux et la transformation.
	Etablir un Benchmark
(Womack & Jones 1996), (Aik Jin Victor 2008) **and** (Bashir et al. 2011)	Spécifier la valeur
	Identifier la chaîne de valeur
	Etablir un flux continu
	Flux tiré
	Poursuivre la perfection

La communauté du « Lean Construction » est composée de chercheurs et de professionnels qui œuvrent pour développer l'efficacité opérationnelle et managériale du secteur de la construction. Par exemple, (Daou et al. 2015) explorent la visualisation en construction, (Kalsaas et al. 2015) la planification basée sur un flux tiré, (Hermes 2015) la préfabrication et la modularisation. Ces thématiques de recherches sont incluses dans la théorie du Lean Construction.

L'outil phare du Lean Construction est nommé « Last Planner System® ». C'est une adaptation du système de planification de la production en construction. La création du LPS a été guidé par un constat: (Ballard 2000) avait noté que seulement la moitié des tâches prévues sur chantier sont réalisées par semaine. L'idée derrière le LPS® est de maîtriser le planning des travaux en renforçant la collaboration des parties prenantes concernées (clients, constructeurs, sous-

traitants, architectes ...) dès les premières esquisses du projet de construction. Le LPS® est basée sur 4 éléments de planification intégrée:

- Master Schedule: Ce planning fournit un aperçu global sur les étapes du projet de construction.

- Phase Plan: appelé "Reverse Phase Scheduling". Il est basé sur une planification tirée où les parties prenantes conçoivent le projet dans une chronologie inverse.

- Look Ahead Planning: c'est une planification de six semaines avant les travaux réels avec l'analyse des contraintes (pour lever les contraintes de réalisation).

- Weekly Work Plan: Ce planning prépare le travail de la semaine prochaine. Le Weekly Work Plan permet de calculer l'indicateur PPC (Percent Plan Complete) qui décrit le pourcentage des tâches accomplies dans une certaine période et de suivre la variance tout au long du cycle de vie du projet.

Le Groupe international de Lean Construction (IGLC) est un réseau de professionnels et de chercheurs fondé en 1993 et produit une abondante littérature sur le Lean Construction.

La littérature sur l'implémentation du Lean est développée principalement sous forme d'études de cas (Castillo et al. 2014; Yu et al. 2013a).

Les implémentations « Lean » se concentrent généralement sur un aspect de la théorie Lean. Par exemple, la recherche menée par (Suárez-Barraza & Rodríguez-González 2015) a porté sur le rôle du Kaizen dans la mise en œuvre du Lean. Ils ont fourni un ensemble de bonnes pratiques pour une approche Kaizen réussie. (Domingos et al. 2014) ont présenté une implémentation du Kanban. (Pheng & Chuan 2001) ont évalué le niveau de maturité du Just-à-Temps (JIT) des sous-traitants pour une application aux éléments en béton préfabriqué livrés sur site.

Enfin, l'implémentation du Lean est considérée comme un changement, et par conséquent, un accompagnement sous forme de stratégie de mise en œuvre doit être bien développé avant l'action. La perception, la participation et l'autonomisation des personnes est une nécessité pour une mise en œuvre réussie (Losonci et al. 2011). La prise en compte de l'aspect culturel est également prescrite pour une approche Lean bien adapté au contexte de son implémentation (Knapp 2015).

2.5. Approche Lean Six Sigma

La méthode Six Sigma a été développée par Motorola en fin des années 80 (Snee 2010). La méthode Six Sigma permet de fabriquer des pièces presque

parfaites en mettant l'accent sur la détection et la suppression de la variabilité des processus et en utilisant diverses méthodes et outils statistiques pour parvenir à un «proche de zéro défaut" (Beary & Abdelhamid 2005).

Six Sigma est une méthode qui vise à réduire les défauts afin d'atteindre un niveau de défauts optimal dit « niveau Six sigma ». Le niveau de Six Sigma indique la fréquence des défauts: plus le niveau de sigma est grand, moins de défauts surgissent en production. Le niveau de performance est exprimé en DPMO (dpmo) *défaut par million d'opportunités. DPMO indique le nombre de défauts obtenus si on répétait le processus un million de fois.* Le Six Sigma tente de réduire le DPMO.

Après avoir évalué le problème, La méthode Six Sigma essaie de trouver ses causes profondes afin d'atteindre le niveau de six sigma (99,9997% des produits sans défauts).

L'approche Six Sigma ne concerne pas que le niveau opérationnel, mais pourrait aussi bien être exploitée comme une stratégie (Arnheiter & Maleyeff 2005). D'un point de vue commercial, la stratégie Six Sigma permet d'augmenter la profitabilité, réduire les couts et améliorer l'ensemble des opérations afin de dépasser les attentes client.

La méthode Six Sigma repose sur cinq étapes Chacune de ces étapes disposent de différents techniques et outils.

- Définir : identifier le problème, le client et l'objectif du projet Lean Six Sigma.
- Mesurer : décider ce qu'il faut mesurer et collecter les données du processus.
- Analyser : analyser les causes profondes des défauts, comprendre la distribution des données.
- Innover : développer des solutions possibles pour résoudre le problème identifié.
- Contrôler : élaborer des mesures correctives pour maintenir le niveau d'amélioration et développer de nouvelles normes et procédures visant à assurer des gains à long terme.

2.6. Application du Lean Six Sigma dans différents secteurs

Le LSS adopte la structure DMAIC « Définir – Mesurer – Analyser – Innover Contrôler » à travers laquelle les outils Lean sont combinés avec des outils Six Sigma pour améliorer les processus existants (Sarkar et al. 2014). Cette méthode a été utilisée pour la première fois dans l'industrie manufacturière (Tjahjono et al. 2010). Après un grand succès, d'autres secteurs ont essayé de la mettre en œuvre afin de parvenir à une meilleure qualité de leurs produits et services. Par exemple ; l'utilisation du Lean Six Sigma dans le domaine de la médecine a commencé en 1990. Plusieurs études de cas existent: (Mason et al. 2015) ont tenté de démontrer

les avantages du LSS en chirurgie. Le LSS a également été utilisé pour assurer une meilleure qualité de la prestation des soins médicaux (Winters-Miner et al. 2015) et dans les entreprises de services telles que les banques, afin de réduire le temps d'attente des clients et d'assurer leur satisfaction (Balbontin 2006).

L'utilisation de la méthode LSS dans le secteur de la construction a commencé en 2000 grâce à (Buggie 2000). D'autres chercheurs ont également travaillé sur l'adaptation du LSS dans la construction (Cha & O'Connor 2005). Cependant, la majorité des recherches menées n'a pas abordé la partie pratique mettant en œuvre le LSS dans un processus concret de construction (Han et al. 2008).

2.7. Les bienfaits d'une démarche Lean Six Sigma

En réduisant la variabilité, le LSS stabilise le processus. Pour le développement immobilier (client du constructeur), cette méthode pourrait être utilisée pour réduire la variabilité entre les attentes des clients et de son expérience réelle. En général, l'écart est dû à la somme des variabilités causées par la masse phénoménale de processus de l'acte de construire: la chaîne d'approvisionnement des matériaux, la planification du projet, les entrepreneurs et ainsi de suite.

3. Contexte de la recherche

Cette étude est menée en collaboration avec Nacarat, promoteur immobilier et filiale du groupe Rabot Dutilleul, spécialisé dans l'acquisition, le développement et la gestion, entre autres, des propriétés résidentielles (+ - 70% de la gestion de l'immobilier résidentiel). L'entreprise disposait de nombreux retours de clients insatisfaits de l'achat des appartements. Après une analyse, on s'est intéressé particulièrement à la problématique exprimée par les clients: non-respect des délais de livraisons des logements.

L'étude de cas tente d'identifier et d'évaluer les causes racines des longs délais de livraison à l'aide de la méthode « Lean Six Sigma ». En plus, des recommandations sont tirées de l'analyse menée dans le but d'apporter des améliorations substantielles, ainsi que pour définir un environnement d'amélioration continue.

4. Méthodologie de recherche

La méthodologie Lean Six Sigma appliquée est basée sur les cinq étapes DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, Contrôle). L'approche conçue est la suivante:

4.1. Phase “Définir”

La phase "Définir" concerne l'identification du problème. Pour ce cas, le problème est lié aux causes de l'insatisfaction client. Les clients et les objectifs du projet ont été présentés dans cette phase.

Les étapes constitutives de la phase «Définir» sont illustrées sur la Figure 6.

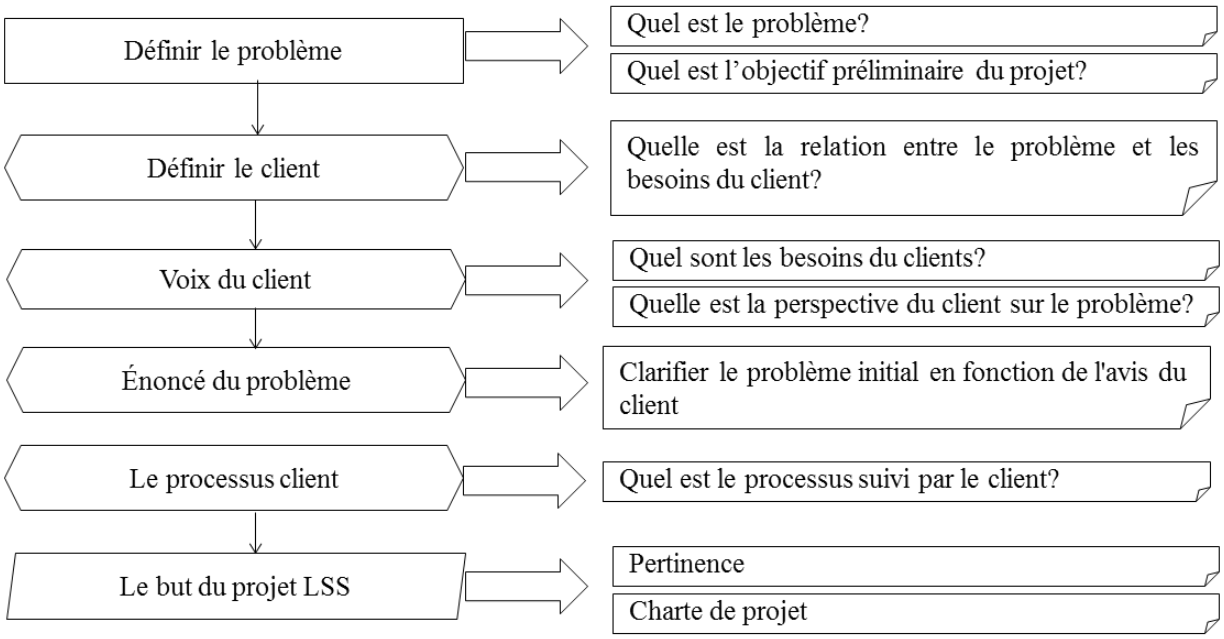


Figure 6. Les étapes de la phase "Définir".

Le problème est assujetti à différents questionnements (Quel est le problème? Quelle est sa fréquence?) pour le rendre le plus clair possible. Ce dernier se doit d’être SMART: spécifique, mesurable, réalisable physiquement, pertinent et réalisables dans le temps. Après avoir exposé le problème, l'accent doit être orienté vers le client par la compréhension de son besoin. Cela pourrait se faire par le biais des: complaintes collectées, enquêtes téléphoniques, sondages, études de marché ... Dans notre cas, nous avons privilégié un sondage téléphonique pour avoir un retour le plus précis possible du client.

4.1.1. Enquête client

Une enquête a été menée pour repérer les différentes sources d'insatisfaction des clients. 914 clients ont été approchés. Seulement 733 étaient exploitables (mauvais téléphone ou une adresse double). Parmi ces 733 clients, 221 ont été approchés et interrogés. 44% étaient des occupants et 56% des investisseurs. L'échantillon est considéré comme représentatif de l'état réel du processus étant donné:

- Une répartition équitable entre les types de clients «investisseurs et occupants".

- Une répartition géographique équitable des projets: l'enquête décrit la satisfaction des clients des différentes régions d'implantation de l'entreprise en France.

La troisième étape consiste en la définition du processus suivi par le client grâce à une cartographie décrivant son parcours. Enfin, l'objectif du projet et sa charte sont développés. La charte résume toutes les données liées au projet intitulé : «le délai de livraison tardive des projets de construction".

4.2. Phase "Mesurer"

La phase "Mesurer" consiste en la collection des données appropriées afin de visualiser l'état actuel du processus. Ceci aide à comprendre les causes racines du problème identifié en première phase.

Les clients ont été invités à évaluer les délais de livraison. Les informations ont été collectées sur la base de 16 projets. La performance « actuelle » du processus est présentée dans cette phase.

Les étapes de la phase "Mesurer" sont décrites dans la Figure 7.

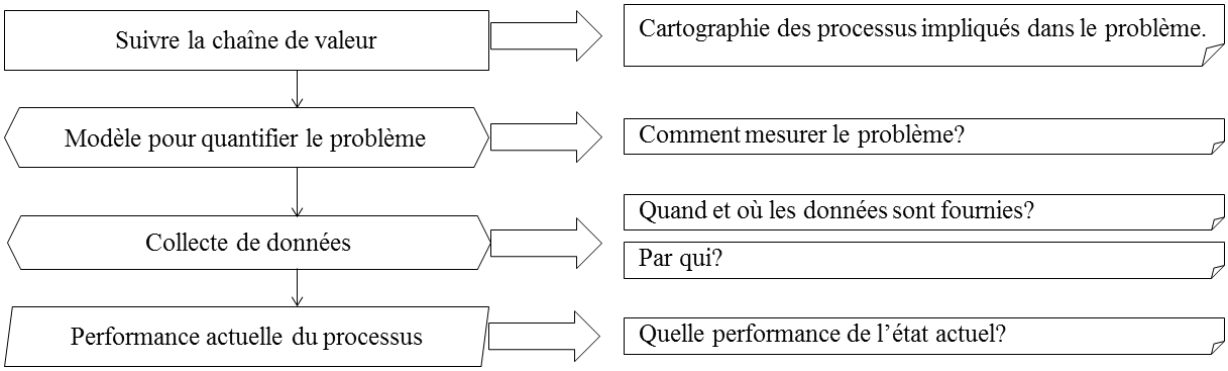


Figure 7. Etapes de la phase "Mesurer".

4.3. Phase "Analyser"

La phase "Analyser" (Figure 8) a permis une profonde compréhension des causes racines des retards de livraison. Une analyse avancée d'un projet a été réalisée. Un questionnaire a été élaboré et envoyé aux responsables projets au sein de l'entreprise étudiée dans le but d'évaluer les causes des problèmes listés par les clients. Une échelle a été utilisée pour évaluer l'importance et le rôle de chaque cause. Les résultats sont présentés dans un diagramme de Pareto.

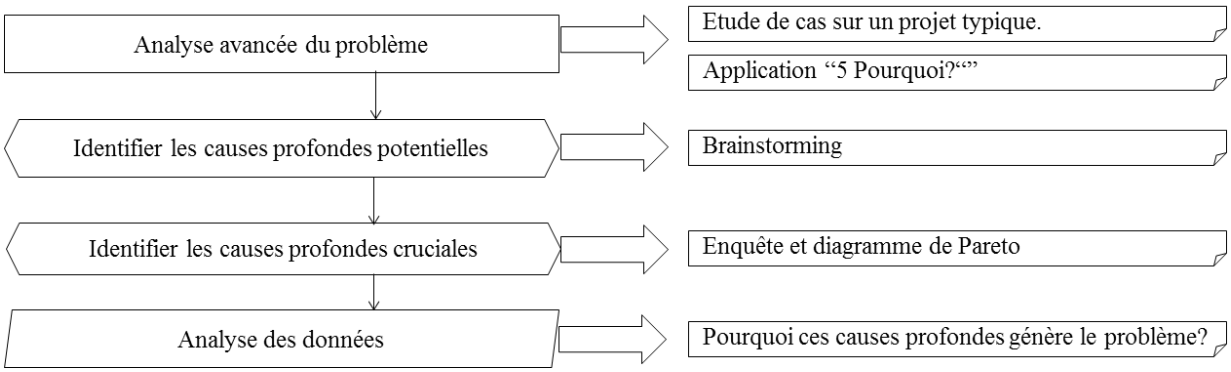


Figure 8. Etapes de la phase "Analyser".

4.4. Phase "Innover"

Le but de la phase « innover » est de trouver des solutions et des modifications dans le processus actuel pour éliminer les causes racines des retards de livraison (problème initial). Une liste de solutions potentielles pour résoudre le problème et l'empêcher d'apparaître à nouveau est établie.

4.5. Phase "Contrôler"

Cette phase génère un contrôle dans le processus mis en œuvre en trouvant des indicateurs de performance adéquats. De nouvelles normes et procédures pour soutenir la solution doivent être établies également. Enfin, les gains induits par la solution et les rapports sur le projet sont inclus dans cette phase.

La Figure 9 reprend les principales étapes de la démarche suivie.

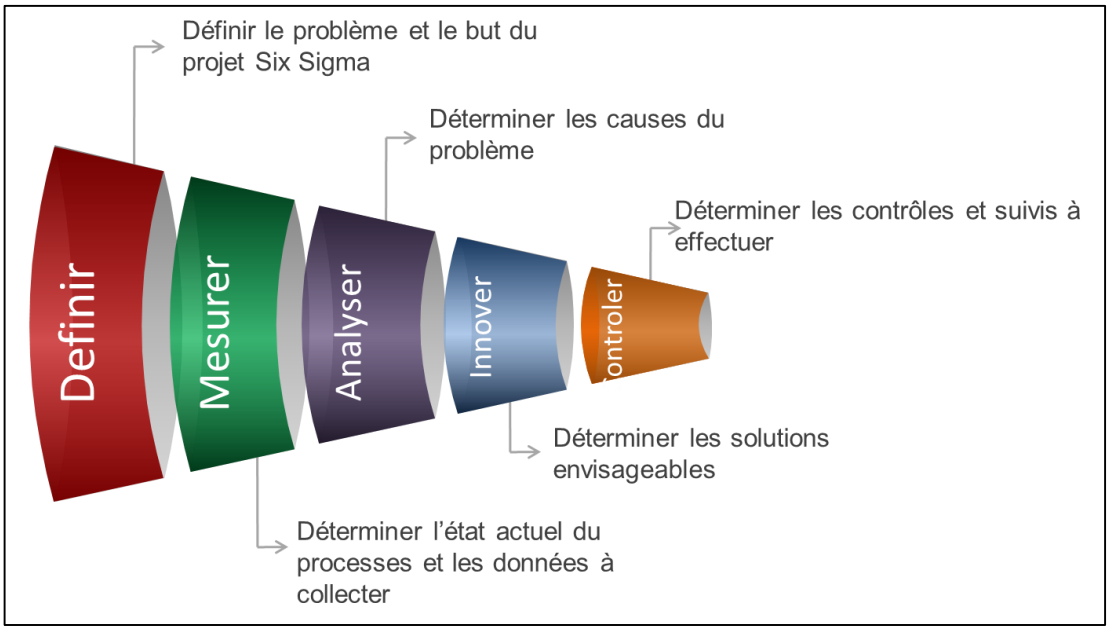


Figure 9. Etapes DMAIC.

5. Résultats et discussion

Les résultats de chaque étape sont présentés dans cette partie:

5.1. Définir - M – A – I – C

Cette étape tente d'identifier les clients, leurs besoins, l'état du processus vis-à-vis de leurs attentes et enfin l'objectif du projet Lean Six Sigma.

5.1.1. Identification du client

Il existe deux types de clients de l'entreprise étudiée: des clients qui investissent en achetant des appartements pour les louer et des clients qui achètent des appartements pour leur propre usage (habitation).

- Investisseurs: les clients qui achètent des appartements à louer.

- Les occupants: les clients qui achètent l'appartement à occuper.

5.1.2. Voix du client

En se basant sur l'enquête client menée, la Figure 10 révèle les sources d'insatisfaction des clients.

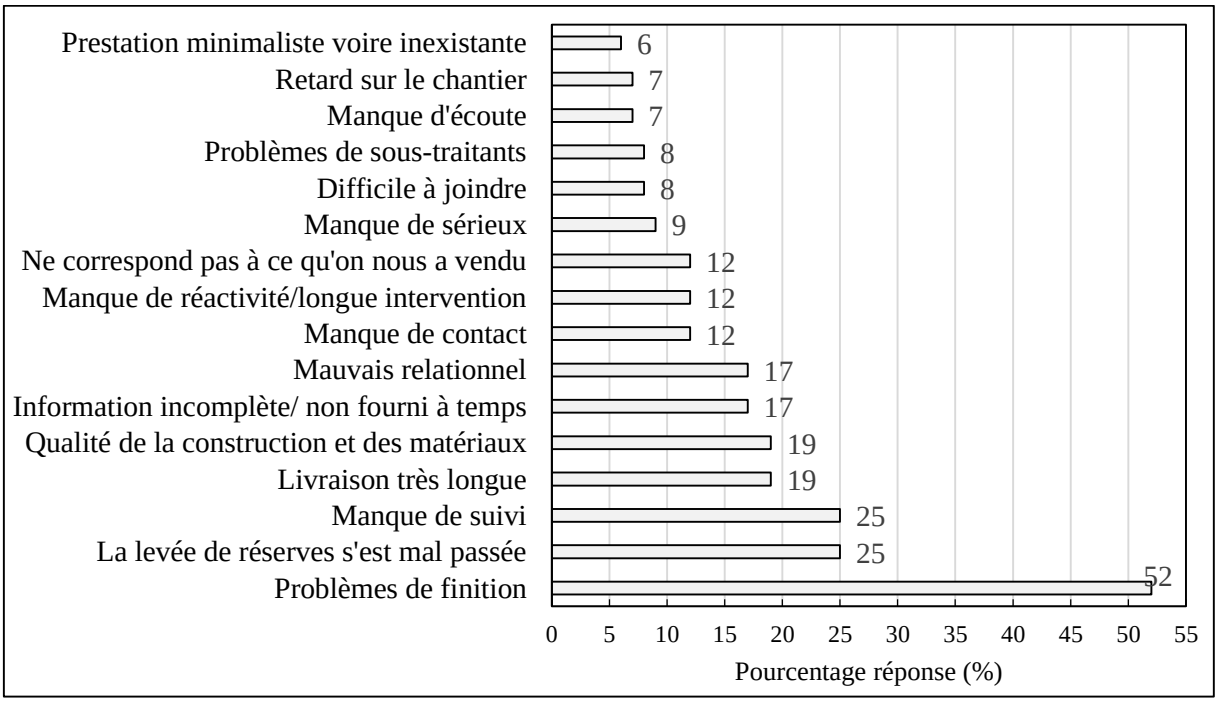


Figure 10. Sources d'insatisfaction des clients.

Les principales causes sont:

- Des problèmes de finition (52%): la finition ne répondait pas à la qualité désirée, et parfois, les besoins des clients ne sont pas pleinement pris en compte.
- Les réserves dans l'appartement (25%): cette cause porte sur malfaçons des différents corps d'états (plomberie, fenêtre, électricité, chauffage).
- Pas de suivi (25%): le client n'est pas au courant de l'état d'avancement de la construction. Cette cause exprime un manque de communication.
- Un long délai de livraison (19%): Les délais de livraison ne sont pas respectés.
- Qualité de la construction et des matériaux (19%).

Les première et deuxième causes (problèmes de finition et appartement réserves) sont liés. Ainsi, ces deux questions sont examinées dans un autre projet et ne fait pas partie du cadre de cette étude. La portée de cette étude est le « long délai de livraison», qui constitue 19% des plaintes clients.

Les exigences et les spécifications du client sont renseignées dans le Tableau 4 sur la base de la cause sélectionnée (long délai de livraison).

Tableau 4. Analyse de la "Voix du client"

	Besoins	**Exigences**		**Caractéristiques**	**Spécifications**
Le client	**Pourquoi le client utilise ce processus ?**	**Ce qui permet au client d'être satisfait?**		**Comment peut-on mesurer le client est la satisfaction?**	**Quelles sont les caractéristiques de la mesure?**
	Le besoin de logements / location	Délais de livraison respectés		Enquête de satisfaction / données sur les délais de livraison	- Un score supérieur à 7 - Retard ≤ 30 jours

5.1.3. Enoncé du problème

L'insatisfaction du client n'est pas un énoncé de problème bien défini. Sur la base des étapes suivies dans la phase "Définir", il est possible maintenant de définir clairement le problème réel qui aide à résoudre l'initial: «Le délai de livraison prévu de l'appartement communiquées aux clients ne sont pas en ligne avec le délai de livraison réelle".

5.1.4. Le parcours suivi par le client

Afin d'acheter un appartement, le client suit un parcours établi par le promoteur immobilier. Avant de devenir un client, un individu est un « prospect ».

Il trouve un appartement convenable en utilisant différents canaux de publicité (Figure 11). Ensuite, il réserve l'appartement avant de signer l'acte notarial. C'est seulement après la signature de l'acte notarial qu'un prospect devient client. Enfin, pour chaque étape du projet, le client donne un pourcentage de la valeur de l'appartement. Une fois le projet terminé, l'entreprise livre l'appartement au client.

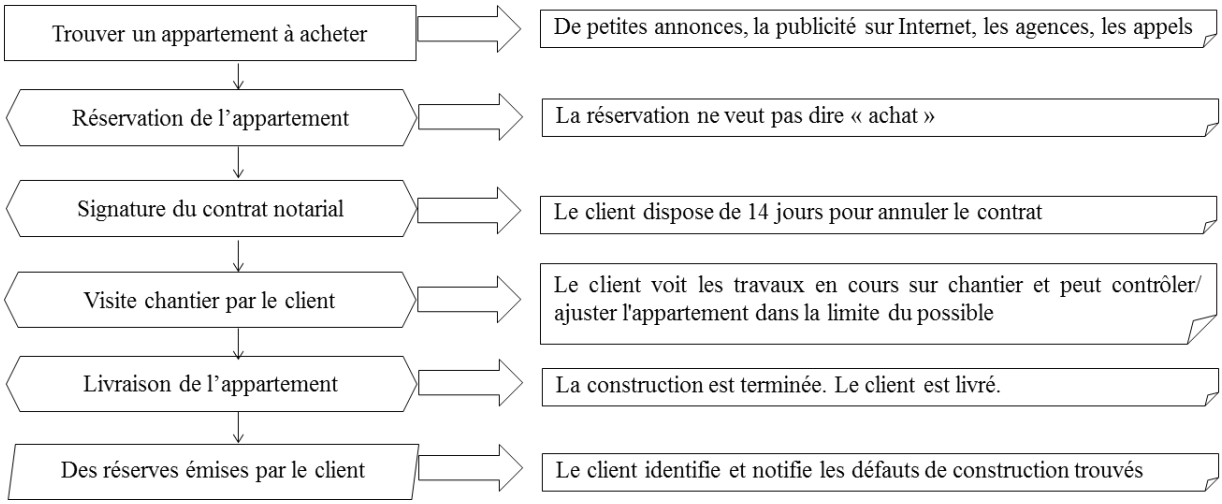


Figure 11. Le parcours suivi par le client ; depuis « prospect » à « acheteur ».

Puisque la date de livraison prévue est communiquée au client juste après la signature notarial, le processus avant cette date ne fait pas partie de cette étude.

5.1.5. Le but du projet LSS

Le but du projet LSS est d'identifier les causes racines des retards de livraison et les éliminer en proposant différentes solutions et recommandations. La Figure 12 présente la charte du projet.

Charte du projet LSS			
Titre du projet	**Améliorer le score des délais de livraison**		
Brève description	Identifier les causes racines du retard des livraisons et réaliser des améliorations durables.		
Objectif	Diminuer les délais de livraisons des projets de construction		
Clients	Investisseurs / Occupants		
La mesure			
Principal indicateur clé	Indice de satisfaction des clients lié aux délais de livraison.		
Valeur initiale	<7	Valeur cible	≥7

Voix du client			
Besoins	**Exigences**	**Caractéristiques**	**Spécifications**
Le besoin de logements / location	Délais de livraison respectés	Enquête de satisfaction / données sur les délais de livraison	- Un score supérieur à 7 - Retard ≤ 30 jours

Planning du projet										
Semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Définir										
Mesurer										
Analyser										
Innover									Plusieurs mois	
Contrôler									Plusieurs mois	

Figure 12. Charte du projet LSS.

5.2. D – Mesurer – A – I - C

5.2.1. Cartographie de la chaîne de valeur

Trois principaux acteurs inclus dans le processus de livraison sont identifiés. La chaîne de valeur globale est schématisée dans la Figure 13.

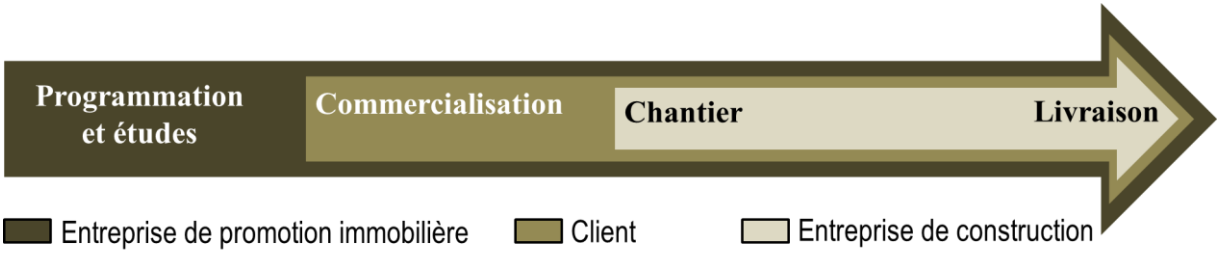


Figure 13. La chaîne de valeur du processus de livraison de l'appartement en incluant les parties prenantes.

- **Le processus de l'entreprise de promotion immobilière**: il représente l'ensemble du processus de la phase de programmation du projet jusqu'à la livraison grâce à la commercialisation du projet une fois que le permis de construire est purgé. La phase de construction ne démarre que si 34% à 40% de la commercialisation est réalisée. Ce seuil est lié à la gestion immobilière des risques. Cette première phase (avant la commercialisation) est soumise à diverses sources de

variabilité. En effet, il est difficile de contrôler les retards dans cette partie du processus due à des agents extérieurs: acquisition du titre du terrain, les négociations avec les propriétaires du foncier et les voisins, la justice (...). La première phase génère parfois un délai de 3 à 6 mois en fonction de la gravité des problèmes à ce niveau. La Figure 10 trace l'ensemble du processus de création de valeur de l'entreprise de promotion immobilière.

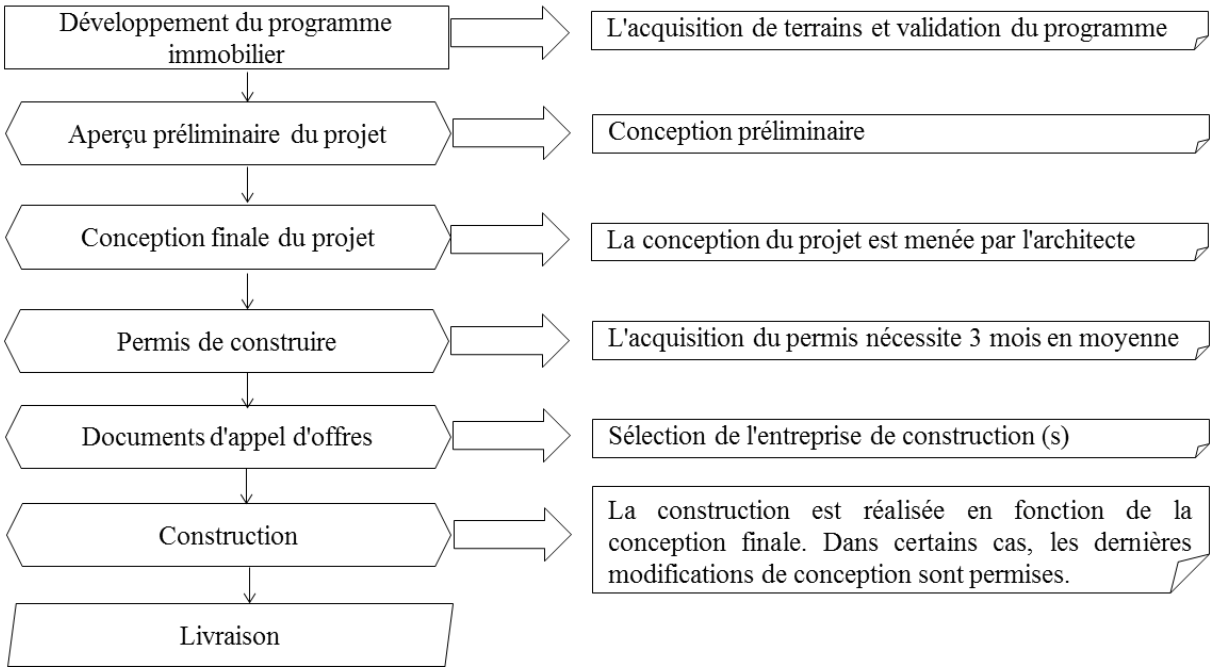


Figure 14. Chaîne de valeur globale de l'entreprise de promotion immobilière

- **Le processus de l'entreprise de construction**: ce processus commence une fois l'appel d'offre terminé, en passant par la construction jusqu'à la livraison.
- **Le processus client:** le processus client a été présenté dans la Figure 11 et est intégrée dans celui de l'entreprise de promotion immobilière une fois la signature notariale réalisée.

Les retards de livraison étudiés sont basés sur le processus client, qui est le processus qui génère "l'insatisfaction des clients". Ainsi, dans la partie suivante de l'étude, le terme «projet» réfère à la partie «Construction-Livraison" du processus décrit à la Figure 14.

5.2.2. Quantifier le problème

On a demandé aux clients d'évaluer leur expérience avec les délais de livraison avec un score de 1 à 10. Les clients ont également été autorisés à noter: «Je ne sais pas» dans leur réponse. Parmi les 221 échantillons, 10 ont choisi «Je ne sais pas" comme réponse ". Les résultats sont présentés dans le Tableau 5. La différenciation entre les «clients insatisfaits et« clients satisfaits » est basée sur le

Net Promoter Score (Reichheld 2013): un client satisfait est uniquement attribué à un score supérieur ou égal à 7.

Tableau 5. Retour des clients sur les délais de livraison.

	Score	Nombre de votes	Total
Clients insatisfaits	0	24	121 (57%)
	1	4	
	2	9	
	3	16	
	4	13	
	5	26	
	6	29	
Clients satisfaits	7	38	90 (43%)
	8	35	
	9	11	
	10	6	

L'enquête révèle que 57% des clients sont satisfaits des délais de livraison de leurs appartements. Le problème est ainsi quantifié et sa pertinence évaluée.

5.2.3. Collecte des données

Dans le but d'évaluer la performance du processus en cours, deux types de données ont été collectés:

- Les délais de livraison de 16 projets: cette donnée permet d'évaluer la « sortie » du processus.

- Les retards liés à chaque étape du projet: cette donnée permet d'identifier les causes racines des retards de livraison.

5.2.4. Performance actuelle du processus

16 projets typiques ont été évalués. La Figure 15 présente les retards de livraison en mois. Les valeurs négatives signifient que le projet est livré avant la date prévue.

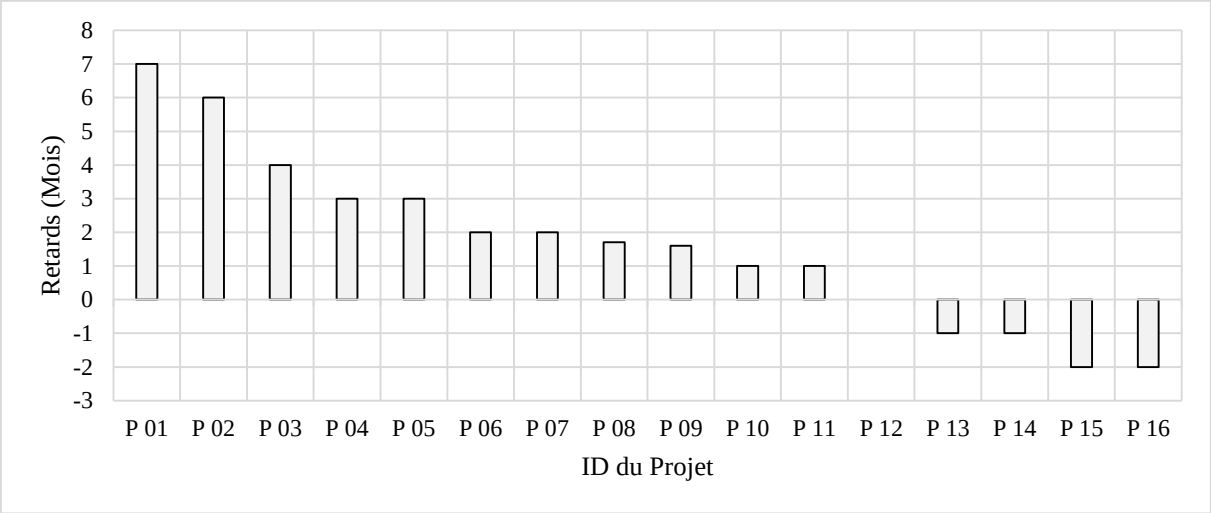


Figure 15. Retards de livraison de 16 projets.

Près de 69% des projets subissent des retards de livraison. La moyenne de l'échantillon est de 1,64 mois retard et la médiane est de 1,65 mois. En ce qui concerne les projets qui sont en avance (au nombre de 4), deux d'entre eux utilisent une construction basée sur une structure du bois. Cette dernière permet la préfabrication hors site, ce qui génère un gain de temps considérable lors de la construction.

5.3. D – M – Analyser – I – C

5.3.1. Analyse critique d'un projet de construction typique

Afin de comprendre les causes de ces retards, un projet a été choisi pour une analyse avancée. Alors qu'une analyse de chaque projet pourrait donner plus d'informations sur les causes racines du problème, l'absence de données était l'un des principaux obstacles dans la conduite de la recherche. Projet 4 (P04) a été sélectionné en raison de la disponibilité des données; les autres projets manquent d'ensemble complet de données pour une analyse argumentée.

L'outil « 5 Pourquoi » est un outil Lean qui nous a servi pour cibler les causes racines.

P04 avait 3 mois de retard. ***Pourquoi ?***

La Figure 16 décrit les dates d'achèvements prévues et réelles des différentes phases de construction. Les deux premières phases "Préparation / Installation" et "Désamiantage" phases sont réalisées dans les temps. Le retard commence pendant la phase «Travaux de structure». En plus de cela, les «Corps d'états secondaires» ne sont pas finis dans les temps. Vu que la phase « Corps d'états secondaire » est la dernière avant la livraison, la réponse au premier pourquoi se est donc lié à cette phase : le projet a connu des retards à cause de cette phase.

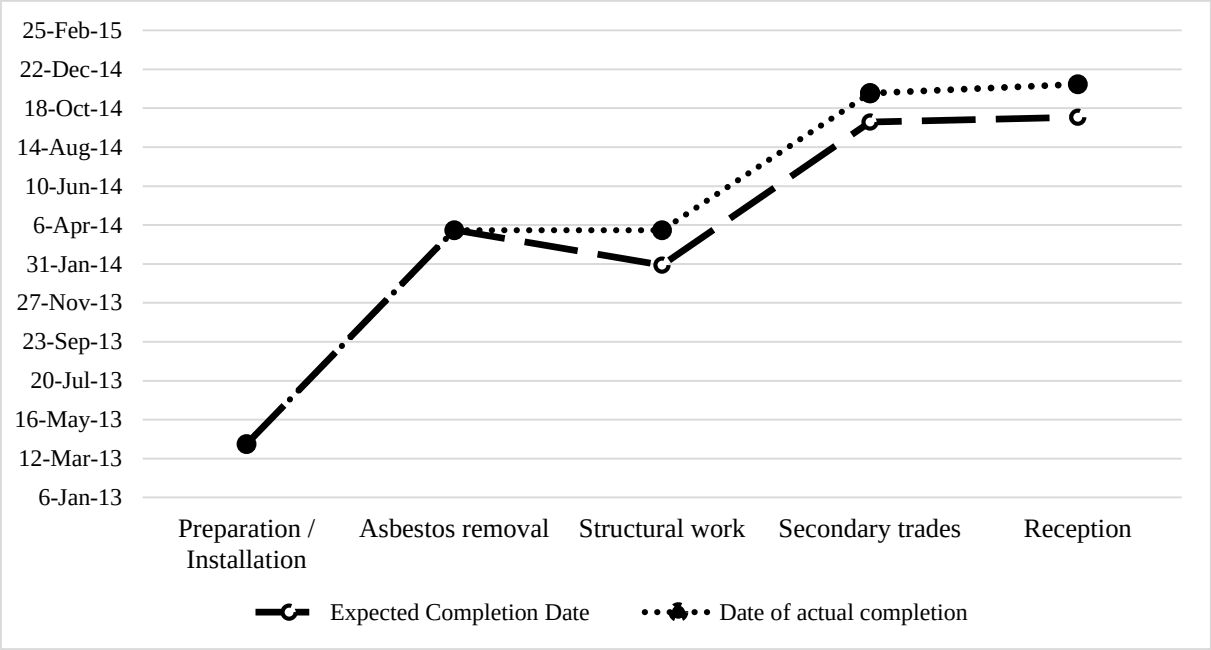


Figure 16. Dates d'achèvements prévues et réelles des différentes phases de construction : P04.

Le prochain pourquoi est demandé:

P04 a eu 3 mois de retard parce que les métiers secondaires ont subi 2 mois de retard. ***Pourquoi?***

La Figure 17 présente les dates de fin travaux prévues et réelle des phases de construction P04. Les deux phases "Préparation / Installation" et "Désamiantage» ont commencé à temps. La phase « Travaux de structure » a démarré à la date prévue également. Cependant, la phase "corps d'états secondaires" a connu le premier retard, ce qui a provoqué le retard total du projet.

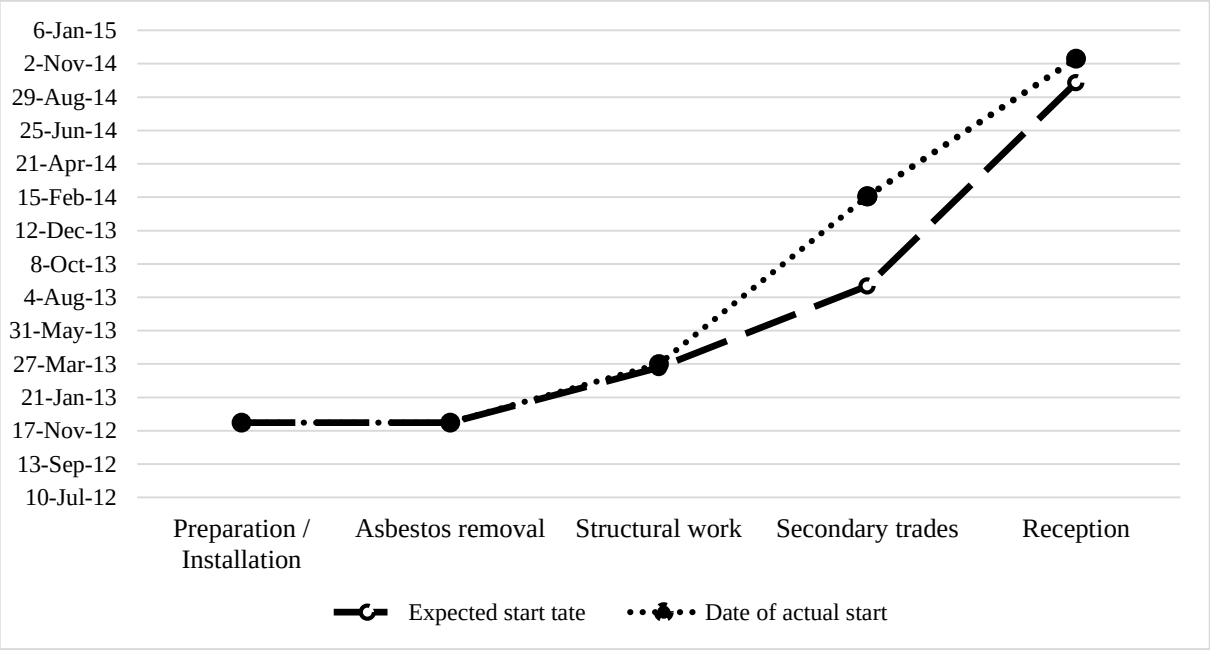


Figure 17. Dates de fin travaux prévues et réelle des phases de construction P04.

Le troisième “Pourquoi” est ensuite formulé:

La phase « Corps d’états secondaires » a connu 2 mois de retard, car elle n'a pas commencé dans les temps. ***Pourquoi?***

Le Tableau 6 décrit les principales étapes de la phase « corps d’états secondaires » avec les dates de début / fin prévues et réelles. La première étape "réception des châssis" doit débuter avant que le 05/12/13 alors qu'elle a commencé avec 2 mois de retard. La cause de l'arrivée tardive est discutée plus tard.

La première étape a pris 74 jours sachant que c’est un sous-traitant qui en est en charge. Le retard de près de deux 2 mois pour la réception des châssis a provoqué le retard des étapes suivantes générant ainsi un «effet domino».

Tableau 6. Principales étapes de la phase « Corps d'états secondaires » dates début fin/ prévues, réelles.

Etapes	Date début prévue	Date début réelle	Date de fin prévue	Date de fin réelle
Réception des châssis	Avant le 05/12/13	17/02/14	05/12/13	21/03/14
Mise en place du châssis	05/12/13	24/02/14	17/02/14	24/04/14
Étanchéité des toitures / terrasses	13/12/13	24/02/14	04/02/14	02/05/14

Pour mieux comprendre le démarrage tardif de l'étape «réception des châssis", la phase «travaux de structure» est étudié dans cette partie.

1. La phase comprend quatre grandes étapes:
2. Excavation / fondation.
3. Infrastructure R-1.
4. Infrastructure R-2.
5. Superstructure.

La Figure 18 présente l'avancement du projet de la phase « Travaux de structure » prévu et réel.

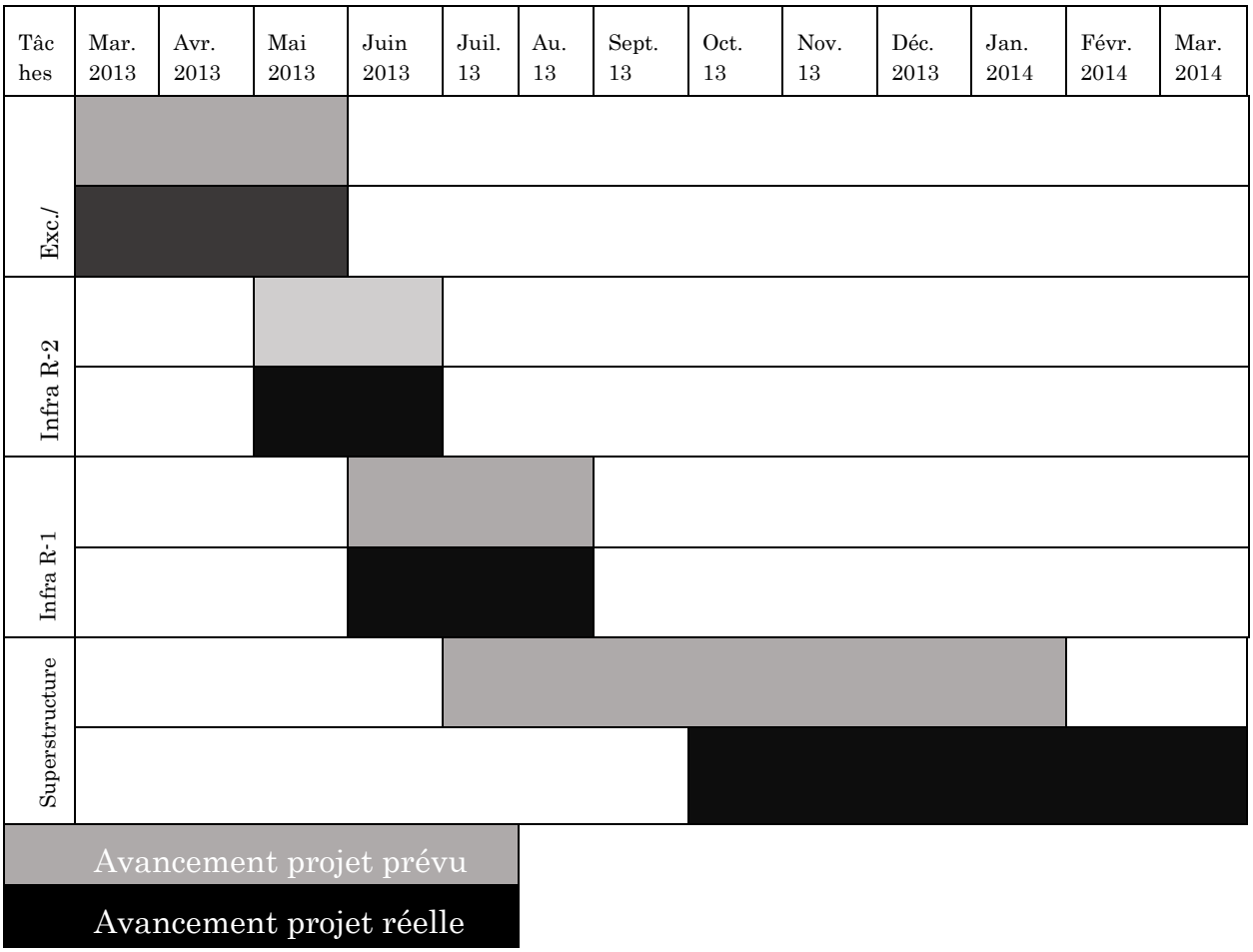


Figure 18. Avancement du projet de la phase « Travaux de structure » prévu et réel.

Les phases "Excavation / fondations", "Infrastructure R-2" et "Infrastructure R-1" sont effectuées dans les temps. Cependant, dans la phase "Superstructure", un déphasage de 3 mois dans le calendrier s'installe.

Cette analyse permet de localiser les causes du retard dans le processus. La prochaine partie de l'étude porte sur l'identification des causes racines.

5.3.2. Potentielles causes racines

Grâce à une session de brainstorming avec les responsables des projets 01-16 (Figure 15), une liste des potentielles causes des retards a été fixée. Les principales causes ont été sélectionnées et résumées dans le *diagramme causes et effets* suivant (Figure 19) :

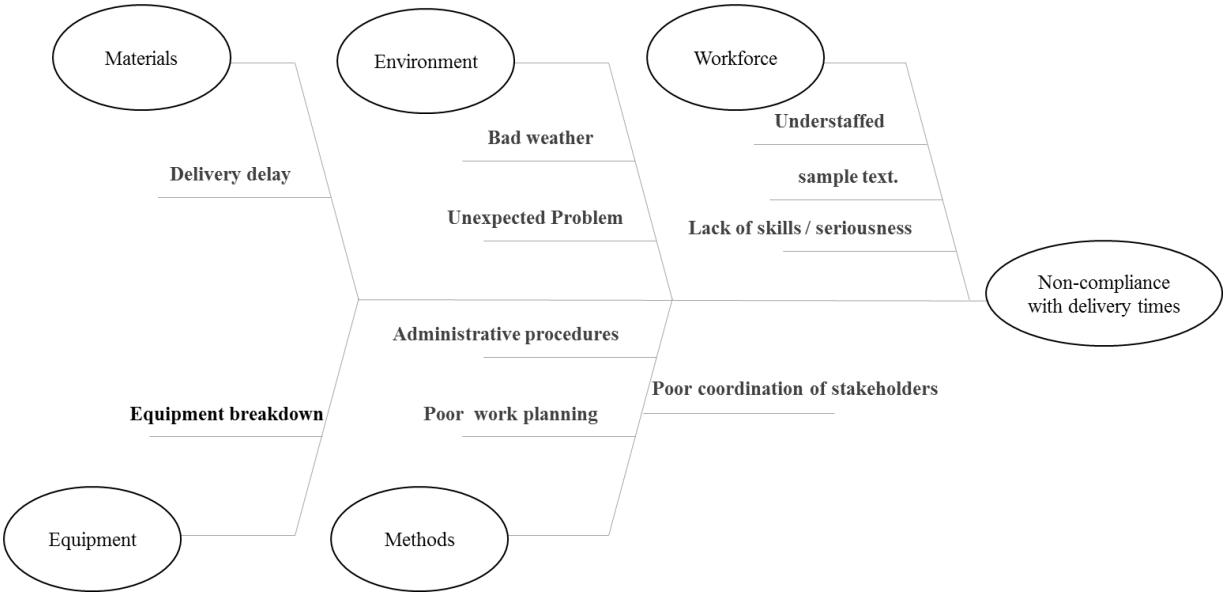


Figure 19. Diagramme « causes et effets » liés aux causes potentielles des retards de livraison.

Ensuite, un questionnaire a été élaboré et envoyé aux responsables projets afin d'évaluer ces causes. Chaque cause potentielle est évaluée en fonction de deux critères avec une échelle 1-4:

- Gravité: varie de 1 à 4. 1 étant la cause la moins sévère.

- Fréquence: varie de 1 (une cause rare) à 4 (une cause presque inévitable).

Le score final de chaque cause est la multiplication de gravité et la fréquence. La figure 16 décrit la répartition des causes potentielles en fonction du score final.

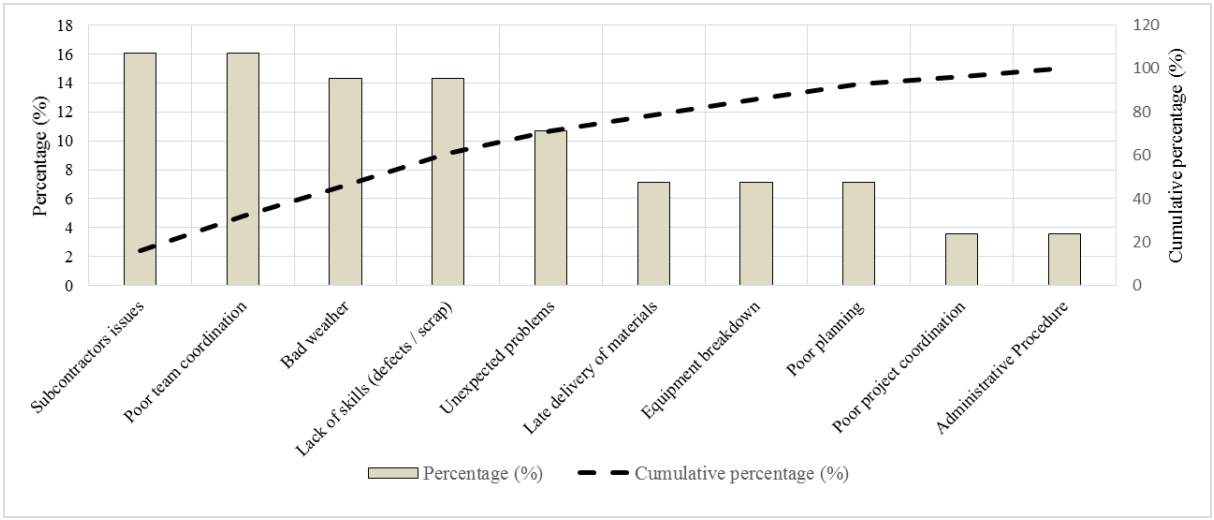


Figure 20. Diagramme de Pareto des causes racines des retards de livraison.

Grâce au diagramme de Pareto, six principales causes racines ont été déduites :

- Les problèmes liés aux sous-traitants: l'environnement économique difficile actuel conduit plusieurs sous-traitants à faire faillite au cours de la phase de de construction. La deuxième difficulté avec les sous-traitants est la lourdeur tâches administratives.
- Problèmes inattendus sur chantier non pris en compte en phase de conception: la qualité du sol est souvent un élément de surprise à un stade précoce de l'excavation, non diagnostiqué en phase de conception: l'identification des roches ou bien une faible capacité portative du sol sont des exemples. Ces questions, si prises en compte au début, peuvent créer un changement radical dans le calendrier du projet.
- Manque de compétences: le manque de compétences des collaborateurs sur chantier conduit à la casse et des pièces non conformes qui génèrent du travail supplémentaire *(Rework)* provoquant un retard important.
- Une mauvaise coordination de l'équipe travaux: l'existence de nombreuses parties prenantes impliquées dans la construction (équipes plomberie, électricité, gros œuvre, carrelage, fenêtre, etc.) rend la coordination difficile. En conséquence, les malentendus génèrent des retards.
- Intempéries: les retards sont fréquents pendant la saison d'hiver. La pluie et la neige jouent un facteur important dans le respect des délais de livraison.

5.4. D – M – A – Innover – C

La phase "Innover" propose différentes solutions qui modifient le processus défectueux. Ces changements sont à mettre en œuvre et à expérimenter.

5.4.1. Évaluer les sous-traitants

Les sous-traitants en faillite se trouvent être un problème récurrent. Du point de vue de l'entreprise de promotion immobilière, des mesures préventives peuvent réduire les risques de tomber sur un sous-traitant défaillant. Par exemple, la mise en œuvre d'un système de base de données qui enregistre l'état des sous-traitants, le nombre de projets réalisés et le rendu de qualité.

Il est également possible d'améliorer la performance des sous-traitants par la gestion d'une chaîne d'approvisionnement efficace. Dans sa thèse de doctorat, (O'Brien 1998) a investigué, dans le chapitre 4, les stratégies suivies par les fournisseurs pour assurer une relation durable avec l'entrepreneur général (entreprise de construction).

5.4.2. Effectuer une étude du sol en phase conception

L'enquête de terrain permet de comprendre le type du sol sur lequel reposera la superstructure. La mission de l'étude du sol est généralement réalisée en amont

d'un projet de construction afin d'identifier les risques inhérents au terrain à acheter.

Le coût d'une enquête de terrain est d'environ 1% de l'investissement global. Les coûts gagnés pendant la durée du chantier permettent de rendre cet investissement rentable (retard de livraison, solutions techniques complexes pour soutenir la structure, etc.).

5.4.3. Améliorer le processus de sélection de l'entreprise de construction

Pour faire face à "une mauvaise coordination des équipes travaux» et la cause ««manque de compétences», l'entreprise de promotion immobilière devrait intégrer d'autres mesures de sélection de l'entreprise de construction que la mesure « coût ».

Une solution est d'ajouter des spécifications de construction « Lean » dans leur appel d'offre. Au lieu de se concentrer uniquement sur le prix proposé, le promoteur immobilier peut se concentrer davantage sur la qualité et la mise en place d'un flux continu.

L'outil Last Planner System® (LPS) (expliqué en chapitre 1 partie 2.4) pourrait être mis en œuvre pour faciliter la communication et le suivi tout au long du cycle de vie du projet de construction.

5.4.4. Intempéries

Les responsables de projets de construction (entreprise de construction) intègrent généralement le retard lié aux conditions météorologiques dans leur planification initiale. En plus de cela, le travail effectué durant l'hiver concerne les parties de la construction indépendante de la météo. Par exemple, la planification des corps d'états secondaires (travaux à l'intérieur de la structure) est plus pratique que l'ajout d'un travail plus structurel dans le calendrier.

Bien que ces pratiques soient appliquées, la question est de communiquer efficacement aux clients les retards potentiels dus au mauvais temps.

5.5. D – M – A – I – Contrôler

La phase «contrôler» concerne le développement des indicateurs de suivi pour assurer la pérennité des solutions proposées tout en intégrant une amélioration continue du processus.

Différents types d'indicateurs existent. (Vukomanović et al. 2010) ont divisé les indicateurs de performance en trois catégories:

- Les indicateurs clé de performance (KPI) : sont des indicateurs qui mesurent la performance des processus inachevés et permettent ainsi une action au cours du projet.

- Les indicateurs de résultats (KPO) : sont des indicateurs qui mesurent la performance des projets achevés et aucune action au cours du projet ne pourrait être réalisée pour changer le résultat final.

- Indicateurs de Perspective (PERM) : sont des indicateurs issus de la perception des parties prenantes. Ils peuvent être soient des indicateurs clés de performances ou bien de résultats. La satisfaction du client est, par exemple, un indicateur de Perspective.

Le Tableau 7 résume les indicateurs de performance fixés pour la phase "Contrôler". Deux indicateurs clés de performance sont établis:

- **Pourcentage des tâches effectuées (**en anglais, Percent Plan Complete, PPC) : est un indicateur issu de la littérature sur le Lean Construction et fait partie inhérente du Last Planner System®. Cet indicateur calcule le pourcentage des tâches accomplies (par rapport à ce qui a été prévu) pendant une période fixée (généralement hebdomadaire). Le suivi de ce rapport permet de détecter les défaillances et intervenir au cours du projet pour éviter que le retard ne prenne une grande ampleur. Les causes de retard sont enregistrées et analysés par la suite.
- **Retard de chaque métier de construction (processus):** en utilisant le Last Planner System®, il est possible de suivre le retard pour chaque processus (métier) de construction. Par exemple, les retards liés à la plomberie, l'électricité ou la structure peuvent être suivis et contrôlés.

Un indicateur de résultats est établi:

- **Retard du projet:** c'est une mesure standard du retard global du projet.

Et un indicateur de perspective:

- **Satisfaction du client:** un indicateur de performance central. Cet indicateur doit être suivi pendant tout le processus client à partir de la date de livraison communiquée jusqu'à la livraison de l'appartement (et même après l'occupation de l'appartement pour avoir un retour sur l'utilisation du bien).

Tableau 7. Indicateurs de performance sélectionnés pour la phase "Contrôler".

Type d'indicateurs	Désignation	Unité	Mesure
Clés de performance (KPI's)	Percent of plan complete (PPC)	%	Nbre tâches complétées / Nbre Tâches prévues
	Retard du processus	Jours	Délai par processus (métier)
Résultat (KPO's)	Délai projet	Mois	Délai du projet global
Perspective (PerM's)	Satisfaction client	Booléen	Enquête de satisfaction
		Echelle de 1 à 10	

6. Conclusion

L'étude de recherche a investigué la mise en œuvre du Lean Six Sigma dans la construction résidentielle dans le but de résoudre les problèmes d'insatisfaction des clients. Nous nous sommes intéressés au problème des « retards de livraison » des appartements, exprimés par les clients finaux (occupants et investisseurs). En utilisant l'approche DMAIC et la philosophie « Lean », le processus défectueux a été identifié et amélioré.

Pendant la phase "Définir ", nous avons établi la «voix du client» et l'énoncé du problème. La «Phase de mesure" a suivi le processus suivi par les clients et les actionnaires liés à l'expérience client. Le problème a ensuite été quantifiée: 57% des clients ne sont pas satisfaits des délais de livraison de leurs appartements. Nous avons ensuite évalué 16 projets de construction typiques et avons trouvé que le délai moyen est de 1,64 mois de retard de livraison et la médiane est de 1,65 mois.

En ce qui concerne la phase "Analyser", l'accent a été mis sur une analyse avancée d'un projet. Les résultats de cette phase ont révélé les causes profondes du problème élaboré au cours de la précédente phase: les problèmes des sous-traitants, des problèmes inattendus tels que la qualité des sols, le manque de compétences, une mauvaise coordination de l'équipe et la météo.

Nous avons ensuite établi des recommandations claires pour chaque cause pendant la phase « Innover ».

Enfin, la phase « contrôler » suggère des indicateurs *Leading*, indicateurs *Lagging* et des indicateurs *Perspective* pour une amélioration continue.

Cette recherche est une première proposition d'introduire la méthodologie Lean Six Sigma dans le secteur de la construction par l'intermédiaire d'une mise en œuvre dans une entreprise de promotion immobilière spécialisée dans l'acquisition, le développement et la gestion, entre autres, des propriétés. Le processus suivi par le client dans un projet de construction est très long (en moyenne plus d'une année) et compliqué par rapport à d'autres industries (quelques jours à quelques semaines). Ainsi, la détection des causes d'insatisfaction des clients est plus complexe. La méthodologie LSS s'avère être également une approche efficace et structurée pour identifier les causes profondes en construction. Cependant, le défi principal de son implémentation réside en la collecte des données nécessaires pour établir un argumentaire et analyse critique. De ce fait, la recherche doit se concentrer sur les moyens d'exploiter l'information tout au long du processus de construction.

Chapitre 2

Mise en évidence de la variabilité du coût tout au long de la chaîne de construction

Mots-clés – Coût, construction, chaîne de valeur, écarts, conception, promotion immobilière

1. Introduction

Cette étude part d'un constat important : lors d'un projet immobilier, il existe une différence importante entre la prévision du budget initial et le budget final. Les écarts de coûts dans un projet de construction entre la première estimation réalisée par le client et le coût réel de construction à la fin du projet sont mis en évidence. Notre étude s'est donc axée sur des indicateurs qui retracent le coût global d'un projet de construction du point de vue du client, dans ce cas l'entreprise de promotion immobilière.

Dans un second temps, le risque de dépassement du budget fixé est contrôlé grâce à un outil qui s'appelle le PDRI (Project Definition Rating Index). Cet outil a été adapté à la structure de l'entreprise de promotion immobilière étudiée et une proposition de son utilisation est présentée à la fin de ce chapitre.

1.1. Objectif de la recherche

Le projet de recherche a pour but de réaliser les objectifs suivants :

- Mettre en évidence les écarts des coûts des projets de construction.
- Analyser les écarts entre la conception initiale par validée par le client et construction finale.
- Proposer un outil pour évaluer, dès les premières phases du projet, les risques de dérapages des coûts.

1.2. Contribution scientifique

Le gaspillage entre la phase « conception » et « construction » est discuté dans la littérature sous forme d'études de cas et de retours d'expérience de la part des professionnels. Ce chapitre met en évidence le gaspillage quantifié en termes de coût entre la conception initial du projet (budget initial mis sur la table par le client) et le budget réel (final). Une preuve quantifiée est donc introduite grâce à ce travail de recherche.

1.3. Contribution pratique

Le projet de recherche s'inscrit également dans une optique d'accompagner les entreprises de promotion immobilier (et en particulier Nacarat) dans l'identification des points sensibles dans la conception.

1.4. Originalité

Cette étude tient en compte l'écart du coût dans globalité de l'acte de construire (une vue macro de la chaîne de construction). Cette perspective globale permet une certaine objectivité dans l'analyse pour fournir les étapes du projet catalyseur de l'augmentation du coût.

2. Recherche bibliographique

2.1. Project Definition Rating Index (PDRI)

Le PDRI (Construction Industry Institute 2013) est un outil développé par le CII (Construction Industry Institute 2016)) qui permet d'établir une analyse des risques quantifiables d'un projet de construction. Le but principal est d'identifier et de décrire, par le biais d'une check-list standardisée, de nombreux éléments nécessaires au bon déroulement d'une opération afin de pouvoir mener des actions préventives ou correctives. Cet outil possède la particularité de pouvoir être utilisé durant la planification préparatoire lors de la faisabilité, de la conception et des études et par différents acteurs : les promoteurs, la maitrise d'œuvre ainsi que les constructeurs. Il s'agit donc d'un outil optimisé pour être utilisable par tous et pour n'importe quelle phase d'un projet de construction.

2.1.1. Sections de l'outil PDRI

Figure 21. Les 3 sections constitutives de l'outil PDRI

Le PDRI est décliné sous forme de 3 sections qui tracent l'avancement de la définition d'un projet de construction (Figure 21): la première section est celle de la « Définition » : c'est la première étape d'un projet de construction. Ensuite vient la section « Conception » et enfin « Exécution. Le schéma global du PDRI est présenté dans l'Annexe 1: Schéma de l'outil PDRI. Le PDRI est composé de 64 indicateurs regroupés constituant les trois grandes sections « Définition, Conception et Exécution ». Ces 64 indicateurs (voir en Annexe) sont abordés plus loin lors de l'analyse du PDRI dans la partie « PDRI pour contrôler les écarts d'une opération de construction».

2.1.2. Principe de notation

Le principe de notation repose sur la définition d'une note de 0 à 5 pour les 64 indicateurs de la liste afin d'arriver à un total sur 1000.

On définit un score de 0 à 5 pour chaque élément :

0 : Non applicable

1 : Complètement défini

2 : Bien défini

3 : Partiellement défini

4 : Peu défini

5 : Incomplet

Chaque indicateur possède ses propres coefficients définis par le CII. Le but étant d'obtenir le score le plus bas possible. Un tableau est donc à remplir pour chaque indicateur en donnant le score de définition pour chaque élément grâce à une liste d'éléments à prendre en compte dans la grille de notation.

Le Tableau 8 est un extrait original de l'outil PDRI présentant les différents coefficients des indicateurs en fonction de leurs notes (entre 0 et 5). Il est intéressant de noter que les scores ne sont pas définis linéairement et que les indicateurs n'ont pas tous le même poids. En effet les scores varient de 4 à 44 points pour un niveau d'avancement minimum d'une tache. Ce qui traduit bien une différence d'importance entre les indicateurs bien que le CII conseille fortement de s'attacher à travailler sur tous les indicateurs pour être sûr de mener un projet dans les meilleures conditions. Ces scores ne sont pas connus au moment du remplissage du tableau.

Tableau 8. Pondérations des indicateurs du PDRI *(issu de l'outil PDRI)*

SECTION I - BASIS OF PROJECT DECISION							
CATEGORY Element	Definition Level 0	1	2	3	4	5	Score
A. BUSINESS STRATEGY (Maximum = 214)							
A1. Building Use	0	1	12	23	33	44	
A2. Business Justification	0	1	8	14	21	27	
A3. Business Plan	0	2	8	14	20	26	
A4. Economic Analysis	0	2	6	11	16	21	
A5. Facility Requirements	0	2	9	16	23	31	
A6. Future Expansion/Alteration Considerations	0	1	7	12	17	22	
A7. Site Selection Considerations	0	1	8	15	21	28	
A8. Project Objectives Statement	0	1	4	8	11	15	
						CATEGORY A TOTAL	
B. OWNER PHILOSOPHIES (Maximum = 68)							
B1. Reliability Philosophy	0	1	5	10	14	18	
B2. Maintenance Philosophy	0	1	5	9	12	16	
B3. Operating Philosophy	0	1	5	8	12	15	
B4. Design Philosophy	0	1	6	10	14	19	
						CATEGORY B TOTAL	
C. PROJECT REQUIREMENTS (Maximum = 131)							
C1. Value-Analysis Process	0	1	6	10	14	19	
C2. Project Design Criteria	0	1	7	13	18	24	
C3. Evaluation of Existing Facilities	0	2	7	13	19	24	
C4. Scope of Work Overview	0	1	5	9	13	17	
C5. Project Schedule	0	2	6	11	15	20	
C6. Project Cost Estimate	0	2	8	15	21	27	
						CATEGORY C TOTAL	
Section I Maximum Score = 413						SECTION I TOTAL	

Le CII préconise d'obtenir un **score inférieur à 200** pour obtenir le plus de chance d'obtenir un projet bien préparé et abouti (Tableau 9). Cette barre de 200 correspond à des analyses sur les projets utilisant le PDRI menés par le CII (Construction Industry Institute).

Tableau 9. Statistiques du CII sur le PDRI

Performance	Score PDRI	
	< 200	> 200
Coûts	3 % Budget dépassé	9 % Budget dépassé
Planning	5 % Planning retardé	21 % Planning retardé
Modifications	8 % du budget	11 % du budget

Le Tableau 10 retranscrit le score total pour chacune des 3 sections ainsi que les 11 catégories correspondantes.

Tableau 10. Score des différentes sections et catégories du PDRI

Définition (413)	
Business stratégie	**214**
Philosophie d'entreprise	**68**
Exigences du projet	**131**
Conception (429)	
Informations sur le terrain	**109**
Planification de chantier	**162**
Paramètres de conception	**122**
Equipements	**36**
Exécution (158)	
Approvisionnement	**25**
Livrables	**11**
Contrôles	**62**
Plans d'Exécutions	**60**
Total	**1000**

Il est donc important de noter qu'au premier abord on s'aperçoit que les sections « Définition » et « Conception » sont très importante en phase amont du projet que la section « Exécution ». En effet à elles deux, elles représentent 50 indicateurs sur 64 et 85% du poids du score total. Cependant, la partie

« Exécution » n'est pas à négliger étant donné qu'elle présente la stratégie d'approvisionnement, de contrôle, et la façon dont le projet doit être livré.

Il est également important de prendre en compte le fait que le projet ne doit pas être évalué par une seule personne. Il est conseillé de réunir le plus de parties prenantes (responsable de projet, architecte, MOE, BET, constructeur, promoteur…) en fonction de l'avancement du projet afin de participer à cette notation et que chacun apporte son point de vue sur chaque indicateur et que la note soit mise à l'unanimité.

2.1.3. Possibilité d'utilisation de l'outil PDRI

Il est possible d'utiliser cet outil de différentes manières :

- **En phase d'avant-projet et/ou de gestion de projet :** Le PDRI peut être utilisé à différentes étapes du projet, en avant-projet pour s'assurer si tout a bien été pensé avant le lancement du projet, et en suivi de projet grâce à l'avancement des indicateurs.
- **En identifiant les éléments les plus importants :** Il est possible de ne cibler que les 10 éléments les plus importants (rassemblant 275 points) et en se focalisant dessus uniquement.
- **En fonctionnant du % d'avancement par catégories :** On peut également avoir une visualisation de chaque indicateur, catégorie ou section en termes de pourcentage d'avancement que ce soit au niveau de l'étude ou de la réalisation. Cela permet de donner une importance plus homogène entre les différents indicateurs.
- **En identifiant les points faibles d'un projet :** Réaliser le PDRI le plus tôt possible permet de pouvoir cibler les points faibles et/ou critiques d'un projet.
- **En analysant les axes de travail restant :** Pouvoir cibler les points faibles d'un projet permet également de quantifier le travail qu'il reste à faire dans certains domaines afin d'abaisser le score du projet. En faisant une révision régulière du projet avec le PDRI, on peut à chaque fois cibler les points clés à travailler afin de pouvoir améliorer la notation.
- **En adaptant l'outil avec de nouvelles pondérations :** Il peut également être conseillé d'adapter l'outil au fonctionnement de son entreprise en fonction de sa stratégie, s'appropriant l'outil, en modifiant par exemple les coefficients des indicateurs.

3. Contexte de la recherche

3.1. Structure standard d'une entreprise de promotion immobilière

Le promoteur immobilier prend l'initiative de la réalisation immobilière et assume la responsabilité de la coordination des opérations intervenant pour l'étude, l'exécution et la mise à disposition des usagers de programmes de construction. Il a sous sa responsabilité le suivi des opérations de conception et de réalisation de programmes immobiliers. Cela inclut le choix du terrain, la définition du programme, la composition de l'équipe de maîtrise d'œuvre (chargée de la réalisation des projets et du contrôle de l'exécution des travaux), la passation des marchés de travaux, le suivi de la construction et la vente du bien immobilier.

On peut distinguer deux grandes familles de promotion immobilière : les logements, et l'immobilier commercial (entreprises, bureaux, entrepôts). Pour chaque opération immobilière, on peut répartir les tâches selon trois services: développement foncier, responsable de programme et responsable technique (Figure 22).

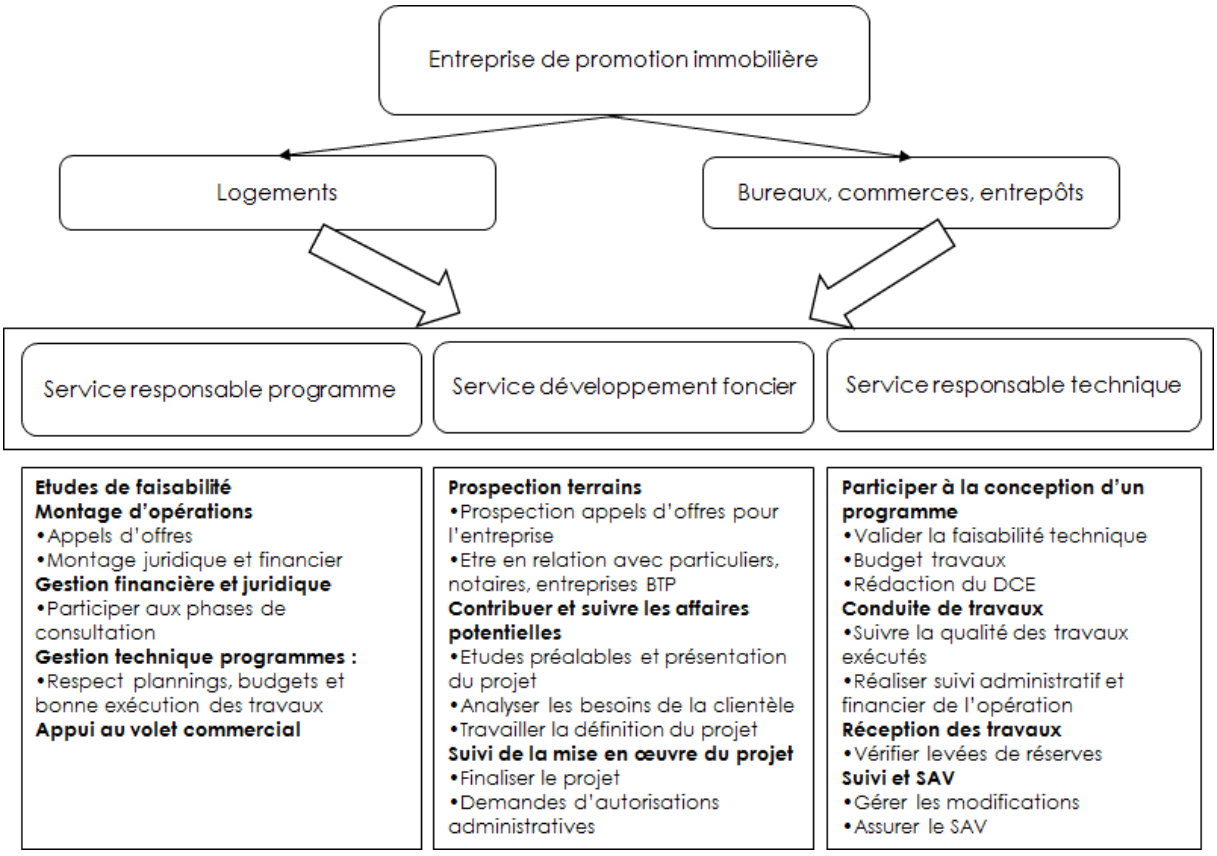


Figure 22. Structure fonctionnelle standard d'une entreprise de promotion immobilière

C'est également possible d'ajouter un service commercial dans le cas d'une vente en interne : le promoteur immobilier peut alors avoir un rôle « d'agence immobilière interne » dans ce cas de figure (Figure 23) ou bien faire appel à une

entreprise externe. L'analyse du coût de la commercialisation interne et externe est incluse dans cette étude et est présentée dans la partie « Résultats et discussion ».

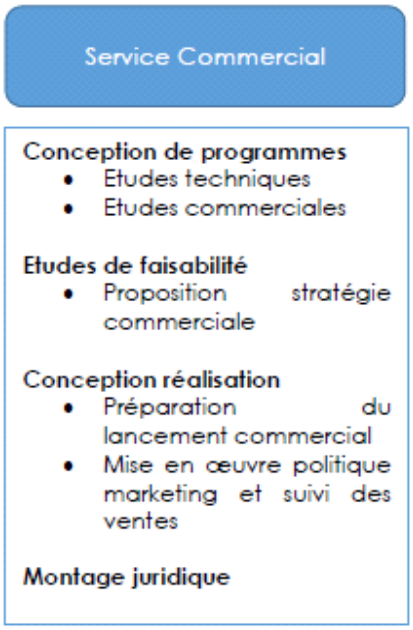


Figure 23. Déclinaison du service commercial d'une entreprise de promotion immobilière

3.2. Les étapes d'une opération immobilière

Un programme suit les étapes suivante chez Nacarat : un programme est tout d'abord soumis au **Comité d'Engagement** (CE) avec au préalable une étude du site, du projet, une étude du marché et de la concurrence, un budget dédié aux travaux, et en définissant la stratégie de commercialisation du projet.

Si le projet est accepté, il passe ensuite en phase de **Transfert Foncier-Montage** (TFM) qui correspond à la constitution d'une société gérant le bien mais également à la programmation commerciale, la signature de la promesse de vente, le montage de l'opération avec une optimisation technique et des études.

Lors de la **Revue Permis de Construire** (RPC) une revue financière et technique plus poussée est effectuée conduisant à la constitution du dossier de consultation des entreprises ainsi qu'au dépôt du permis de construire.

Une fois le permis de construire obtenu, vient le **Lancement Commercial** (LC) durant lequel les entreprises sont consultées et le dossier commercial monté, menant à une pré-commercialisation et une gestion de la relation client.

A la suite de la validation technique et financière s'en suit la **Validation Finale** (VF) qui débouche sur la signature des marchés, la réalisation du projet, le suivi des travaux, la réception et la livraison avec ou sans réserves. Le projet passe ensuite en **Transfert Service Après-Vente** (TSAV).

Le **Bilan Qualité** (BQ) correspond à un bilan financier, technique et commercial ainsi qu'une enquête de satisfaction auprès du client avant de vraiment clore le projet et la société le gérant.

Chacune de ces phases de la vie d'un projet est analysée lors de points d'arrêts formalisés par le **Système de Management de l'Opération** (SMO) qui décrit l'opération de promotion immobilière dans son ensemble.

3.3. La problématique chez l'entreprise de promotion immobilière

Le projet de recherche s'inscrit dans le cadre d'une démarche de restructuration au niveau du lancement d'une opération de construction. Actuellement, une révolution du secteur de la construction est en cours pour objectif de devenir : plus organisé et maitrisé en termes de coût, qualité, délais de livraison et aussi l'introduction de nouvelles techniques et procédés organisationnels dans le domaine de la construction (Bock 2015a). Le projet utilise des indicateurs et la cartographie des processus pour identifier la chaîne de valeur des coûts. Enfin, le projet propose un outil pour mitiger les risques de dérapage des coûts d'un projet de construction de bâtiments.

4. Méthodologie de recherche

4.1. Collecte des données

56 programmes de logements issus de la base de données du promoteur immobilier concernent cette étude et réparties selon 3 régions en France.

- Ile-de-France (IDF) : 18 projets.
- Lille : 19 projets.
- Ouest-Sud-Est (OSE) : 19 projets.

4.2. Calcul indicateur

La différence du coût (%) se fait entre le bilan établi lors du Comité d'Engagement (CE) et le bilan Réel en fin des travaux divisé par le Chiffre d'Affaire de l'opération (CA). La formule de la différence du coût est calculée suivant l'équation suivante :

$$\Delta = \frac{B_r - B_{ce}}{CA}$$

Tel quel :

Δ : différence du coût du projet (%).

B_r : Bilan réel de l'opération (€).

B_{ce} : Bilan établi lors du CE (coût de l'opération initial).

CA : Chiffre d'Affaire de l'opération.

Le coût d'une opération de construction, du point de vue du promoteur immobilier, est réparti selon 3 principales catégories :

Tableau 11. Catégories du coût global de la construction et indicateurs respectifs.

Catégories	Indicateurs
Foncier et construction	Foncier
	Marché travaux
	VRD (Voirie et Réseaux Divers)
	TS (Travaux Supplémentaires) + Aléas)
	Divers construction
Honoraires	Assurance
	Bureaux d'Etudes et pilotage (BE et pilotage)
	Architecte + MO (Maître d'œuvre)
	Démolition dépollution
Commercialisation	Frais annexes
	GFA (Garantie Financière Achèvement)
	Frais financiers
	Commercialisation externe
	Gestion interne
	Commercialisation interne
	Aide à la vente
	Frais commerciaux
	Associés externes

La somme de tous ces indicateurs est considérée égale au Chiffre d'Affaire de l'opération.

La prochaine étape est l'identification, pour chaque projet, des indicateurs tels que la différence du coût est :

$\Delta > 1\%$

4.3. Types d'analyses

Dans la prochaine section du chapitre, l'analyse se fait :

- Par région : analyser la différence des coûts selon les 3 régions étudiées (OSE – Lille – IDF).
- Par nombre de lots : une analyse selon le nombre de lots des projets de construction. Une comparaison de l'évolution des coûts pour les projets :

  0-32 lots --> 20 projets

  33-51 lots --> 17 projets

  52 et + --> 19 projets

- Par budget de projet : 3 catégories de tailles équivalentes :

  3 à 7 M€ --> 20 projets

  7,5 à 13 M€ --> 20 projets

  13,5 à 32 M€--> 16 projets

- Analyse des indicateurs de commercialisation : contrairement à une entreprise de construction qui a pour cœur de métier de « construction », une entreprise de promotion immobilière a pour but de « vendre ». Dès lors, la commercialisation est un composant crucial dans l'acte de vente. On essaiera pour cette dernière analyse de voir comment les différents canaux de commercialisation affectent le coût global du projet de construction.

5. Résultats et discussion

5.1. Mise en évidence des écarts dans les projets de construction

5.1.1. Analyse globale

Le Tableau 12 présente le bilan global des 56 projets, regroupés selon les 3 catégories du Tableau 11 :

- Foncier et travaux : marchés travaux, VRD, divers construction etc.
- Les honoraires : BE Pilotage, MO + architecte, assurance etc.
- La commercialisation : (commercialisation externe, commercialisation Nacarat, gestion Nacarat, frais commerciaux etc.).

Tableau 12. Bilan global des indicateurs avec une évolution supérieur à 1%

Bilan global (56 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA total (€)	%
Travaux + foncier	65	**4 858 381,00 €**	**562 075 000 €**	0,86%
Honoraires	8	**48 684,00 €**	**562 075 000 €**	0,01%
Commercialisation	129	**9 676 991,00 €**	**562 075 000 €**	1,72%
TOTAL	**202**	**14 584 056 €**	**562 075 000 €**	**2,59%**

Nous remarquons que 64% des indicateurs avec une évolution supérieur à 1% sont ceux liés à la **commercialisation** et génèrent une hausse du budget de 1,65% sur les 562M€ analysés.

5.1.2. Analyse par région

Les (Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15) représentent le bilan des indicateurs avec une évolution supérieure à 1% des régions IDF, Lille, OSE respectivement.

Nous remarquons que l'évolution **totale** des coûts par indicateurs rogne la marge de Nacarat de **7,92%.** La marge initialement prévue est de 8%. Cette évolution est **principalement** due au passage de la commercialisation de l'interne (Nacarat) à l'externe qui coûte plus chère à l'entreprise. Nous analyserons cette évolution dans une prochaine partie. De plus cette région comporte beaucoup de petits projets (<10M€), et représentent au total un CA de 130M€. **Les marchés de travaux** sont aussi particulièrement sensibles à une évolution positive des coûts exceptés en Ile-de-France qui génère une petite baisse.

L'évolution du marché de travaux a peut-être engendré une petite refonte du projet donc ceux-ci ont eu plus de mal à être vendus.

Après l'étude des 3 régions : nous pouvons remarquer qu'il n'y a pas de différence de répartition des indicateurs selon les régions : les mêmes **indicateurs reviennent à égales proportions**.

Tableau 13. Bilan des indicateurs de la région IDF avec une évolution supérieur à 1%

IDF (18 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA IDF (€)	%
Travaux + foncier	19	- 1 921 937,00 €	**258 455 000 €**	-0,74%
Honoraires	1	**181 056,00 €**	**258 455 000 €**	0,07%
Commercialisation	45	**2 089 556,00 €**	**258 455 000 €**	0,81%
TOTAL	**65**	**348 675 €**	**258 455 000 €**	**0,13%**

Tableau 14. Bilan des indicateurs de la région de Lille avec une évolution supérieur à 1%

Lille (19 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA Lille (€)	%
Travaux + foncier	26	**659 668,00 €**	**170 159 000 €**	0,39%
Honoraires	5	- **175 952,00 €**	**170 159 000 €**	-0,10%
Commercialisation	42	**3 434 205,00 €**	**170 159 000 €**	2,02%
TOTAL	**73**	**3 917 921 €**	**170 159 000 €**	**2,30%**

Tableau 15. Bilan des indicateurs de la région OSE avec une évolution supérieure à 1%

OSE (19 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA OSE (€)	%
Travaux + foncier	20	6 120 650,00 €	130 300 000 €	4,70%
Honoraires	2	43 580,00 €	130 300 000 €	0,03%
Commercialisation	42	4 153 230,00 €	130 300 000 €	3,19%
TOTAL	64	10 317 460 €	130 300 000 €	7,92%

5.1.3. Analyse par nombre de lots

Les 56 projets présentent des tailles suivant le nombre de lots allant de 5 à 200 lots. Nous avons alors analysé l'impact du nombre de lots sur l'évolution du budget et sur la récurrence des indicateurs. Nous avons découpé les projets en 3 échantillons d'égales importances (0-32, 33-51 et 52-200) afin d'avoir suffisamment de projets pour mener une étude statistique pertinente.

Tableau 16. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 0-32 lots

Opérations 0-32 lots (20 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)		%
Démolition dépolution	0	- €	123 590 000 €	0,00%
BE et pilotage	0	- €	123 590 000 €	0,00%
GFA	0	- €	123 590 000 €	0,00%
frais annexes	1	217 360 €	123 590 000 €	0,18%
Assurance	1	88 820,00 €	123 590 000 €	0,07%
Frais financiers	1	204 286 €	123 590 000 €	0,17%
Divers construction	2	251 788 €	123 590 000 €	0,20%
Architecte + MO	2	191 128 €	123 590 000 €	0,15%
TS + Aléas	2	- 285 350 €	123 590 000 €	-0,23%
Associés externe	3	469 615 €	123 590 000 €	0,38%
Aide à la vente	3	260 280 €	123 590 000 €	0,21%
Foncier	4	- 735 077 €	123 590 000 €	-0,59%
Gestion Nacarat	5	- 1 535 915 €	123 590 000 €	-1,24%
Frais commerciaux	6	1 025 600 €	123 590 000 €	0,83%
VRD	8	801 510 €	123 590 000 €	0,65%
Commercialisation Externe	10	2 182 052 €	123 590 000 €	1,77%
Marché travaux	11	1 261 694 €	123 590 000 €	1,02%
Commercialisation Nacarat	13	- 1 450 848 €	123 590 000 €	-1,17%
TOTAL	72	2 946 943 €	123 590 000 €	2,38%

Tableau 17. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 33-51 lots

Opérations 33-51 lots (17 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)		%
Démolition dépolution	0	- €	148 420 000 €	0,00%
BE et pilotage	0	- €	148 420 000 €	0,00%
frais annexes	0	- €	148 420 000 €	0,00%
Divers construction	0	- €	148 420 000 €	0,00%
Assurance	0	- €	148 420 000 €	0,00%
GFA	1	78 720 €	148 420 000 €	0,05%
Frais financiers	1	65 373 €	148 420 000 €	0,04%
Associés externe	2	73 500 €	148 420 000 €	0,05%
Archilecte + MO	3	551 048 €	148 420 000 €	0,37%
TS + Aléas	3	137 932 €	148 420 000 €	0,09%
Foncier	3	259 670 €	148 420 000 €	0,17%
Gestion Nacarat	4	888 120 €	148 420 000 €	0,60%
Aide à la vente	5	391 549 €	148 420 000 €	0,26%
VRD	6	- 653 256 €	148 420 000 €	-0,44%
Commercialisation Nacarat	7	- 1 932 582 €	148 420 000 €	-1,30%
Frais commerciaux	8	1 081 924 €	148 420 000 €	0,73%
Commercialisation Externe	9	2 939 200 €	148 420 000 €	1,98%
Marché travaux	12	5 077 846 €	148 420 000 €	3,42%
TOTAL	64	8 959 044 €	148 420 000 €	6,04%

Tableau 18. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 52+ lots

Opérations 52 et + lots (19 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)		%
frais annexes	0	- €	316 040 000 €	0,00%
Divers construction	0	- €	316 040 000 €	0,00%
GFA	0	- €	316 040 000 €	0,00%
Assurance	0	- €	316 040 000 €	0,00%
Archilecte + MO	0	- €	316 040 000 €	0,00%
Démolition dépolution	1	- 181 146 €	316 040 000 €	-0,06%
BE et pilotage	1	154 440 €	316 040 000 €	0,05%
Foncier	1	193 656 €	316 040 000 €	0,06%
Associés externe	3	1 613 034 €	316 040 000 €	0,51%
Gestion Nacarat	3	- 1 581 837 €	316 040 000 €	-0,50%
Frais financiers	4	- 738 531 €	316 040 000 €	-0,23%
VRD	4	- 377 472 €	316 040 000 €	-0,12%
TS + Aléas	4	1 148 971 €	316 040 000 €	0,36%
Aide à la vente	7	1 919 936 €	316 040 000 €	0,61%
Frais commerciaux	7	1 771 190 €	316 040 000 €	0,56%
Commercialisation Externe	12	7 668 139 €	316 040 000 €	2,43%
Marché travaux	12	- 1 793 989 €	316 040 000 €	-0,57%
Commercialisation Nacarat	12	- 6 486 223 €	316 040 000 €	-2,05%
TOTAL	71	3 310 168 €	316 040 000 €	1,05%

On peut observer **que l'écart commence à se manifester à partir de 46 lots** (Figure 24). Un fois cette limite dépassée, les écarts s'intensifient et la prédiction devient difficile à cerner. Notons la valeur aberrante avec un écart de plus de -40% pour « 38 lots ».

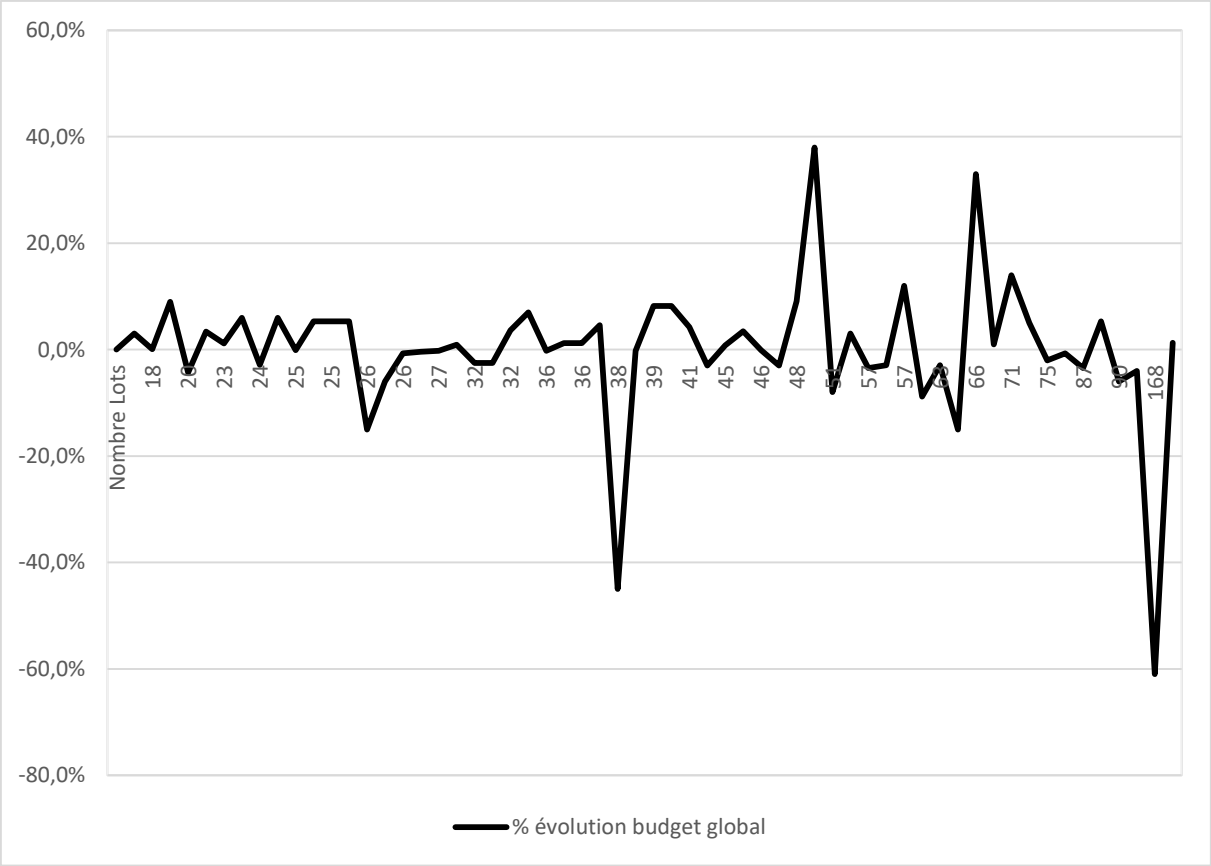


Figure 24. Pourcentage évolution budget global en fonction du nombre des lots des projets

5.1.4. Analyse par budget alloué

Tableau 19. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 3 à 7M€

Opérations de 3 à 7M€ (20 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA (€)	%
Travaux	23	20 124,00 €	**101 500 000 €**	0,02%
Honoraires	2	54 132,00 €	**101 500 000 €**	0,05%
Commercialisation	41	1 941 307,00 €	**101 500 000 €**	1,91%
TOTAL	**66**	**2 015 563 €**	**101 500 000 €**	**1,99%**

Tableau 20. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 7.5 à 13M€

Opérations de 7,5 à 13M€ (20 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA (€)	%
Travaux	25	5 370 846,00 €	**184 410 000 €**	2,91%
Honoraires	6	634 438,00 €	**184 410 000 €**	0,34%
Commercialisation	50	3 926 914,00 €	**184 410 000 €**	2,13%
TOTAL	**81**	**9 932 198 €**	**184 410 000 €**	**5,39%**

Tableau 21. Bilan des indicateurs avec une évolution >1% pour les projets de 13.5 à 32M€

Opérations de 13,5 à 32M€ (16 projets)				
Nom indicateur	Nombre	évolution (€)	CA (€)	%
Travaux	16	210 660,00 €	**281 030 000 €**	0,07%
Honoraires	1	154 440,00 €	**281 030 000 €**	0,05%
Commercialisation	35	3 030 100,00 €	**281 030 000 €**	1,08%
TOTAL	**52**	**3 395 200 €**	**281 030 000 €**	**1,21%**

Nous pouvons remarquer que **42% des indicateurs (81 pour 202)** sont regroupés pour les projets de **tailles moyennes** (Tableau 19, Tableau 20, Tableau 21). Ceux-ci font augmenter les chiffres d'affaires de **5,39%** (contre 1,21% pour les projets les plus chers), ce qui est loin d'être négligeable avec **les 8% de marges prévus initialement**. C'est aussi dans cette catégorie de projet que l'on retrouve la hausse du budget la plus importante due au marché de travaux (plus de 2% d'évolution)

Comme lors de la partie précédente, nous avons regroupé les pourcentages d'évolution cette fois-ci en fonction du coût des opérations (Figure 25). On remarque que l'écart des couts s'intensifie pour les projets à valeurs dépassant les 9 M€ et pour les projets à moins de 4 M€.

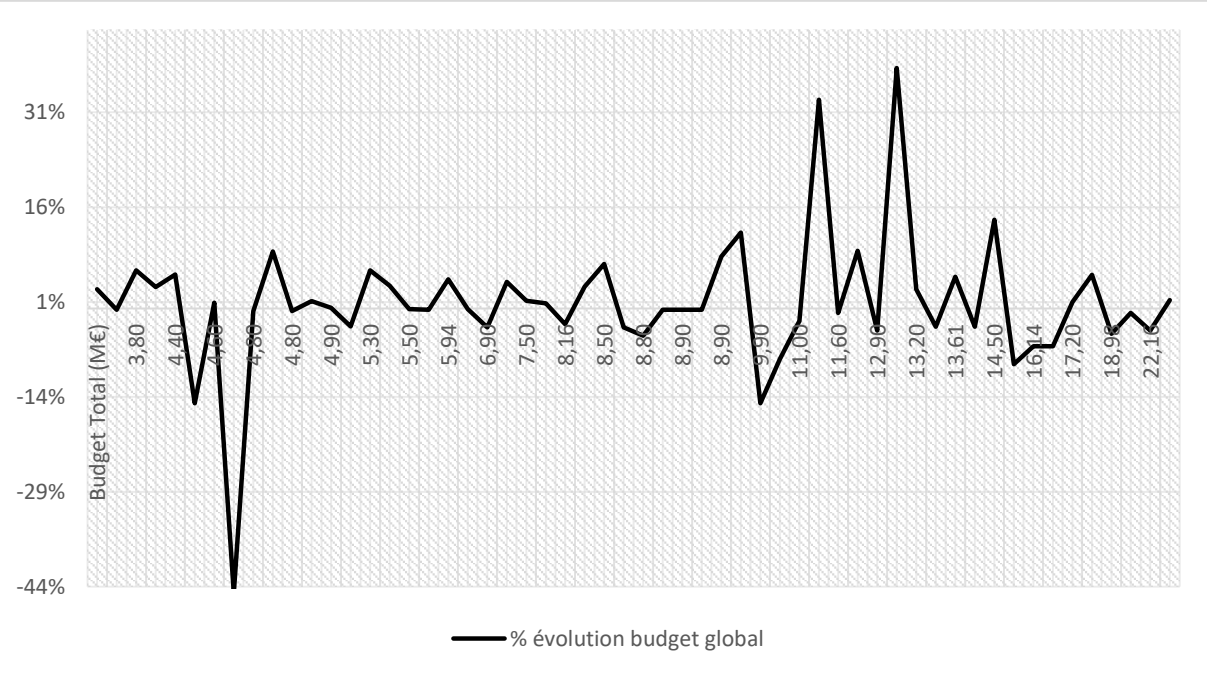


Figure 25. Pourcentage évolution budget global en fonction du coût du projet

5.1.5. *Analyse de la phase de commercialisation*

En promotion immobilière, la commercialisation peut se faire soit en interne soit externe (ou bien les deux en même temps). Le budget de la commercialisation peut donc varier entre « interne » et « externe ».

L'analyse suivante est réalisée sur 16 projets de la région IDF.

Tableau 22. Comparaison des indicateurs "Commercialisation interne et externe" pour 16 projets de la région IDF

Nom du projet	Budget Total (M€)	Indicateurs pertinents	% évolution de l'indicateur
Tendanciel	31,40	honoraires commercialisation nacarat	-8,3%
Les jardins d'Anatole	15,90	honoraires commercialisation nacarat	-4,6%
La Closerie	7,87	honoraires commercialisation nacarat	-4,6%
Les Venelles Boisées	11,00	honoraires commercialisation nacarat	-4,0%
Le Bel Arpège	19,90	honoraires commercialisation nacarat	-2,8%
Villa Gabrielle	8,70	honoraires commercialisation nacarat	-2,7%
Résidence Adonis	5,94	Honoraires commercialisation externe	-2,4%
Esprit Lumière	13,61	honoraires commercialisation nacarat	-2,3%
Luminance	16,14	honoraires commercialisation nacarat	-2,1%
Les reflets de Lagny	17,20	Honoraires commercialisation externe	1,0%
Résidence Condorcet	26,09	Honoraires commercialisation externe	1,9%
Luminance	16,14	Honoraires commercialisation externe	2,1%
Esprit Lumière	13,61	Honoraires commercialisation externe	2,6%
Résidence Adonis	5,94	honoraires commercialisation nacarat	2,9%
La Closerie	7,87	Honoraires commercialisation externe	4,6%
Tendanciel	31,40	honoraires commercialisation externe	8,0%

Nous pouvons visualiser dans la colonne « % évolution de l'indicateur » en vert les évolutions négatives et en rouge les évolutions positives. Il y a presque une symétrie entre les honoraires de commercialisation interne (négatifs) et les honoraires de commercialisation Externe (positifs). On peut aussi constater que de passer par une entreprise externe pour la vente d'un projet coûte plus cher au client (qui est dans notre cas Nacarat).

Nous avons enfin regroupé les pourcentages d'évolution des indicateurs des honoraires de commercialisation externe et interne sur un même graphique : ceux-ci apparaissent dans sur 31 des 56 projets : soit plus d'une fois sur deux. D'après le Tableau 22, le « passage à l'externe » coûte 12 099 286 € et rogne la marge de 2,15%.

Comme remarqué sur les projets d'Île de France précédemment, Il existe bien une « compensation » entre les honoraires de la commercialisation Internet et Externe. En bleu, les pourcentages d'évolution pour l'externe sont positifs (à une exception), alors qu'en orange les pourcentages d'évolutions sont négatifs (à 4 exceptions).

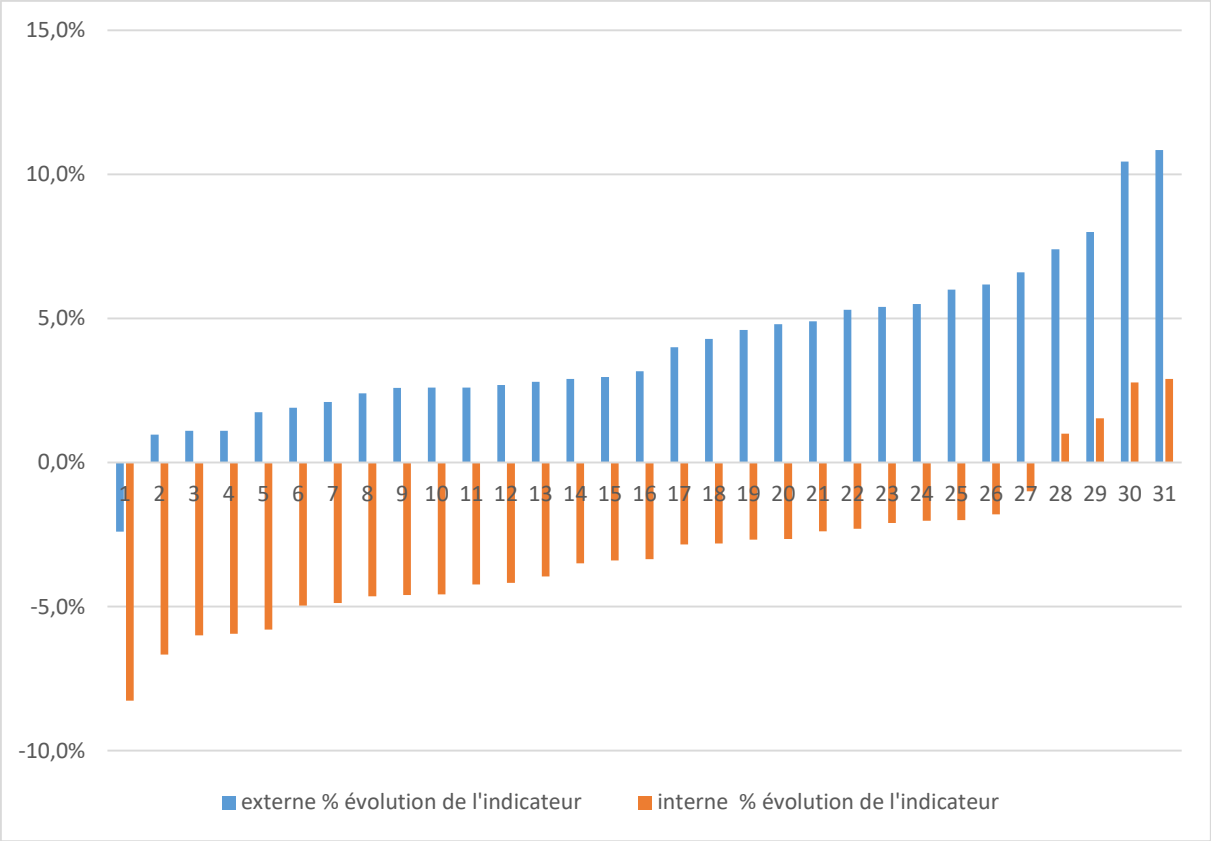


Figure 26. Commercialisation Interne à Externe pour 31 projets

5.2. PDRI pour contrôler les écarts d'une opération de construction

5.2.1. Analyse des points d'arrêt du cycle de vie d'un projet

L'étude détaillée du SMO a permis d'assigner plusieurs points d'arrêts communs à toutes les opérations de promotion immobilière. Ces points d'arrêts correspondent aux grandes étapes énumérées précédemment dans la description d'une opération de promotion immobilière, à savoir le Comité d'Engagement, le Transfert Foncier Montage, la Revue de Permis de Construire, le Lancement Commercial, la Validation Finale, le Transfert Service Après-Vente ainsi que le Bilan. L'évaluation de ces différents points a résulté en l'obtention d'une vue générale du cycle de vie d'un projet.

L'étude menée pour adapter l'outil PDRI s'est principalement focalisée sur ce qui était présenté au Comité d'Engagement (CE) en utilisant principalement 3 documents :

- Le document présenté lors de ce comité devant les actionnaires qui présente l'opération en s'attardant sur l'aspect foncier, le produit en lui-même, l'aspect commercial et financier ainsi que l'engagement demandé pour le projet.

- ASAP (As Sustainable As Possible) : le document utilisé afin de s'assurer que le projet respecte certains critères en termes de développement durable. On y retrouve des notions d'urbanisme, de mobilité, de biodiversité, de lien social, de consommation énergétique, de santé, d'éco-conception… Tous ces critères permettent d'avoir une vision en partie sur la conception, sur les besoins du client et le développement du projet.
- L'Analyse de Site : il s'agit d'un document qui analyse la valeur du site en lui-même ainsi que son taux de contrainte. On y retrouve des informations sur les l'emplacement du projet et ses alentours, les expositions, l'urbanisme, le sol et le sous-sol, les réseaux ainsi que l'écosystème du site.

5.2.2. Adaptation de l'outil PDRI au fonctionnement de l'entreprise de promotion immobilière

Une matrice, représentant à la fois **les 64 indicateurs du PDRI ainsi que les 7 points d'arrêts,** a été créé afin de pouvoir visualiser quels indicateurs du PDRI sont pris en compte lors du développement d'un projet de promotion immobilière. Cela permet dans un premier temps d'évaluer la quantité d'indicateur pris en compte (considérée) par l'entreprise de promotion immobilière mais également de pouvoir identifier à quel moment cela est fait. Cette matrice est réalisée à l'aide des documents internes consultés mais également à l'aide d'échanges avec des responsables au sein de l'entreprise.

Avec les (Tableau 23 Tableau 24 Tableau 25), nous pouvons donc avoir une première vision, pour chaque section du PDRI, des indicateurs qui sont pris en compte d'une façon ou d'une autre dans le SMO de Nacarat.

Tableau 23. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section I

Section	Categorie	Element		Score	CE	TFM	RPC	LC	VF	TSAV	Bilan
I	**Définition**			**413**							
	A	**Business stratégie**		**214**							
		A 1	Fonction du batiment	44	x			x			x
		A 2	Motif commercial	27	x	x		x			x
		A 3	Business plan	26	x			x			
		A 4	Analyse économique	21	x			x			x
		A 5	Besoins du projet	31	x	x		x			x
		A 6	Expansion future	22	x			x			x
		A 7	Choix de l'emplacement	28	x	x	x	x		x	x
		A 8	Objectifs du projet	15	x						x
	B	**Philosophie d'entreprise**		**68**							
		B 1	Vision de fiabilité	18	x						
		B 2	Vision de maintenance	16	x		x				
		B 3	Vision de fonctionalité	15	x						
		B 4	Vision de conception	19	x	x	x				x
	C	**Exigences du projet**		**131**							
		C 1	Analyse de valeur	19	x		x				
		C 2	Critères de conception	24	x	x	x			x	
		C 3	Installations existantes	24	x		x			x	
		C 4	Scope du projet	17					x		
		C 5	Planning du projet	20	x						
		C 6	Etude de prix	27	x		x		x	x	

Tableau 24. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section II

Section	Categorie	Element		Score	CE	TFM	RPC	LC	VF	TSAV	Bilan
II	**Conception**			**429**							
	D	**Informations sur le terrain**		**109**							
		D 1	Plan du site	14	x		x			x	
		D 2	Etude des sols	14		x				x	
		D 3	Informations geotechniques	19		x				x	
		D 4	Exigences réglementaires	14	x	x	x			x	x
		D 5	Evaluation environmentale	16	x	x	x			x	x
		D 6	Approvisionnement des services publics	13	x					x	
		D 7	Système de sécurité	8		x	x			x	
		D 8	Traitement de l'eau et des dechets	11	x	x	x	x		x	x
	E	**Plannification de chantier**		**162**							
		E 1	Performance	16	x			x			x
		E 2	Espaces du batiments	21	x		x	x	x		x
		E 3	Coactivité	10			x				
		E 4	Découpage du projet	13	x		x	x	x	x	x
		E 5	Phasage	15	x						
		E 6	Base vie et accès	13							
		E 7	Relations fonctionnelle des espaces	10		x	x				x
		E 8	Chargement / déchargement / Stockage	8							
		E 9	Transports	9							
		E 10	Finitions intérieures	15	x	x			x		x
		E 11	Caratcéristiques des espaces	13	x	x	x		x		x
		E 12	Equipements et ameublements	14	x		x		x		x
		E 13	Fenetres et ouvertures	5	x		x		x		x
	F	**Paramètres de conception**		**122**							
		F 1	Génie Civil	14			x		x		
		F 2	Conception architectural	22	x	x	x		x		x
		F 3	Conception structurel	18		x	x		x		x
		F 4	Conception mécanique	20	x		x		x		
		F 5	Conception électrique	15	x		x		x		
		F 6	Système de sécurité du batiment	10		x	x		x		
		F 7	Analyse de la construcatbilité	14			x		x		x
		F 8	Spécifications technologiques	9			x		x		
	G	**Equipements**		**36**							
		G 1	Liste des équipements	15					x		
		G 2	Localisation des équipements	10					x		
		G 3	Besoins pour les équipements	11							

Tableau 25. Matrice Indicateurs PDRI / Points d'arrêts NACARAT Section III

Section	Categorie	Element		Score	CE	TFM	RPC	LC	VF	TSAV	Bilan
III	**Exécution**			**158**							
	H	**Approvisionnements**		**25**							
		H 1	Identification des points critiques	14	x	x					
		H 2	Procedures	11					x		
	J	**Livrables**		**11**							
		J 1	Numériques	4				x		x	
		J 2	Documents	7				x		x	
	K	**Contrôle**		**62**							
		K 1	Contrôle de qualité	8	x	x	x	x		x	x
		K 2	Contrôle de gestion	13	x	x	x	x	x		x
		K 3	Gestion du planning	14	x						x
		K 4	Management des risques	18	x						
		K 5	Procédures de sécurité	9						x	
	L	**Plans d'exécution**		**60**							
		L 1	Organigramme	10							
		L 2	Approbation du client	11					x	x	x
		L 3	Mode d'attribution du marché	15	x	x		x	x	x	x
		L 4	Stratégie de conception / construction	15	x			x		x	x
		L 5	Réception	9				x		x	x

L'analyse de la matrice est effectuée avec deux méthodes:

- En évaluant **le nombre d'indicateurs** pris en compte à chacune des étapes clés d'une opération (les points d'arrêts).
- En regardant **le score que ces indicateurs** représentent du point de vue du calcul du PDRI.

Vu que l'historique de notation des projets n'est pas disponible (outil pas encore opérationnel), l'analyse se base sur des scores en prenant en compte les pondérations maximales de chaque indicateur pour une comparaison au score maximum qui est 1000. Nous fonctionnons donc dans cette analyse à l'envers : *nous ne cherchons pas à minimiser le score du PDRI mais à identifier le poids maximum des indicateurs pris en compte par l'entreprise de promotion immobilière dans chacun des points d'arrêts.*

Cela nous permet à la fois de :

1- Quantifier le nombre d'indicateurs étudiés pour chaque différente phase chez le promoteur immobilier.
2- Utiliser les pondérations établies par le (Construction Industry Institute 2016) pour se créer une deuxième vision sur l'importance des indicateurs pris par le promoteur immobilier.

Tableau 26. Nombre d'indicateurs du PDRI par point d'arrêt

Indicateurs	CE	TFM	Revu PC	LC	VF	TSAV	Bilan	Total
Section I : Définition	17	5	7	7	2	4	8	50
%	94%	28%	39%	39%	11%	22%	44%	
Section II : Conception	16	12	20	4	16	9	14	91
%	50%	38%	63%	13%	50%	28%	44%	
Section III : Exécution	7	4	2	7	4	8	7	39
%	50%	29%	14%	50%	29%	57%	50%	
Total	40	21	29	18	22	21	29	180
%	63%	33%	45%	28%	34%	33%	45%	

Cette première analyse nous permet donc de voir **le nombre d'indicateurs du PDRI** pris en compte lors des différents points d'arrêts du projet (Tableau 26).

Nous pouvons dans un premier temps constater que le point qui présente le plus de précision et qui reprend le plus d'indicateurs est le CE. Ceci peut se justifier par le fait que le CE est la première présentation du projet et on essaye d'y fournir la description la plus complète en prenant le maximum de paramètres en compte. Cependant, notons que même si ces indicateurs sont pris en compte dans le CE, cela ne veut pas dire une attribution de la note maximale de 1 (correspondant à un élément totalement défini), ce qui n'est probablement pas le cas étant donné ce stade peu avancé du projet. Il est intéressant de noter que ces éléments sont au moins pris en compte et étudiés en partie pendant le CE.

Tableau 27. Score du PDRI maximum par point d'arrêt

Score	CE	TFM	Revu PC	LC	VF	TSAV	Bilan
Section I : Définition	396	129	157	199	44	103	207
%	96%	31%	38%	48%	11%	25%	50%
Section II : Conception	237	170	271	61	228	122	202
%	55%	40%	63%	14%	53%	28%	47%
Section III : Exécution	97	50	21	71	50	78	85
%	61%	32%	13%	45%	32%	49%	54%
Total	730	349	449	331	322	303	494
%	73%	35%	45%	33%	32%	30%	49%

La deuxième analyse porte sur la notion de **score établi par le PDRI.** Nous avons considéré les scores maximaux de chaque indicateur afin de pouvoir évaluer dans quelle mesure le projet était bien étudié aux vues des différentes pondérations (des indicateurs) appliquées dans le PDRI. On constate que pourcentage établi est assez similaire à celles correspondant à l'analyse par nombre d'indicateurs, ce qui montre que malgré des pondérations assez variables d'un indicateur à l'autre, les tendances restent similaires dans l'ensemble. Nous pouvons donc voir que les indicateurs importants sont analysés au moment du CE ainsi qu'au Bilan.

Ces deux analyses nous montrent donc les occurrences et les scores des indicateurs pour chaque section à chaque point d'arrêt. En revanche, certains éléments sont repris d'un point à un autre, c'est pourquoi nous avons donc effectué une étude cumulée du score de chaque section pour les différents points d'un projet.

Score	CE	TFM	Revue PC	LC	VF	TSAV	Bilan
Section I : Definition	**396**	**129**	**157**	**199**	**44**	**103**	**207**
%	96%	31%	38%	48%	11%	25%	50%
Section II : Conception	**237**	**170**	**271**	**61**	**228**	**122**	**202**
%	55%	40%	63%	14%	53%	28%	47%
Section III : Exécution	**97**	**50**	**21**	**71**	**50**	**78**	**85**
%	61%	32%	13%	45%	32%	49%	54%
Total	**730**	**349**	**449**	**331**	**322**	**303**	**494**
%	73%	35%	45%	33%	32%	30%	49%

Figure 27. Evolution du score PDRI maximum cumulé au cours d'un projet (SMO)

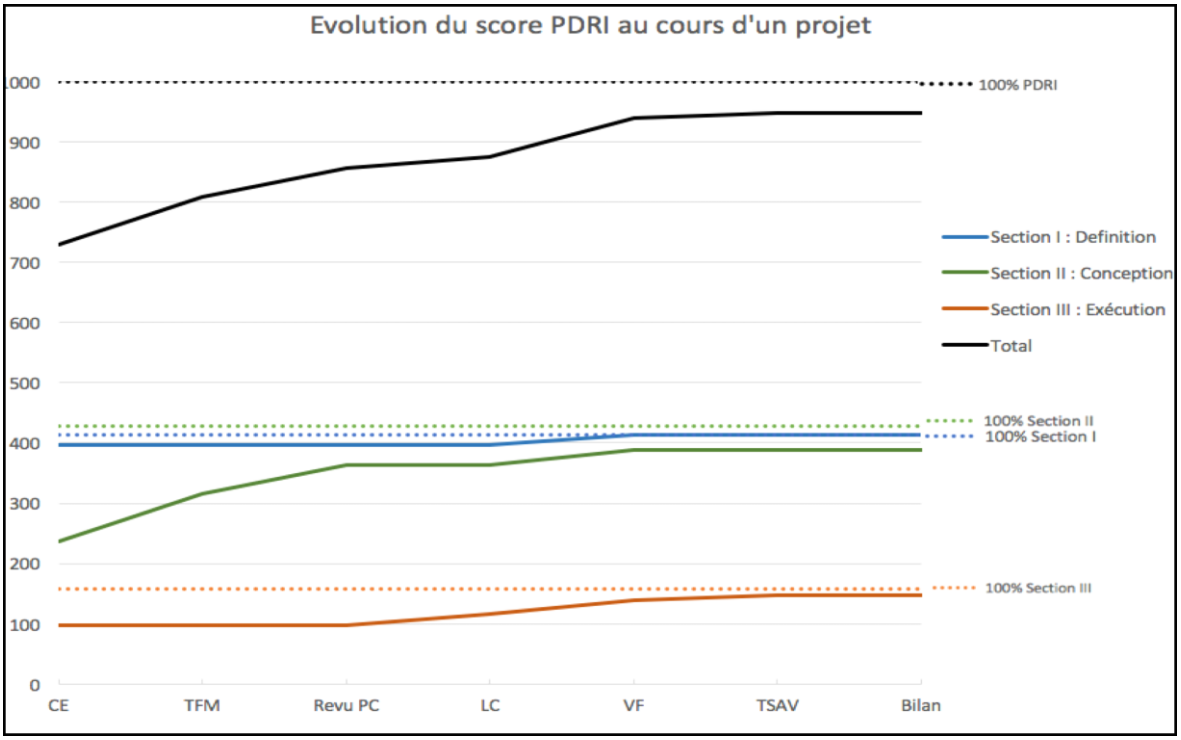


Figure 28. Evolution du score PDRI maximum cumulé au cours d'un projet (SMO)

Nous avons donc maintenant une meilleure vision en termes d'avancement d'un projet. Nous pouvons constater que **la section I du PDRI comprenant la définition du projet est étudiée très tôt** lors de la création d'un projet immobilier. En effet, dès le CE nous avons **96%** du score qui peut être obtenu ce qui est plutôt logique du fait qu'il s'agit de la partie se concentrant sur le projet, son aspect économique, ses exigences ainsi que la philosophie de l'entreprise. Ces notions sont donc primordiales avant le lancement d'une opération.

Nous pouvons également voir que **la section II Conception du projet est en partie bien étudiée au CE (55%)** mais que ce n'est vraiment qu'au **TFM et à la revue PC** qu'elle commence à être quasiment **complètement définie** (90% en RPC). Cette analyse se traduit par le fait que les grandes lignes de la conception sont bien évidemment prises en compte au début de l'opération mais qu'elles sont de plus en plus étudiées au fur et à mesure de son avancement jusqu'au permis de construire, point à partir duquel les études doivent être très fortement avancés.

Enfin en ce qui concerne la section **III Exécution du projet, on constate qu'elle est quasiment complètement étudiée au niveau de la validation finale**, en effet il semble plutôt dans l'ordre des choses que cette section soit étudiée plus vers la fin de l'opération.

Nous pouvons donc voir sur l'évolution totale du score PDRI aux différents points d'arrêts, que ce dernier est en **augmentation régulière à chaque point d'avancement** ce qui montre bien qu'à chacun de ces points, le projet est de plus en plus approfondi. Cependant, ce n'est pas possible d'affirmer que le projet aurait un

score PDRI très faible étant donné que nous ne connaissons pas les différentes notes qui seraient mises à ces points d'arrêts. Cela indique seulement que le processus du promoteur immobilier reprend bien les indicateurs du PDRI (à quelques exceptions près).

5.2.3. Proposition d'utilisation de l'outil PDRI

Nous avons donc pu voir précédemment que le fonctionnement (en théorie) au sein du promoteur immobilier était proche de celui proposé dans le PDRI. Nous allons donc dans cette partie pouvoir proposer des façons d'utiliser le PDRI ou de s'en inspirer pour améliorer le système de management d'une opération de promotion immobilière dans l'entreprise.

Au vu des résultats de la partie précédente, il pourrait être intéressant de voir comment intégrer les différents **éléments du PDRI non pris en compte dans les points d'arrêts**. En effet, cela permettrait de pouvoir analyser en amont certains aspects qui peuvent être problématiques dans un stade avancé du projet de construction. D'après l'analyse, ils sont au nombre de 5 répartis dans les sections II (conception) et III (exécution) :

- Section II : Base vie et accès / Chargement, déchargement, stockage / Transport / Besoins pour les équipements.
- Section III : Organigramme.

Ces éléments pourraient être des premières pistes de prise en compte en amont dans le projet.

Une autre solution est de ne se focaliser que sur **les critères les plus importants** et insister sur leur prise en compte le plus tôt possible dans l'analyse du projet. Pour cibler ces éléments les plus importants, il est possible de les identifier directement d'après les pondérations du PDRI. A eux seuls, ces **10 éléments représentent 28%** du poids total et sont majoritairement concentrés dans la phase de définition du projet (Tableau 29).

Tableau 28. Top 10 des éléments critiques d'un projet de construction suivant les pondérations du PDRI

I	**Définition**			
	A	**Business Stratégie**		
		A 1	Fonction du bâtiment	44
		A 2	Motif commercial	27
		A 3	Business plan	26
		A 5	Besoins du projet	31
		A 6	Expansion future	22
		A 7	Choix de l'emplacement	28
	C	**Exigences du projet**		
		C 2	Critères de conception	24
		C 3	Installations existantes	24
		C 6	Etude de prix	27
II	**Conception**			
	F	**Paramètres de conception**		
		F 2	Conception architectural	22

Nous avons confronté ces 64 indicateurs à différents responsables au sein de Nacarat (promoteur immobilier) pour disposer d'une vision des éléments qui leur semblaient indispensables au développement d'un projet immobilier.

Nous avons donc pu disposer des avis du directeur qualité (DQ), un directeur d'agence (DA), un directeur des programmes logement (DPL) ainsi qu'un responsable de programme en immobilier d'entreprise (RPIE). Les résultats sont reportés dans le Tableau 29.

Tableau 29. Indicateurs pertinents du point de vue des responsables Nacarat

Section	Categorie	Element		Score	DA	DPL	RPIE	DQ	RP
					DA	DPL	RPIE	DQ	Total
I	**Définition**			**413**					
	A	**Business stratégie**		**214**					
		A 1	Fonction du batiment	44	x		x		2
		A 2	Motif commercial	27	x			x	2
		A 3	Business plan	26	x			x	2
		A 4	Analyse économique	21			x		1
		A 7	Choix de l'emplacement	28	x	x		x	3
		A 8	Objectifs du projet	15		x			1
	B	**Philosophie d'entreprise**		**68**					
		B 4	Vision de conception	19	x		x		2
	C	**Exigences du projet**		**131**					
		C 2	Critères de conception	24	x		x	x	3
		C 5	Planning du projet	20	x			x	2
		C 6	Etude de prix	27	x		x		2
II	**Conception**			**429**					
	D	**Informations sur le terrain**		**109**					
		D 2	Etude des sols	14		x		x	2
		D 3	Informations geotechniques	19	x	x			2
		D 4	Exigences réglementaires	14	x	x			2
		D 5	Evaluation environmentale	16		x	x		2
		D 8	Traitement de l'eau et des dechets	11			x		1
	E	**Plannification de chantier**		**162**					
		E 7	Relations fonctionnelle des espaces	10		x	x		2
		E 9	Transports	9	x				1
	F	**Paramètres de conception**		**122**					
		F 2	Conception architectural	22	x	x	x		3
	G		**Equipements**	**36**					
		G 1	Liste des équipements	15			x		1
		G 2	Localisation des équipements	10			x		1
III	**Exécution**			**158**					
	K	**Contrôle**		**62**					
		K 1	Contrôle de qualité	8		x			1
		K 2	Contrôle de gestion	13		x		x	2
		K 3	Gestion du planning	14		x		x	2
	L	**Plans d'exécution**		**60**					
		L 3	Mode d'attribution du marché	15		x		x	2
		L 5	Réception	9		x	x	x	3

Les scores en bleu représentent les indicateurs qui font partis des 10 les plus importants en nombre de points. Les scores rouges représentent ceux qui font partis des 10 moins importants en nombre de points.

Nous pouvons directement voir que les indicateurs présents sont plus nombreux et mieux répartis dans les sections et catégories, il y a **25 indicateurs** présents dont 4 qui apparaissent 3 fois et 14 qui apparaissent 2 fois. Les choix sont également bien différents entre les différents responsables qui ont participés à cette étude. Nous pouvons également constater que 7 indicateurs faisant partis des 10 plus importants sont cités entre 2 et 3 fois, nous pouvons donc interpréter que les responsables de chez Nacarat sont en parti dans la même optique que ce qui est présenté dans le PDRI.

Il pourrait donc être intéressant de combiner ces deux classements afin d'obtenir **une liste réduite d'indicateurs** à prendre en compte si le traitement de tous le 64 indicateurs n'est pas abordable dans un premier temps. En revanche, il faut noter que le PDRI est optimisé pour être pris en compte dans sa globalité.

Il serait possible et intéressant de **modifier, par exemple, les coefficients originaux du PDRI en les adaptant à ce qui ressort de l'étude menée au sein de Nacarat** pour rendre plus à l'image de ce que souhaitent utiliser les différents responsables. Ce qui ressort des échanges avec ces responsables est le manque d'importance voire la non présence de l'aspect étude de marché sur le produit et son environnement ainsi que sur l'aspect commercialisation du projet. Il s'agit là de possibles pistes d'amélioration et de personnalisation de l'outil.

Il pourrait également intéressant **d'adapter le PDRI en fonction de l'avancement des points d'arrêts**, en se focalisant principalement sur certains indicateurs à certains moments dans l'optique de balayer l'ensemble du PDRI, non pas du premier coup, mais étape par étape en utilisant des paliers à atteindre pour chaque catégorie pour les différents points d'arrêts. Il s'agirait donc d'un développement évolutif du projet tendant à être de plus en plus précis.

6. Conclusion

Dans ce chapitre de thèse, nous sommes partis du constat que lors d'un projet de promotion immobilière, le budget final était bien souvent différent de celui présenté lors du comité d'engagement.

Nous nous sommes donc attaché à essayer de cibler les éléments qui pouvaient être à l'origine de ces écarts, nous les avons ensuite quantifiés grâce à notre étude sur 56 projets de promotions immobilière de type logement chez Nacarat dans toutes les régions en France. A la suite de cela, nous avons tenté de proposer un certain nombre de statistiques et d'analyses afin de pouvoir expliquer ces différents écarts constatés.

L'analyse de 56 projets atteste que l'écart global du coût est de 2.59%, tel que 0.89% provient des travaux et 1.72 % de la phase de commercialisation.

La région « OSE » (Ouest-Sud-Est) connaît le plus d'écart (7.92%) comparé au Nord (2.3%) et en Ile-de-France (0.13%).

La représentation du nombre de lots des projets (taille) en fonction de l'écart illustre que ce dernier commence à se sentir à partir des projets de 466 lots. Un fois cette limite dépassée, les écarts s'intensifient et la prédiction devient difficile à cerner.

La représentation du budget des projets en fonction de l'écart des couts montre que l'écart s'intensifie pour les projets à valeurs dépassant les 9 M€ et pour les projets à moins de 4 M€.

Enfin dans un second temps nous avons essayé de proposer une solution qui pourrait permettre à l'entreprise d'analyser au mieux les différents projets qu'elle développe. Nous avons donc choisi de présenter l'outil PDRI du CII qui permet de balayer tous les aspects d'un projet de construction. Nous avons ensuite étudié le fonctionnement au sein du promoteur immobilier et l'avons comparé à ce qui était proposé par l'outil de définition PDRI (communément utilisé dans la construction industrielle) afin de pouvoir amener à l'entreprise des possibilités d'utilisation et d'appropriation de ce dernier.

Pour l'entreprise, cela se traduit par une différence organisationnelle et managériale au niveau de chaque entité dans la France. En effet, l'écart des couts est significatif entre les régions. Par ailleurs, la différence du coût entre la conception et la réalisation se doit d'être mitigée. Pour cela, le PDRI semble un outil adéquat pour s'assurer du respect des étapes de l'acte de construire.

Ce chapitre est un déploiement de la théorie du Lean au travers des indicateurs et de l'outil PDRI pour bien cerner les gaspillages tout au long de l'acte de construire.

Chapitre 3

Effet de la démarche Lean sur la performance de la phase « Etude de Prix »

Mots-clés - Lean, appel d'offre, construction, bâtiments, coût, gestion du changement, indicateurs de performance, implémentation.

1. Introduction

1.1. Objectif de la recherche

Alors que de nombreux systèmes régissent le secteur de la construction, l'appel d'offre classique est le système le plus prépondérant dans la construction française. La recherche adopte la philosophie du Lean (via un événement Kaizen) et l'implémente en phase d'appel d'offres d'une entreprise de construction de bâtiment dans le but d'améliorer les performances suivant des indicateurs bien choisis.

1.2. Contribution scientifique

Une fraction de la communauté scientifique du Lean Construction considère la phase de l'appel d'offre comme un processus à non-valeur ajoutée vu qu'il ne crée pas de la valeur pour le client. L'appel d'offre est communément utilisé comme système de sélection en construction. Ce chapitre apporte une nouvelle vision de l'appel d'offre en appliquant les principes de la théorie du Lean pour la rendre plus efficace non seulement pour l'entreprise de construction, mais aussi aux yeux du client.

1.3. Contribution pratique

Les résultats de ce projet de recherche peuvent être utilisés pour aider les chercheurs et les professionnels à évaluer l'application potentielle du Lean dans la

phase d'appel d'offres. Par ailleurs, ce chapitre nous fournit également un aperçu de l'importance des pratiques culturelles et existantes pour une mise en œuvre réussie Lean.

1.4. Originalité

Peu de projets de recherche ont étudié l'application de la pensée Lean en appel d'offres car cette phase du projet de construction est considérée comme un processus à non-valeur ajoutée pour le client. Toutefois, les gaspillages peuvent également être organisées (on parle également de tâches nécessaires à la production de la valeur ajoutée). La recherche prouve que les appels d'offres peuvent bénéficier de la pensée Lean pour une performance optimale.

2. Recherche bibliographique

2.1. Kaizen

Kaizen est un terme japonais qui signifie «bon changement» et fait partie de l'arsenal des techniques utilisées dans le système « LPS ». Le Kaizen est considéré pour mettre en place une amélioration continue. Au fil du temps, de nouvelles normes et procédures sont créées et la résistance au changement devient plus difficile à gérer (Ortiz 2009). Selon (Suárez-Barraza & Rodríguez-González 2015), les dirigeants de certaines entreprises comprennent le concept de l'amélioration continue comme suit: «un processus continu qui vise à éliminer les gaspillages, les irrégularités et la déraison et à créer plus de valeur ». Cependant, le Kaizen ajoute un «élément humain» supplémentaire tel que toutes les parties prenantes (et non seulement le Top management) doivent être impliqués dans ce changement (Knechtges & Decker 2014).

(Ikuma et al. 2011) ont présenté une étude de cas où un événement Kaizen a été utilisé dans une usine de fabrication modulaire du logement. Les changements ont entraîné une augmentation de 16% dans les activités à valeur ajoutée et une augmentation de la production globale de l'équipe d'encadrement de 55%.

Dans son article, (Forbes 2001) discute des défis de l'implémentation d'un processus d'amélioration continue dans la construction. Il a affirmé que: «Un obstacle à la transformation est peut-être la déconnexion entre le client final, le propriétaire du bâtiment, et les fournisseurs, en d'autres termes, entre la conception et la réalisation ».

(Alarcón et al. 2005) ont présenté une série d'obstacles à la mise en place d'une philosophie Lean dans le secteur de la construction; manque de temps pour la mise en œuvre de nouvelles pratiques dans les projets, le manque de formation, obstacles pour créer des éléments d'organisation, le manque d'autocritique lié à

l'apprentissage de ses propres erreurs, une faible compréhension des concepts, une faible communication et le manque de transparence et d'intégration de la chaîne de construction.

Un autre défi est le manque d'expérimentations de l'impact d'événements Kaizen (Suárez-Barraza et al. 2011). Ceci est plus répandu dans l'industrie de la construction où la gestion Lean est introduite lentement. Par ailleurs, les événements Kaizen sont généralement engagés de façon stratégique avec l'approbation du Top management dans les processus identifiés comme des goulots d'étranglement. Dans la construction, cependant, l'enjeu est d'identifier les goulets d'étranglement dans la chaîne de valeur de la construction, ce qui est une tâche difficile vu le nombre de parties prenantes impliquées dans l'acte de construction.

2.2. L'appel d'offre

L'appel d'offre est une stratégie de livraison des projets communément utilisée en construction. La C / A / R est considérée comme une "solution sûre" pour le client puisque le non-respect du coût du projet et le calendrier est généralement attribué à l'entrepreneur, la nature du marché et de la préparation, l'habitude d'utiliser C / A / R par le client. Différentes études ont porté sur les différences entre la C / A / R et d'autres méthodes de livraison des projets. (Francom et al. 2015) ont discuté de la méthode de livraison Lean "Projet d'alliance intégrée de livraison" pour l'industrie des pipelinières. Les auteurs ont constaté que la méthode de livraison le plus couramment utilisé dans l'industrie pipelinière est la C / A / R. Ce système empêche l'établissement d'un flux continu de travail en raison du manque d'échange de connaissances techniques entre les ingénieurs de conception et de construction. (Ling et al. 2004) ont mené une comparaison entre la C/R et la C/A/R. Étant donné que ces deux systèmes sont organisés différemment, ils ont des avantages et des inconvénients différents. Les auteurs ont également mis au point un modèle pour prédire la performance des projets C/A/R et C/R.

L'appel d'offre est une phase critique pour une activité durable des entreprises de construction. La première raison est que l'appel d'offre dans la construction n'est pas encore entièrement contrôlé et souffre de la variabilité, l'incertitude et de la subjectivité (Chua et al. 2001). En effet, il n'existe pas d'approche systématique aux appels d'offres puisque chaque projet de construction est (à un certain niveau) différent et nécessite une approche d'ingénierie pour la proposition (donc l'offre) de solutions de mise en œuvre (Laryea & Hughes 2011). La deuxième raison est que les appels d'offres réussis constituent le chemin pour une activité continue de l'entreprise de construction; sans suffisamment de projets gagnés, la survie des entrepreneurs est à risque dans la vision à moyen terme (puisque les collaborateurs sur chantier attendent du travail). Si une offre est gagnée, cela signifie une activité continue pendant la durée du projet de

construction, qui varie de quelques mois à quelques années en fonction de la taille du projet de construction. L'importance de la phase d'appel d'offres est donc capitale pour l'entreprise dans le contexte d'un marché compétitif.

Dans une configuration C / A / R, le client communique les critères de sélection (technique, développement durable, etc.). Dans de nombreux cas, une grande pondération est associée au prix.

Une fois que l'entrepreneur est sélectionné, l'attente du client est que le projet se réalise suivant la conception et le temps fixés au départ dans l'offre. Cependant, la littérature révèle que la majorité des projets C / A / R sont exécutés avec un dépassement du budget et du temps alloué initialement (Parvan et al. 2015).

Alors que certains projets de recherche (ponctuels) portent sur la phase d'appel d'offres (Gurcanli et al. 2015), moins d'attention est dirigée vers la phase d'appel d'offres en tant que thématique de recherche à part entière dans la communauté de recherche en construction. En outre, la littérature existante ne donne pas suffisamment d'indications sur la façon d'améliorer cette phase de transition entre la conception et la construction. Le but de ce projet de recherche est de combler cette lacune en expérimentant une première mise en œuvre du Lean via un événement Kaizen pour la phase d'appel d'offres d'une entreprise de construction.

La prochaine partie de ce chapitre présente le contexte de l'étude et la méthodologie de recherche. La partie 'Résultats et discussion' est divisée en deux sections: la première section identifie les pratiques et la culture actuelles de l'entreprise de construction pour faciliter l'implémentation (et adaptation) du Lean. La deuxième section évalue l'impact de l'implémentation grâce à une sélection adéquate d'indicateurs clés de performance.

2.3. Indicateurs de performance

Peter Drucker a déclaré que : *ce qui est mesuré est bien géré*. Le concept d'«indicateurs de performance» est clé dans la philosophie du Lean (Al-Aomar 2012). Les indicateurs comme «taux rotation du stock », « Travail-en-cours » (Work In Progress, WIP), "Délai de livraison" aident à évaluer la performance actuelle et à garder une trace de ce qui est significatif pour atteindre un objectif souhaité: la mise en place de plusieurs indicateurs conduit à la confusion et à des difficultés pour se concentrer sur ce qui importe le plus. D'autre part, un faible nombre d'indicateurs peut résulter en une difficulté à créer une image claire de la performance actuelle du processus.

(Beatham et al. 2005) ont proposé trois types d'indicateurs: indicateurs clés de performance (KPI), indicateurs clés de résultats (KPOs), et des indicateurs

mesures de perception. Le premier type d'indicateurs offre la possibilité d'agir et ainsi de changer le résultat du processus avant l'arrivée. Un exemple d'un KPI est l'indicateur binaire "adéquation des besoins du client avec la conception"; il est possible d'agir sur la conception avant la construction proprement dite. Pour les KPOs, ils retracent les résultats du processus et n'offrent pas une possibilité d'action. "Délai de livraison réelle" est un exemple de KPO. Enfin, des mesures de perception concernent la perception des personnes sur un processus donné et sont généralement effectués via une question directe ou une enquête (Horstman & Witteveen 2013). Un exemple est la «satisfaction du client».

Malgré le grand nombre de recherches effectuées, le secteur de la construction est encore proclamé comme la moins efficace et efficient dans toutes les industries (Alinaitwe et al. 2009; Beatham et al. 2004).

La raison de cette faible productivité est l'accent mis sur le volet financier plutôt que sur une approche basée sur la performance globale (Egan 1998). De ce fait, plusieurs entreprises ont commencé à développer des outils de mesure de la performance (1,5 milliards de £ pour les entreprises privées du Royaume-Uni) (Edwards & Thomas 2005). La construction devrait également remplacer les standards concurrentiels fondés sur les gains financiers à court terme par un système basé sur la mesure transparente de la qualité et de l'efficacité (Egan 1998). En effet, les indicateurs purement financiers ont reçu beaucoup de critiques pour ne pas fournir une image fidèle de la performance réelle (Beatham et al. 2004; Beatham et al. 2005; Kaplan & Norton 2000).

(Tam & Zeng 2013) ont présenté un ensemble d'indicateurs de développement durable dans le secteur du bâtiment pour faire face aux législations liées à la construction en Australie. Ils ont catégorisé ces indicateurs selon : «environnement» et «social». Les indicateurs "Environnement" comprennent: «la qualité écologique de la zone de construction», «émissions de gaz à effet de serre», «l'efficacité énergétique», etc. Les indicateurs « sociaux » comprennent, mais sans s'y limiter: «minimiser les charges de refroidissement: la conception des bâtiments, section vitrage, éclairage la conception et l'aménagement paysager "," régulation séparée de la température intérieure ", etc.

Dans la philosophie du Lean Construction, le Last Planner System® introduit un indicateur nommé : « Pourcentage de tâches accomplies » (PPC). Il est considéré comme un indicateur fiable et retrace la performance des travaux de construction vu le nombre de recherche réalisé pour soutenir sa pertinence (Kalsaas et al. 2015; Issa 2013a). Cet indicateur décrit une mesure de base de la façon dont le système de planification fonctionne. Il se calcule en divisant le nombre de tâches accomplies sur une certaine période de temps (souvent au cours d'une semaine) par le nombre total de tâches prévues pour la même période. Cet indicateur est généralement lié à la phase de « réalisation». Notons que l'acte de construire commence après que

(1) le client a nommé l'architecte pour la conception, (2) l'offre pour les entreprises de construction et enfin (3) la dernière étape est la construction et le SAV. Cette recherche porte sur la performance de la phase d'appel d'offres.

3. Contexte de la recherche

L'étude porte sur une entreprise de construction familiale (1266 employés) spécialisée dans la construction (Rabot Dutilleul Construction) créée en 1920. L'entreprise agit comme un entrepreneur qui peut entreprendre principalement trois types de construction:

- Les aménagements publics.

- La réhabilitation.

- Les appels d'offres issus du développement immobilier privé.

L'entreprise de construction suit 3 configurations de livraison:

- Conception/ Appel d'offre / Réalisation (C/A/R).

- Conception / Réalisation. (C/R)

- Les partenariats public-privé PPP (petit nombre d'opérations).

De nombreux projets sont établis suivant la configuration C/A/R dans la société étudiée. Le chiffre d'affaires lié à chaque méthode de livraison est comme suit:

- 70% pour les C/A/R.

- 13% pour les C/R.

- 17% pour les PPP.

Cette répartition est due à la stratégie adoptée, mais la plupart du temps, elle est due aux conditions du marché français qui génèrent de nombreuses opportunités liées à l' C/A/R.

Dans la recherche effectuée, l'accent est mis sur l'amélioration de l'appel d'offre des trois types de construction: équipements publics, la réhabilitation et le développement immobilier privé en utilisant la pensée Lean.

3.1. La question de recherche

Cette étude porte sur l'enquête de la phase d'appel d'offres généré à partir de la méthode de livraison C/A/R (Conception/Appel d'offre/Construction). Dans ce scénario, les entreprises de construction ne peuvent agir que lors de l'appel d'offres et la phase Construction. La phase de construction est donc une conséquence d'un appel d'offre réussi.

L'industrie du bâtiment actuel en France est telle que la CAR est la principale source de création de valeur pour les entreprises de construction. Compte tenu de cette information, la question de recherche a été formulée comme suit:

Comment les entreprises de construction peuvent-elles bénéficier de la pensée Lean pour améliorer les sorties la phase de l'appel d'offre dans une configuration C/A/R ?

3.2. Les limites de la recherche

La recherche trace l'effet de la mise en œuvre de la pensée Lean sur la phase d'appel d'offres de la configuration (Conception / Appel d'offre / Construction) qui concerne les trois activités de la société de construction (équipements publics, réhabilitation et le développement immobilier privé). Selon (Jina et al. 1997), les produits peuvent être classés selon trois catégories: « les coureurs, les répéteurs et les étrangers ». Cette classification aide à identifier où l'accent doit être concentré pour les initiatives d'amélioration. "Les coureurs, des répéteurs et des étrangers" est une classification de planification et de contrôle en fonction de la fréquence avec laquelle une opération de fabrication est appelé à fabriquer ou bien fournir un produit (Slack 2015). Dans le cas de notre recherche, "Conception / Appel d'offre / Réalisation" sont les coureurs. Le marché français est plus axé sur ce type de système d'exécution de projets de construction (Dakhli & Lafhaj 2015). C/R sont des répéteurs. Enfin, les étrangers pourraient être affectés aux projets PPP.

La recherche menée trace la performance de la phase d'appel d'offres des trois activités: "Le développement privé immobilier" "Les établissements publics» et «réhabilitation».

4. Méthodologie de recherche

Dans leur recherche, (Pekuri et al. 2014) ont affirmé: «Il n'y a pas de recette *(passe partout)* capable d'expliquer exactement comment la pensée Lean peut être appliquée d'une manière qui maintient l'ajustement entre les éléments d'un modèle d'entreprise existant tout en se développant comme un système ». Les auteurs soulignent également que le Lean peut être considéré comme un Business model viable pour une entreprise.

Dans cette recherche, la pensée Lean a été appliquée dans le contexte d'un changement qui vise à améliorer la performance de la phase d'appel d'offres. L'application a été sous la forme d'un événement « Kaizen » préparé en amont suivant les étapes décrites dans le Tableau 30.

Une phase de préparation de deux mois a été nécessaire avant l'événement Kaizen. Quatre étapes constituent cette phase.

La première étape est "Les pratiques actuelles et l'identification de la culture d'entreprise". Les discussions avec les responsables au service des études de prix ont permis de tracer la liste des pratiques actuelles qui devraient être prises en compte lors de la mise en œuvre du changement Lean.

La deuxième étape est "Formulation des objectifs cibles". Les objectifs ont été définis en collaboration avec l'entreprise de construction sous forme d'indicateurs de performance liés au temps, à l'impact économique, la qualité et la durabilité. Notons une absence de données antérieures sur la performance actuelle du service d'étude de prix, ce qui rend une analyse comparative des résultats de la démarche Lean difficile à cerner. De ce fait, les objectifs ont été fixés sur la base de l'expérience du responsables et directeurs du service Etude de prix.

Dans la troisième étape, les données ont été collectées (diagrammes de processus, organisation, etc.) pour tracer le processus actuel suivi de réponse à l'appel d'offre. La quatrième étape était de cartographier l'état actuel (la cartographie future sera examinée plus loin dans le document).

La seconde phase est la phase de l'évènement Kaizen. Elle est constituée des étapes 5, 6 et 7. L'évènement Kaizen a duré une semaine et a impliqué 15 collaborateurs de différents départements (du département de l'étude de prix, service travaux, achat, services de qualité, et le chercheur) afin de donner différentes perspectives et points de vue de l'amélioration de la phase d'appel d'offres dans l'étude de prix.

Pendant l'événement Kaizen, les problèmes avec le processus en cours ont été discutés et les contraintes identifiées. Cela a conduit à l'étape suivante: "Cartographier l'état futur". La dernière étape a consisté en la définition des actions d'amélioration générées par l'événement Kaizen. Selon le Tableau 30, l'approche Lean a été lancée dans le "service Etude de Prix" en utilisant trois outils Lean:

- Value Stream Mapping (VSM) et une analyse en temps de mise en œuvre (Lead Time Analysis).

- Approche Kaizen pour une amélioration continue (durable dans le temps).

- Techniques de résolution de problème (Diagramme d'Ishikawa, 5 pourquoi…)

La performance a été mesurée sur la base d'indicateurs choisis dans l'étape 2. Ces indicateurs sont décrits dans la section suivante. Les indicateurs de performance ont été suivis de près et présentés 6 mois après l'événement Kaizen dans la section «Résultats et discussion». Ainsi, les résultats de cette étude sont basés sur une évaluation effectuée après 6 mois de mise en œuvre du Lean avec un total de 45 opérations d'appel d'offres.

Tableau 30. Etapes d'implémentation de la démarche Lean dans l'étude de prix.

Phase	N°	Etape	Description	Références à l'appui de l'étape
Préparation du Kaizen (Avant le Kaizen)	1	Les pratiques actuelles et l'identification de la culture d'entreprise	Comment l'entreprise procède ? Ses valeurs fondamentales et manières de faire.	(Bortolotti et al. 2014; Knapp 2015)
	2	Formulation des objectifs cibles	Indicateurs mesurables à suivre pour évaluer l'impact de la démarche	(Nakhai & Neves 2009)
	3	Collecte de données	Organigramme, feuilles de processus.	(Bhamu & Singh Sangwan 2014)
	4	Cartographie du processus actuel	Le processus qui a conduit à la création de valeur pour le client.	(Basu & K. Dan 2014; Hubbard 2014; Kaplan & Norton 2000)
Kaizen (Pendant le Kaizen)	5	Problèmes, contraintes et identification des gaspillages	Diagramme Ishikawa, 5 pourquoi	(Mao et al. 2009; Khisty & Khisty 1992)
	6	Cartographie de l'état futur du processus	Etablissement d'un nouveau processus	(Yu et al. 2013b)
	7	Mise en place d'actions d'amélioration	"L'amélioration continue» est l'un des piliers de la théorie Lean.	(Kale & Karaman 2012; Yeung et al. 2013)

La méthode de recherche utilisée dans cette étude est "Action-Recherche". Cette méthodologie de recherche tombe dans la catégorie de la recherche appliquée. Elle est caractérisée par l'intégration du chercheur au sein du groupe de travail qui a pour but de changer le système.

Dans leur livre, (Fellows & Liu 2009) citent certaines exigences liées à la méthodologie « Action-Recherche » donnée par (Henry 2000) :

« Une relation de confiance ... ..bâtie au préalable ... acceptée par toutes les parties ...

Les chercheurs ont pleinement accepté les objectifs de l'entreprise et ont négocié la mesure dans laquelle ils seront impliqués avec une liberté en ce qui concerne l'accès à l'information et l'interprétation.

Un projet de recherche et d'innovation sera élaboré conjointement, qui doit être fixé en termes de problèmes à explorer et très précis en termes de méthodologie ... »

Le chercheur a été impliqué dans le plan de mise en œuvre et a été considéré comme un employé de l'entreprise en question. Ainsi, ses apports ont été considérés comme équivalents à d'autres collaborateurs en ce qui concerne les trois fonctions

déployées (conception de l'état futur, l'identification des problèmes avec le processus actuel et établissement des mesures adéquates pour les améliorations).

5. Résultats et discussion

Les résultats sont basés sur une évaluation effectuée après 6 mois de mise en œuvre du Lean (Après l'évènement Kaizen) avec un total de 45 opérations d'appel d'offres.

Ces opérations sont liées aux 3 départements d'appel d'offres (types de fonctionnement):

- Les aménagements publics.
- Réhabilitation.
- Développement immobilier privé.

5.1. Les pratiques actuelles et l'identification de la culture comme un élément clé de la mise en œuvre du Lean

Selon (Gregory A. Howell 1999), les relations humaines jouent un rôle crucial dans le succès de la mise en œuvre du Lean. Bien qu'il y ait un manque d'expériences d'implémentation d'une démarche Lean dans l'industrie de la construction française, certains aspects essentiels ont été pris en compte:

- Implication du Top Management.
- Compétences et formation dispensée.
- Le travail d'équipe et l'implication des collaborateurs.

Dans leur étude, (Bresnen, M., Goussevskaia, A. and Swan 2005) se sont penchés sur des initiatives de changement qui impliquent une perturbation dans les processus et les connaissances existantes. La plupart de ces initiatives échouent en raison de la forte incidence du changement générée entre les collaborateurs.

Avant de commencer l'approche Lean dans notre travail de recherche, l'Histoire de l'entreprise a été examinée et intégrée dans le processus d'implémentation. 5 critères ont été identifiés :

5.1.1. Évitez d'ajouter un autre «outil» (comme une solution) aux collaborateurs

Les archives montrent que l'entreprise avait développé (ou bien on lui a suggéré) une douzaine d'outils ayant pour vocation l'amélioration des performances. De fait, la sortie (output) recherchée de l'implémentation du Kaizen ne devait pas être sous forme d'un nouvel "outil ou logiciel", mais plutôt un

véritable changement de processus : l'approche Lean devait être orientée vers l'amélioration des processus.

5.1.2. Évitez de réinventer la roue

Le contexte actuel du marché français de la construction exige des acteurs qu'ils pensent différemment pour faire la différence. Chaque collaborateur est conscient de ce fait. Cependant, l'approche ne devait pas être présentée comme un moyen de réinventer l'entreprise existante mais comme une adaptation à l'existant. En règle générale, les collaborateurs attribuent une connotation négative lorsqu'ils sont obligés de repartir de zéro et de tout réinventer. Le Lean se focalise sur l'adaptation du point de vue du client à la réalité terrain.

5.1.3. Simplicité

Après quelques mois dans l'entreprise étudiée, on peut facilement remarquer la forte présence d'un état d'esprit axé sur les résultats. La simplification est le mot clé : ceci est en adéquation avec l'approche Lean vise l'élimination des gaspillages.

Le fait d'avoir conscience cette information augmente les chances de succès de l'approche Lean en identifiant les éléments déclencheurs favorisant la participation actives des employés dans la démarche.

5.1.4. Adapter la terminologie "Lean" à la culture de l'entreprise

Les mots sont puissants : les utiliser à bon escient peut créer un impact considérable dans le résultat final.

La terminologie Lean devrait être remplacée par le vocabulaire local. Ceci permet aux employés de s'approprier la philosophie Lean. Par exemple, l'approche Lean pourrait être traduite en "une approche de responsabilisation des collaborateurs pour fournir une meilleure valeur pour le client». En outre, chaque méthode ou outil Lean doit être soutenus par une définition claire et précise.

5.1.5. Les employés d'abord, ensuite le client dans un premier temps

L'un des critères clés de la réussite de l'implémentation Lean est l'implication et la pleine appropriation des employés de la méthodologie. Pour garantir cela, l'accent devrait être mis sur l'explication des avantages acquis par les employés suite à l'adoption de l'approche Lean (lors de la première implémentation). Ensuite, l'accent doit être dirigé lentement vers le client final. Ce faisant, les collaborateurs seront conscients que la méthodologie Lean a pour but premier de les soutenir en leur procurant les moyens de créer la valeur pour le client (Figure 29).

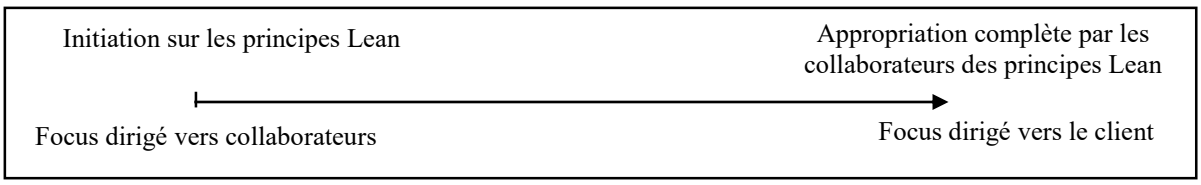


Figure 29. Implémentation Lean: changement d'attitude

5.2. Evaluation des avantages de l'approche Lean

Les avantages de l'approche Lean ont été évalués selon (Ebbesen & Hope 2013). Le triangle de gestion de projet (coût, le temps, la qualité) n'est pas la meilleure représentation de la réussite d'un projet. (Ebbesen & Hope 2013) ont proposé un nouveau modèle où le triangle est guidé par une nouvelle composante : la durabilité. De nombreuses tentatives ont été menées pour élaborer le meilleur ajustement de la durabilité dans le triangle de gestion de projet: par exemple, le modèle de l'Etoile représenté dans la Figure 30 développé par (Grevelman & Kluiwstra 2010).

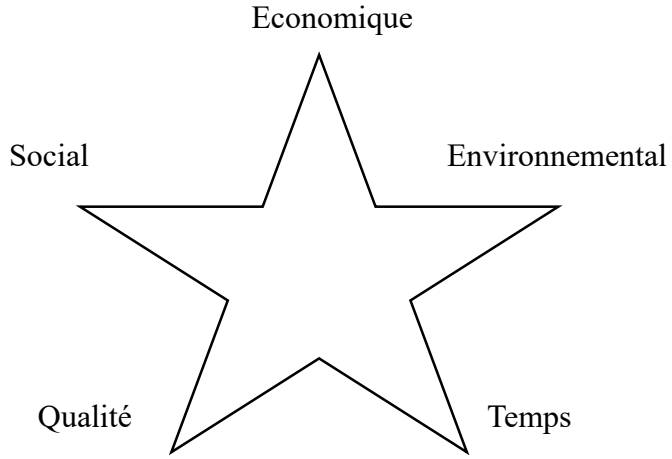


Figure 30. Intégration de la durabilité dans le triangle de gestion de projet (Grevelman & Kluiwstra 2010)

5.2.1. Sélection des indicateurs de performance

L'impact de la démarche Lean a été quantifié selon les indicateurs établis à l'étape 2 (voir Tableau 30). Le Tableau 31 résume les indicateurs suivis dans cette étude. Pour le «Temps», nous avons suivi "Délai de soumission de l'offre" (équivalent du Lead Time en industrie) comme indicateur. L'indicateur "Impact économique" est composé de trois sous-parties: « Méthode de la Valeur Acquise » (Earned Value Method), la « productivité » et l'exploration des variantes ». Chacune de ces sous-parties dispose d'un indicateur de performance. L'indicateur «qualité» est composé de deux sous-parties: Kaizen et le contrôle de la variabilité. Enfin, la «durabilité» est divisée en "Collaborateurs" (comment les opérations d'appel

d'offres sont attribuées aux employés?) Et «Stratégie» (en choisissant la bonne stratégie pour l'offre: chiffrage rapide ou détaillé).

Les valeurs de la performance cibles ont été établies en fonction de l'expérience de la direction du service de l'étude de prix vu l'absence de données antérieures. Ces valeurs sont supposées être supérieures à la performance actuelle du processus existant.

Tableau 31. Les indicateurs de performance choisis pour suivre la mise en œuvre Lean

	Sous-Parties	Indicateurs de Performance
Temps		Délai de soumission de l'offre
Impact économique	Méthode de la Valeur Acquise	Ecart des coûts entre la valeur prévue et le coût réel de l'offre tout au long de la réponse à l'appel d'offre
	Productivité	Nombre Homme/opération
	Exploration des variantes	Réduction des coûts de l'opération en proposant des variantes
Qualité	Kaizen	Nombre d'idées et d'actions d'amélioration
	Contrôle de la variabilité	Variabilité du prix de l'offre (Avant/Après bouclage technique)
Durabilité	Employés	Opérations attribuées sur la base de la compétence des employés en utilisant la «matrice de compétences"
	Stratégie	Ajout "estimation rapide» dans le processus existant

5.2.2. Temps

Une des améliorations ciblée est la réduction du délai de soumission de l'offre (Figure 31). Si une offre prend plus de temps que nécessaire, l'équipe d'appel d'offres en cours de réponse (chargé de l'étude de prix structure, corps d'état secondaire, commercial et le chargé d'équipe) est mobilisée au lieu d'entamer de nouvelles études.

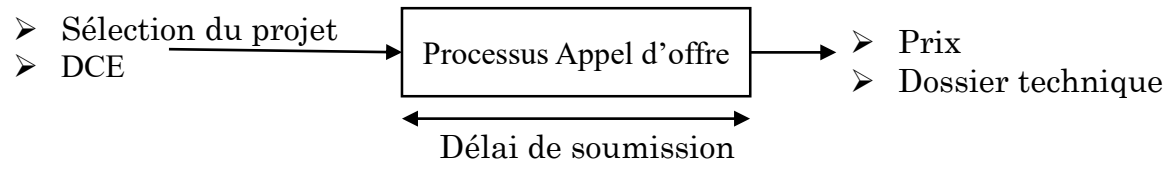


Figure 31. Processus de soumission de l'appel d'offre : entrée et sorties.

Pour évaluer la durée de l'appel d'offres, une cartographie de l'état actuel de a été réalisée via une « Value Stream Mapping » modifié (VSM). La raison de modification de la légende VSM est qu'un processus de production est différent d'un processus d'appel d'offres (service). Ce dernier exige une légende spécifique

pour mieux décrire sa complexité "des tâches répétitives, les tâches de la demande, etc. (voir Figure 32.a).

Le processus d'appel d'offres actuel (Etape 4 du Tableau 30) contenait plus de 150 tâches (Cartographie réalisée grâce à l'étape 3 "collecte de données" du Tableau 30). L'événement Kaizen a permis de repenser l'offre et de dessiner une nouvelle cartographie (Figure 32.b). Le futur processus est désormais composé de 72 tâches et divisé en 3 phases comme suit:

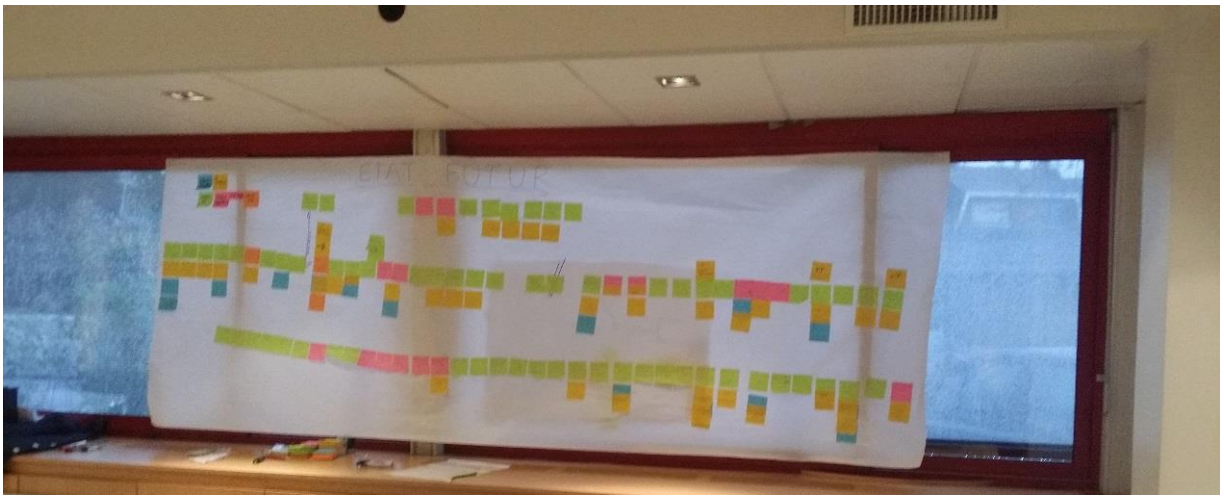
- Phase 1 : "Lancement de l'affaire": c'est la première phase du processus avec comme principal objectif l'évaluation donnant le signal "oui ou non" pour entamer la réponse. Cette phase est composée de 19 tâches.

- Phase 2 : "Etude du dossier»: une fois le principe de l'étude acté, il est lancé pour en étude détaillée. Cette phase du processus contient 44 tâches (depuis la consultation des sous-traitants en passant par la visite de chantier, etc.). Cette phase se termine lorsque le prix et la faisabilité technique (sorties du processus d'appel d'offres comme montré dans la Figure 31) sont validés et soumis au client.

- Phase 3 : "Retour budget travaux": la dernière phase du processus débute si l'opération est gagnée. L'entreprise de construction entame les procédures administratives avec le client. Le processus se termine lorsque l'équipe de d'appel d'offre reçoit un retour au sujet de leur estimation de l'équipe de construction sur place au demarrage de la construction. Cette phase contient 9 tâches.

L'application de la VSM modifiée a permis de distinguer 3 collaborateurs chargés de mener la réponse à l'offre (chargé d'étude de prix « *tâches en vert »*, chargé d'étude de prix corps d'états secondaires *« tâches en violet »* et le chargé d'équipe « tâches en jaune ») (Figure 32.b). Le rectangle blanc dans la légende de la Figure 32 signifie que d'autres collaborateurs sont responsables de la réalisation de la tâche (un commercial ou autre). Ensuite, les tâches respectives pour chaque rôle dans l'étude de prix ont été clairement décrites: le séquençage des tâches, intervalle de temps si fixe, les outils et le soutien nécessaires pour réaliser la tâche (Figure 33). En outre, les interactions avec d'autres départements de l'entreprise ont été identifiées. Enfin, les tâches répétitives pour chaque projet (visite de chantier par exemple) et les tâches à la demande (réunion demandée par le responsable de l'étude) ont été mises en évidence.

a)



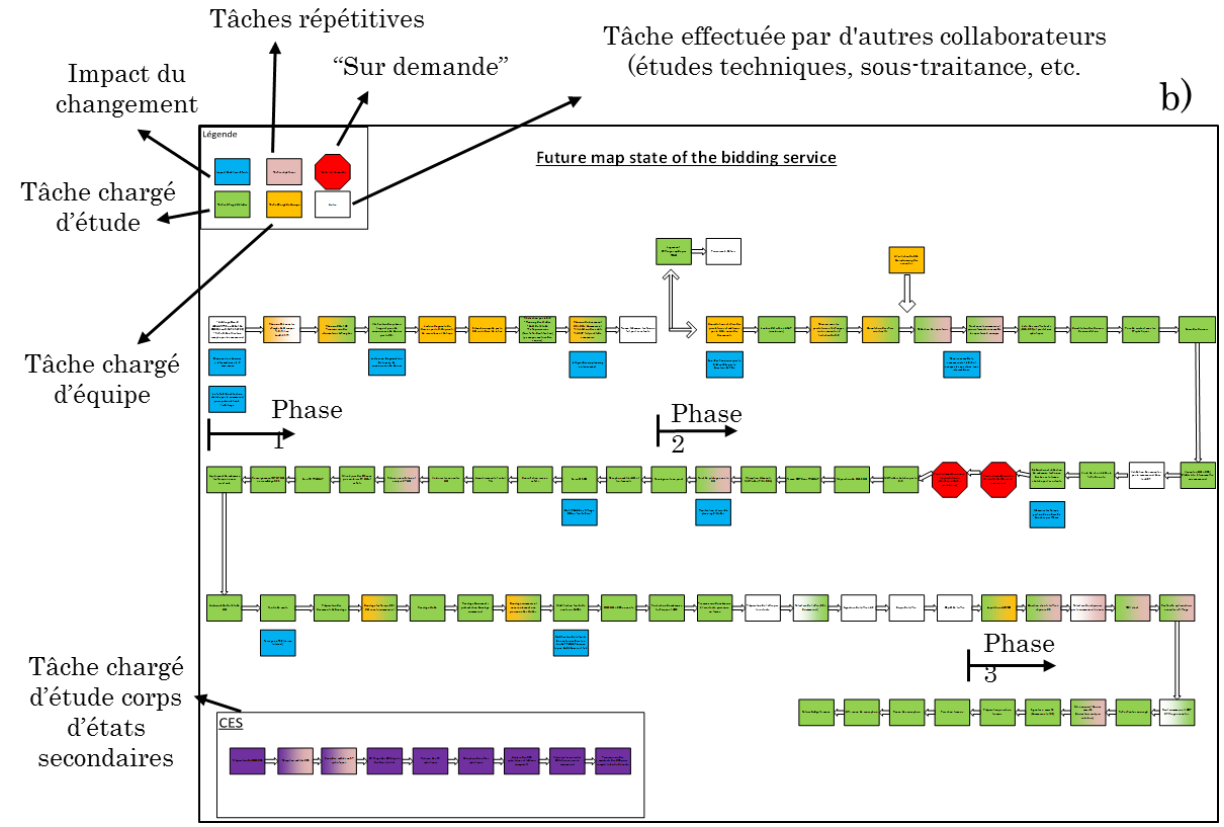


Figure 32. a) Dessin de la cartographie du processus d'appel d'offre futur b) la modélisation du processus futur

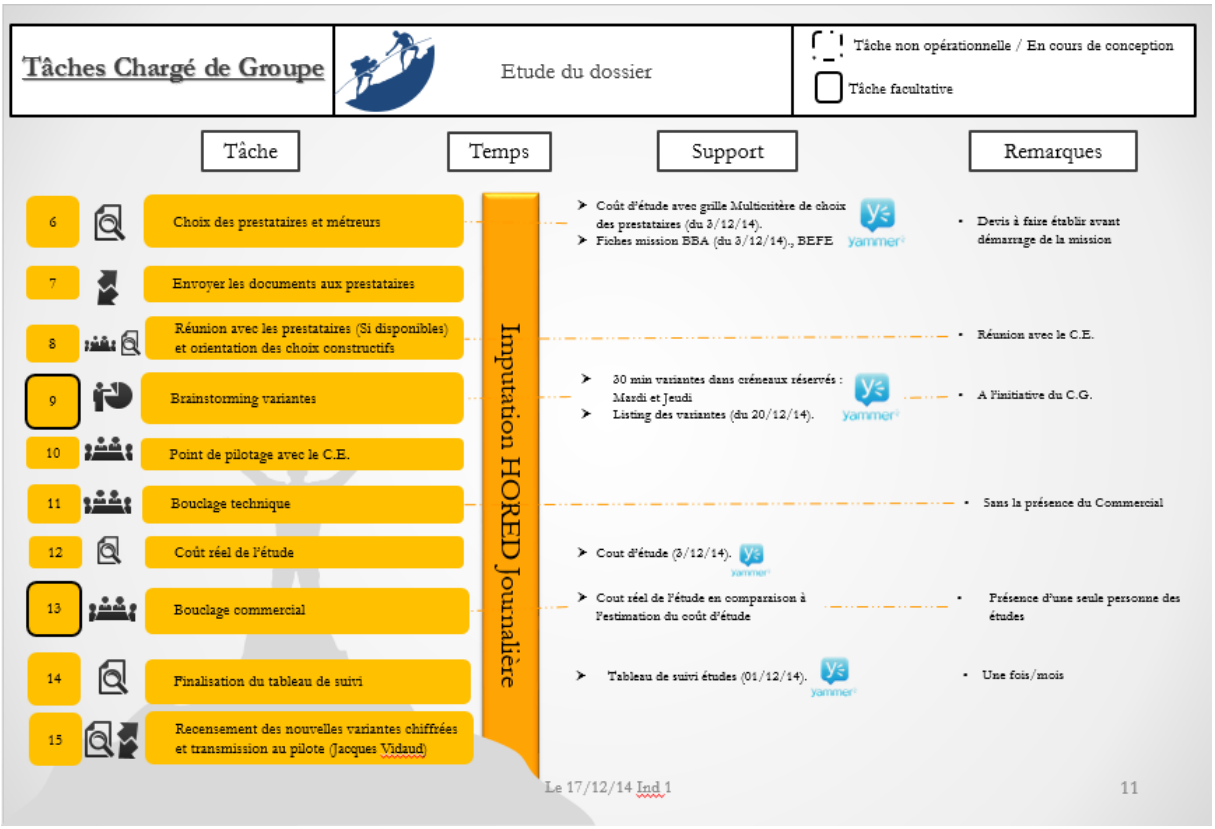


Figure 33. Exemple d'identification de tâches pour le chargé d'équipe

La Figure 34 présente le délai de soumission de l'offre (échantillon de 45 projets) après 6 mois d'implémentation du Lean en fonction des 3 types d'opérations. Les délais varient de 15 à 27 jours et les performances cibles de 29 à 36 jours (selon le type d'opération). Dans l'ensemble, une réduction du temps de soumission est remarquée dans tous types d'opération. Ce résultat est prévisible puisque que le nouveau processus de soumission a entraîné une réduction de 46% des tâches dans la phase d'appel d'offres.

Environ 24% réduction des délais pour l'aménagement public, 49% pour la réhabilitation et 28% pour le développement de l'immobilier privé. Dans les projets de réhabilitation, l'amélioration est plus prononcée que les autres types d'opération. La réhabilitation est un marché relativement nouveau pour l'entreprise de construction. Ainsi, le processus est en cours d'élaboration, ce qui explique sa grande variabilité au niveau des délais.

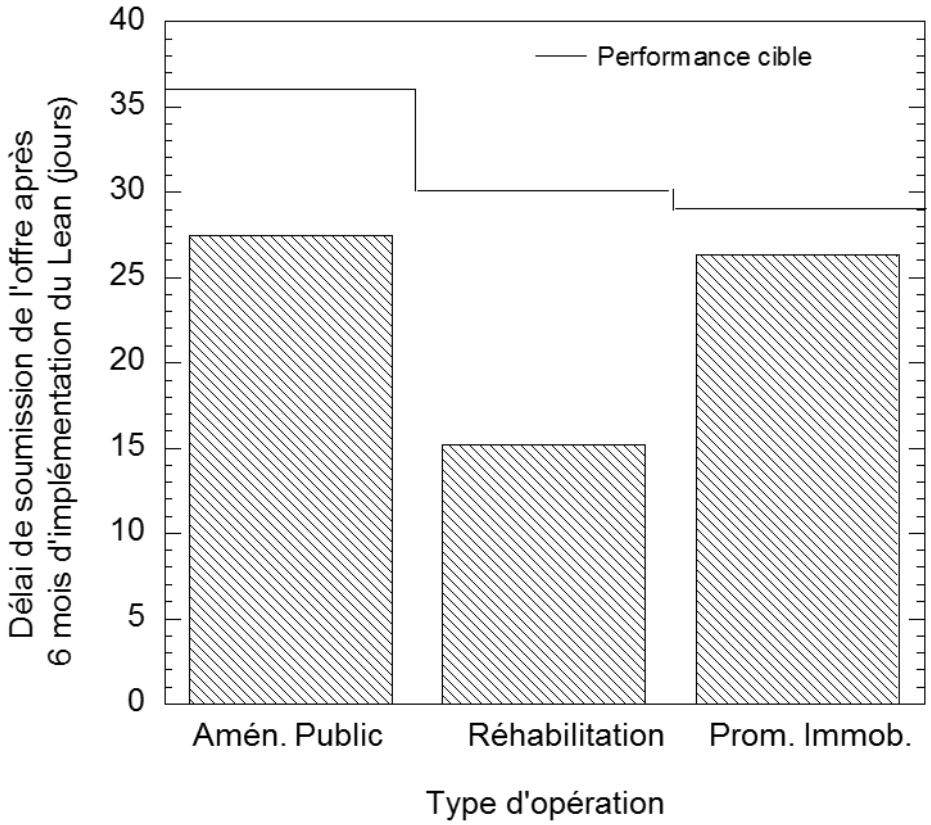


Figure 34. Délais de soumission de l'offre de 45 projets après 6 mois d'implémentation du Lean en fonction de 3 types d'opérations.

5.2.3. Impact économique

Non seulement la philosophie Lean vise à améliorer la productivité de la phase d'appel d'offres, mais elle a introduit un nouveau concept dans le processus. Ce concept est la Méthode de la Valeur Acquise (EVM) qui permet le suivi d'avancement du projet avec un contrôle budgétaire.

- Application de la Méthode de la Valeur Acquise (EVM)

Une contrainte majeure cité à plusieurs reprises par les collaborateurs est la difficulté rencontrée d'«agir» avant qu'«il ne soit trop tard". Plusieurs fois, les collaborateurs se livrent à une opération d'appel d'offres qui consomme du temps (en moyenne un mois), avant de découvrir un dépassement du budget prévu initialement. Pour cette raison, la méthode EVM a été introduite dans le nouveau processus.

EVM est une technique de mesure de la performance axée sur la relation entre les performances financière et temporelle, indiquant la performance prévues et réelles dans le but d'établir des mesures correctives au cours du projet (Ponz-Tienda et al. 2012). Puisque l'objectif du volet «impact économique» est de surveiller le coût prévu de l'appel d'offre, l'EVM a été testé et les résultats sont comme suit :

La Figure 35 représente l'écart entre les valeurs réelle et prévue du coût d'étude des appels d'offres après 6 mois de mise en œuvre d'EVM dans le cadre de la démarche Lean. Le coût de lié à l'étude d'un appel d'offre comprend: le coût de l'équipe d'étude de prix (chargé d'étude, chargé d'étude corps d'états secondaires si nécessaire, chargé d'équipe, le commercial, bureaux d'études si nécessaires). La performance cible fixée est une variation de +/-2% par rapport au coût théorique.

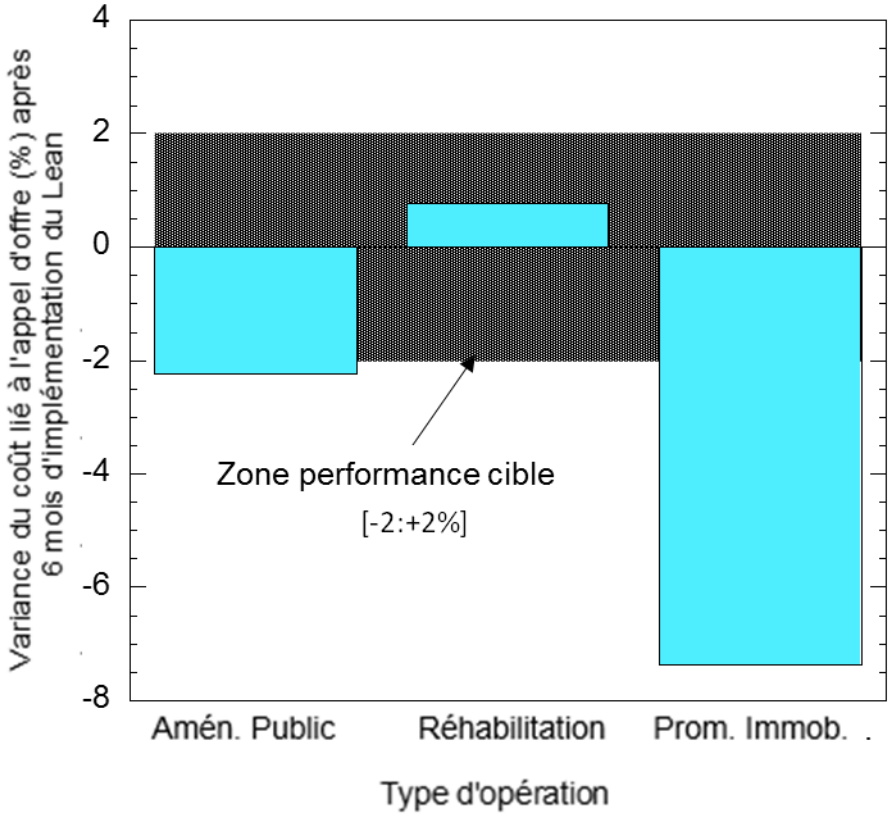


Figure 35. Variance entre la valeur réelle et prévue du coût d l'étude de l'appel d'offres après 6 mois de mise en œuvre d'EVM dans le cadre de la démarche Lean

Une diminution de la variance entre le coût prévu au lancement de l'appel d'offre et le coût réel de l'appel d'offre est observée. L'écart se situe entre « -7% » et « +0,78% » après 6 mois de mise en œuvre de « EVM ». Un écart négatif signifie des économies dans le budget d'appel d'offre. Bien qu'il existe des économies dans le développement immobilier privé et les équipements publics, les opérations de « Réhabilitation » fournissent une meilleure performance en raison de l'adéquation avec la performance ciblée (l'objectif est d'éliminer la variance du coût de l'appel d'offre lors de l'établissement du budget initial). Enfin, la raison pour laquelle la variance des coûts est positive pour les projets de réhabilitation (ce qui signifie que le budget initial fixé pour la soumission a été dépassé) est que cette expertise est relativement nouvelle par rapport aux deux autres types d'opérations.

En conclusion, la mise en œuvre de l'EVM via la démarche Lean a entraîné des économies budgétaires substantielles (écarts de coûts sont négatifs à

l'exception des projets de réhabilitation). Cependant, le procédé souffre encore d'une certaine variabilité qui doit être suivie et éliminée au cours du temps.

- Augmentation de la productivité

La productivité a été évaluée en utilisant le nombre homme mobilisé par réponse à un appel d'offres en tant qu'indicateur.

La Figure 36 exprime l'indicateur Homme / opération (combien de personnes sont mobilisées pour répondre à un appel d'offre) en fonction des types de d'opérations et de la performance ciblée. Pour les équipements publics, une moyenne de 1,33 hommes mobilisés. La valeur la plus faible est attribuée aux opérations de réhabilitation avec une moyenne de 0,78 hommes / opération. Enfin, le développement immobilier privé nécessaire, en moyenne, 1,28 hommes / opération.

La diminution de homme/ opération est due à la documentation des processus, la collaboration engendrée par la nouvelle cartographie.

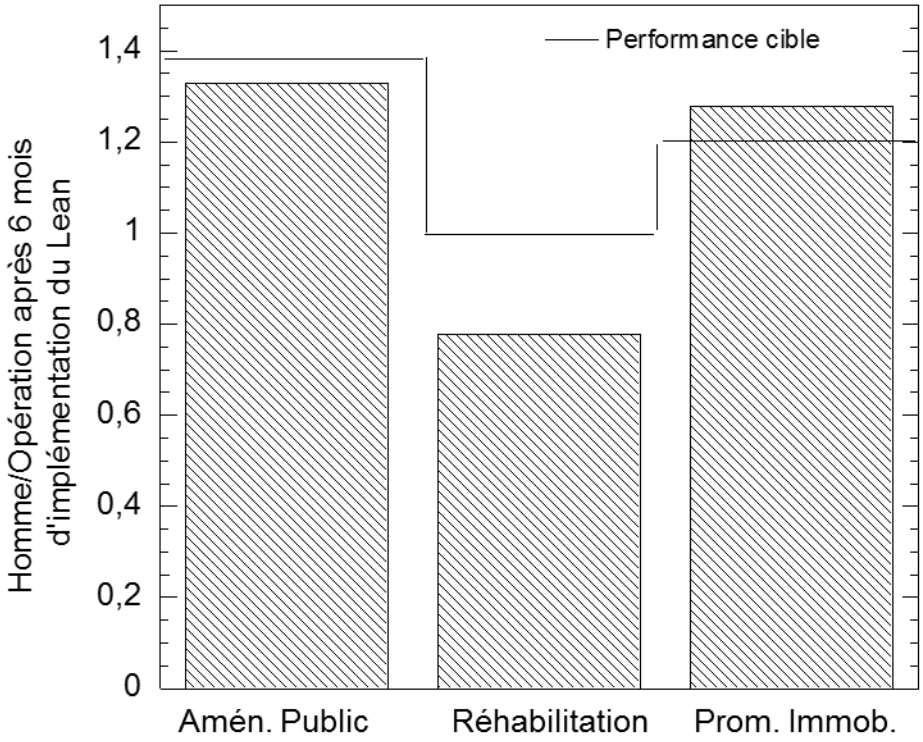


Figure 36. Homme/ opération après 6 mois d'implémentation de la démarche Lean

- Exploration de variantes pour offrir plus de valeur au client

L'événement Kaizen a résulté en l'introduction de la pensée « variantes » lors du processus de réponse à l'appel d'offre. La recherche des variantes se concrétise sous la forme d'une séance de Brainstorming où les chargés d'études partagent des idées pour modifier légèrement la conception de l'opération afin de réduire le coût et de donner au client (client final, qui choisira l'entreprise de construction) de

nouvelles perspectives de conception. Ces séances de brainstorming ont été ajoutées au nouveau processus de l'appel d'offre.

De nombreux chercheurs étudient l'effet de la collaboration et du partage de l'information sur le succès des projets de construction. Dans leur article, (Kang et al. 2012) ont investigué les obstacles rencontrés dans le partage des connaissances et de l'information. Par ailleurs, de nombreux avantages sont attendus dans la phase de construction selon (O'Connor 1985): réduction du temps de construction, l'utilisation efficace de la main-d'œuvre ...

Les séances de brainstorming menées ont conduit à des changements dans la conception grâce à l'exploitation de:

- Solutions structurelles: l'amélioration de la structure du bâtiment.
- Des alternatives de développement durable: ajouter la conception durable au projet.
- Alternatives contractuelles: par exemple, en proposant un contrat spécial pour les sous-traitants pour réduire les coûts
- Alternatives architecturales: elles impliquent des changements dans toute l'architecture de la construction, y compris: portes, menuiserie, murs et la finition des sols, etc.
- Alternatives techniques: électricité, système de chauffage, de plomberie ...

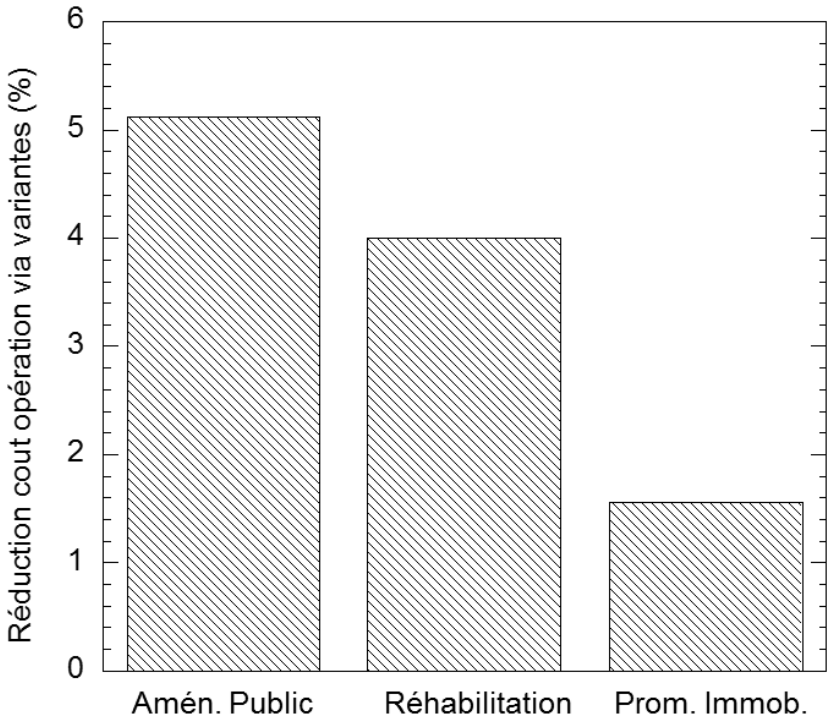


Figure 37. Réduction du coût des opérations en utilisant des «séances de brainstorming» pour générer des variantes pour le client

10 opérations ont bénéficié de séances de brainstorming pour générer de nouvelles améliorations à la conception pour proposition au client. Les résultats sont présentés dans la Figure 37.

Le coût de l'offre fournie a diminué de 5,12% dans les opérations « aménagements publics ». En réhabilitation, les variantes ont permis une réduction de 4%. Enfin, pour les opérations de promotion privée, les avantages liés au brainstorming variantes sont quantifiés à 1,56%.

5.2.4. Qualité

- Amélioration continue

L'évènement Kaizen a donné lieu à 21 idées de changement qui visent à éliminer les gaspillages dans la chaîne de valeur de l'appel d'offre. Ces idées sont développées en 48 actions attribuées aux collaborateurs (tableau 3).

Tableau 32. Idées et actions développées durant le Kaizen et après 6 mois

	Juste après l'évènement Kaizen	Après 6 mois de l'évènement Kaizen
Idées d'amélioration	21	15
Actions entreprises	48	17

Un système d'amélioration continue a été mis en place dans le but de partager les connaissances et les meilleures pratiques entre les collaborateurs. L'effet de l'approche Kaizen dans la phase d'appel d'offres a déjà été évalué par (Abdul-Rahman et al. 2012).

Le système permet de générer de nouvelles variantes de conception de projet pour le client final dans le but d'améliorer la constructibilité et le coût (capitalisation des connaissances issues de la séance Brainstorming Variantes). Tous les mardis matin et pendant une heure, les collaborateurs du service d'appel d'offres se réunissent pour partager des idées et donner des évaluations sur un projet en cours notamment en fournissant des idées d'amélioration. Ensuite, les idées sont recueillies et capitalisés.

Ce modèle aide les collaborateurs à se lancer dans une démarche d'amélioration continue de la phase d'appel d'offres. Parmi les avantages: une augmentation de la précision de la tarification, des estimations plus réalistes et une meilleure évaluation des risques associés à l'appel d'offres.

- Diminution de la variabilité dans le processus d'appel d'offres

Le processus de la phase d'appel d'offres comprend deux réunions essentielles avant soumission final de l'offre au client (Figure 38). La première est la «réunion de bouclage technique» suivie de la «réunion de bouclage commercial".

- Réunion de bouclage technique: l'objectif est de fournir les derniers changements dans la faisabilité technique pour réduire le prix de l'offre proposé.

- Réunion de bouclage commercial: c'est la dernière réunion avant la validation de l'offre. Elle nécessite la présence d'un commercial et le responsable de l'étude menée (un chargé d'équipe). L'objectif est de valider l'offre finale avant envoi au client et suite aux modifications suggérées lors du bouclage technique.

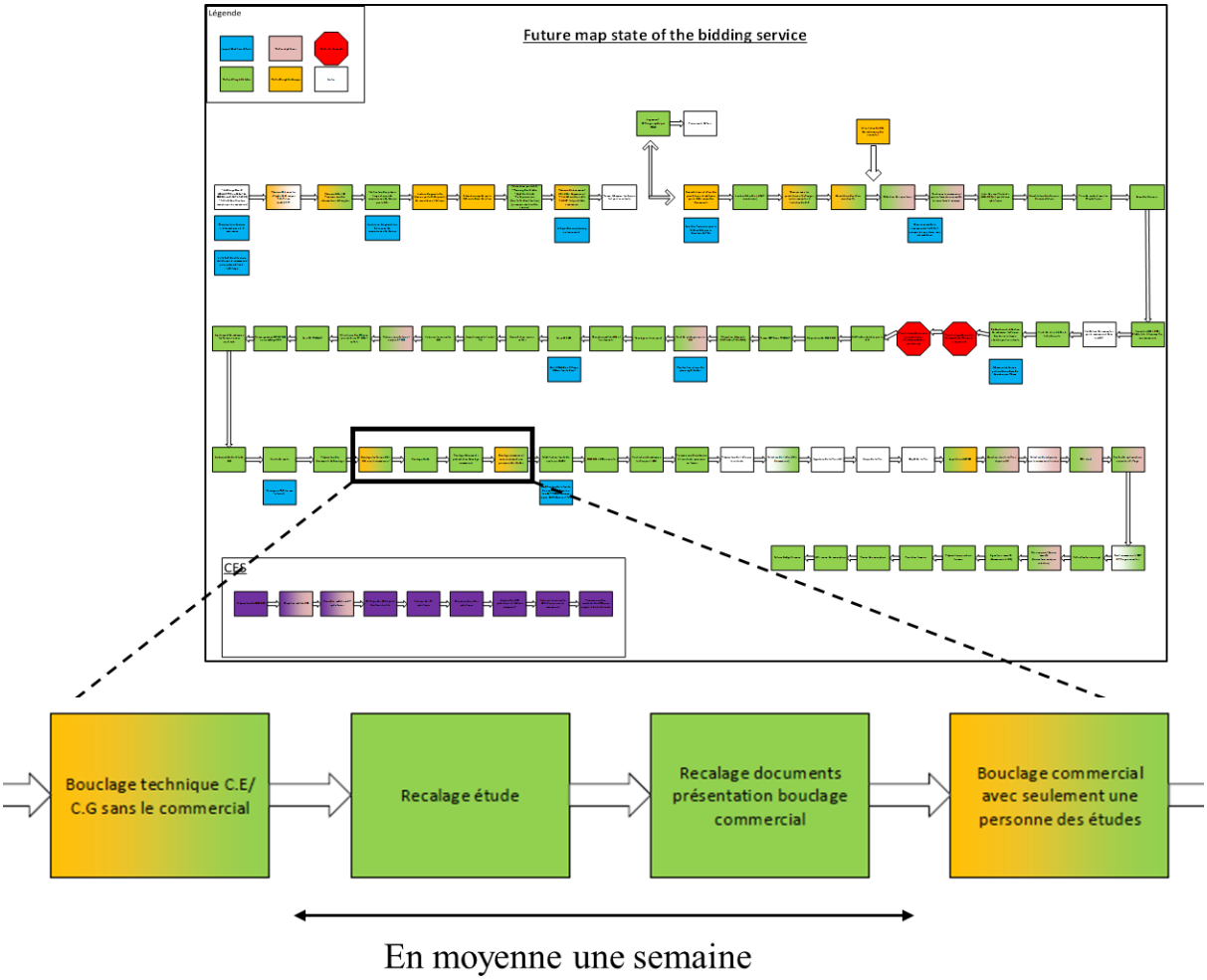


Figure 38. Processus "Réunion de bouclage technique/commercial"

Un indicateur de la variabilité du processus d'appel d'offre a été proposé comme suit : «Variabilité du coût de l'opération avant / après la réunion de bouclage technique". Cet indicateur évalue la variabilité du processus de la phase d'appel d'offres. La Figure 14 présente l'offre la variabilité de 45 actions entreprises après 6 mois de l'événement Kaizen. L'offre proposée avant l'examen technique a été réduite de -1,55% dans le département de l'équipement public -2,22% dans la réhabilitation et -3,34% dans le développement immobilier privé. La valeur

absolue supérieure du coût variable, instable est le processus. En effet, une grande valeur absolue signifie beaucoup de changements ont eu lieu entre la technique et les réunions d'examen commerciaux ainsi le processus est inefficace.

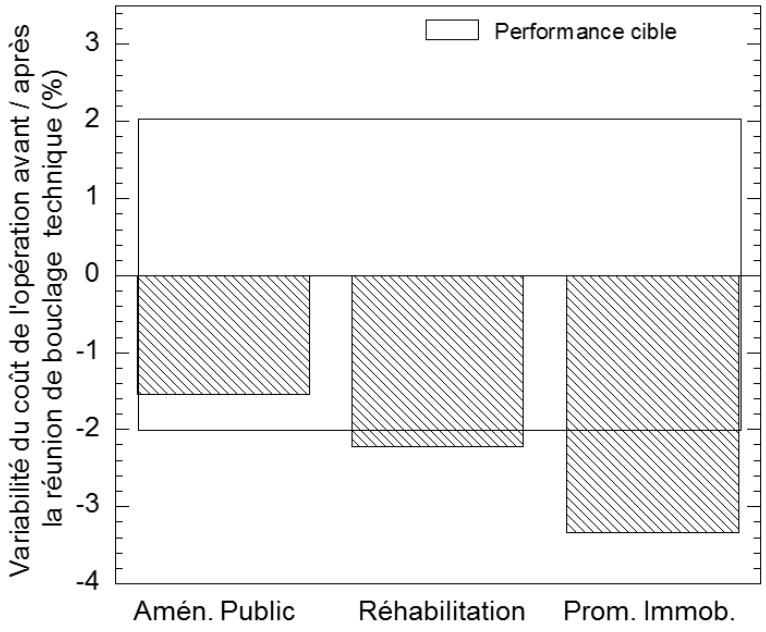


Figure 39. Variabilité du coût de l'opération avant/après la réunion de bouclage technique suivant le type d'opération.

Ce résultat peut être justifié par le fait que le nouveau processus d'appel d'offres permet aux chargés d'études de fixer des réunions selon la nécessité (les tâches en rouge « sur demande » dans la nouvelle cartographie Figure 32). Par exemple, les chargés d'études peuvent fixer une réunion avec les commerciaux pour obtenir des entrées sur les besoins du client.

5.2.5. Durabilité

- Collaborateurs: gestion des compétences pour favoriser la collaboration

La méthode existante d'appel d'offres consiste en l'affectation des chargés d'études aux opérations selon leur disponibilité. Cette méthode est facile à utiliser et ne nécessite pas beaucoup de facteurs de prise de décision. Cependant, les compétences ne sont pas bien allouées. En conséquence, une perte de valeur pour le client final est inévitable.

Lors de l'évènement Kaizen, le système a été modifié. Les projets sont maintenant attribués en fonction de l'expertise et non de la disponibilité. De plus, les compétences de chaque employé ont été collectées afin de créer la « matrice de compétences". Chaque collaborateur peut informer son niveau d'expertise en fonction de plusieurs critères comme suit :

- Type d'opération.

- Les projets antérieurs entrepris et expériences.

- Développement d'outils et optimisation.

- Compétences techniques: la structure, l'ingénierie, la construction, etc.

- Les compétences peuvent être des compétences techniques ou non techniques (soft skills comme la négociation…)

- Stratégie: repenser la phase d'appel d'offres grâce à une approche axée sur la valeur

Une entreprise qui perdure est le résultat direct d'une exploitation à long terme établies par les bonnes orientations stratégiques. La pensée Lean peut être considérée comme un facilitateur de fonctionnement grâce à ses outils et méthodologies pratiques. La pensée Lean peut également être considérée comme un outil stratégique en prenant la seule valeur ajoutée celle formulée par le client (interne et externe). Ainsi, la stratégie pourrait être déclinée en fonction de la maximisation des sorties à valeur ajoutée.

Les archives de l'entreprise ont révélé que l'appel d'offre a été fait toujours entamé en détails. En conséquence, une grande quantité de temps est nécessaire pour fournir un prix final.

Dans certains cas, l'adjudication détaillée conduit à un prix hors de la zone souhaitée par le client (prix trop haut). Le temps perdu à réaliser des activités à non-valeur ajoutée est considérable (un mois ou plus). Pour résoudre ce problème, une étape d'estimation rapide a été ajoutée au processus futur d'appel d'offres (Figure 40).

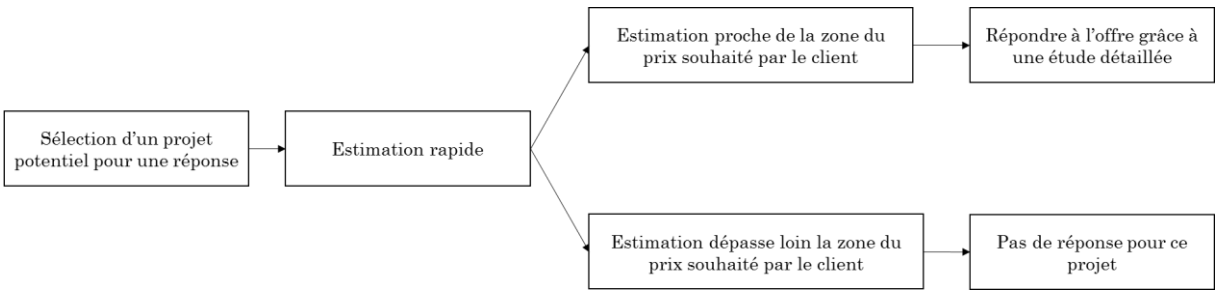


Figure 40. Intégration de l'estimation rapide dans le processus futur de l'appel d'offres

L'estimation rapide est un ajout stratégique qui nécessite quelques jours et consiste en l'évaluation du coût du projet en utilisant des ratios. Ce nouveau processus ajouté à l'appel d'offre a permis l'élimination des gaspillages « temps et compétences : en mobilisant les employés dans un projet qui n'a pas de valeur ajoutée pour le client (le prix final est pas dans le stade» et l'augmentation de la qualité des réponses.

- Implication du «facteur de durabilité» sur le processus d'appel d'offres

Les indicateurs liés au "Temps" et "Impact économique" reflètent un effet direct sur la performance à court terme du processus d'appel d'offres. Les indicateurs «qualité» ont un impact à moyen terme sur la performance. Enfin, les indicateurs «durabilité» fixent les bases d'une performance durable à long terme pour le processus d'appel d'offres.

Sélectionner la bonne équipe pour le bon projet contribue à responsabiliser l'équipe projet en favorisant la collaboration. Les employés sont moins susceptibles d'avoir une expérience négative avec leurs collègues en raison du manque de compétences par exemple.

Enfin, avoir une stratégie claire pour les appels d'offres (en ne répondant pas de la même façon pour tous les projets) aide à réduire les risques des réponses condamnées à l'échec dès le lancement et améliore les chances d'obtenir un certain nombre d'activités dans le long terme.

5.3. Validité et limites de recherche

La validité de la recherche dépend de trois critères: la validité interne, la validité externe et la fiabilité (Johnson 1997; Bashir et al. 2008). Le premier critère pourrait être traduit en la question suivante: «est-ce que ce que nous voulons mesurer est réellement mesuée?". Notre recherche a mesuré l'impact de l'événement Kaizen en se basant sur des indicateurs factuels recueillis et décrivant le mieux possible les effets de l'événement Kaizen.

Le deuxième critère est équivalent à la question: «est-ce que ce que nous sommes en train de mesurer est applicable au monde réel?". La recherche menée est pratique et est expérimentée dans un contexte professionnel (monde réel).

Le dernier critère pourrait être validé par la question: «si la recherche est entamé à nouveau, pourrions-nous obtenir les mêmes résultats?". La recherche a été menée avec des "variables externes" fixes, ce qui signifie que pendant le processus d'expérimentation (depuis l'événement Kaizen jusqu'à la collecte de données au bout de 6 mois), aucun changement important n'est arrivé (embauche / licenciement) ou d'autres variables externes qui pourraient influencer les indicateurs mesurés (nouvelle politique d'entreprise ou autre).

La principale limitation de la recherche menée est que le lien entre la conception et la phase de construction n'est pas investigué de manière exhaustive (pour proposer des améliorations dans l'étude de prix). La raison est que l'appel d'offre est une «phase de transition» : l'objectif principal de la réponse à l'appel d'offre pour les entreprises de construction est de sécuriser le gain projet. Ainsi, les ressources doivent être bien utilisées pour atteindre cet objectif sans compromettre la rentabilité (par exemple, la nomination d'un conducteur travaux au cours de la phase d'appel d'offres a un coût correspondant).

6. Conclusion

Dans cette étude de recherche, un événement Kaizen a été appliqué à la phase d'appel d'offres dans une entreprise de construction de bâtiments. Des indicateurs de performance ont été mis en place pour évaluer l'effet de l'implémentation du Lean après 6 mois de l'évènement Kaizen. Les indicateurs de performance sont liés aux: temps, impact économique, la qualité et les facteurs de durabilité.

Les résultats pourraient être résumés comme suit:

- L'appel d'offres peut bénéficier de la pensée Lean.
- Les aspects culturels doivent être évalués et pris en compte avant d'engager un programme de changement Lean.
- La pensée Lean contribue non seulement à augmenter le niveau opérationnel (temps, coût, qualité) mais agit également comme un guide pour la mise en place d'une nouvelle stratégie d'entreprise.

Concrètement, l'implémentation du Lean a permis de :

- Réduire le nombre de tâches dans le processus de l'appel d'offre de 150 à 72 tâches, en éliminant celles à non-valeur ajoutée.
- Une diminution de la variance entre le coût prévu au lancement de l'appel
- d'offre et le coût réel de l'appel d'offre est observée. L'écart se situe entre «-7% « +0,78% » après 6 mois de mise en œuvre (avec pour objectif 2% d'écart).
- Augmentation de la productivité avec comme moyenne : une moyenne de 1,3 hommes mobilisés (au lieu de plus de 2 hommes mobilisés).

La pensée Lean avait aussi des conséquences dans la gestion et le social en entreprise: la sélection de l'équipe de projet dans la soumission est passée de "l'état de disponibilité" à une sélection basée sur les compétences. En outre, une nouvelle stratégie d'appel d'offres a été fixée pour maximiser la sortie de cette phase.

Peu d'études de recherche concernent la phase d'appel d'offres de l'entrepreneur et son amélioration en utilisant la pensée Lean. Ceci est principalement dû à la structure séquentielle de l'implication des acteurs dans le projet de construction. Cependant, l'importance de ce type de marché sur le marché français devrait être considérée comme une opportunité pour le rendre plus efficace pour toutes les parties prenantes (propriétaire, architecte, entrepreneurs).

L'accent doit être orienté vers la mise en place des cadres Lean pour la phase d'appel d'offres de l'entrepreneur. Enfin, le lien entre la phase d'appel d'offres et la construction devrait être évaluée en identifiant les occurrences des gaspillages (perte d'informations...).

Chapitre 4

La logistique, un levier de performance sous-estimé en phase « Construction »

Mots-clés - Construction, logistique, Kitting, Supply chain, performance.

1. Introduction

Dans ces trois derniers chapitres, nous allons nous intéresser à la phase « Construction ».

Alors qu'il existe une panoplie de méthodes de production potentielle à tester pour cette phase, nous nous sommes concentrés sur l'aspect « logistique » de la phase «construction ». L'impact d'une logistique efficace sur chantier peut créer une réelle différence sur le rendu final du projet. De plus, le métier de conduite de travaux est généralement associé à une expertise technique ainsi qu'un management au jour le jour (la logistique est moins considérée dans la construction).

Pour montrer l'effet d'une bonne logistique chantier, nous allons considérer le Tableau 33 qui montre l'effet d'une bonne logistique sur le revenu d'un projet de construction. Une bonne logistique se traduit par une réduction des coûts des matériaux (volés/cassés). Elle peut également se traduire par une réduction du coût de la main d'ouvre (les personnes ne perdent pas du temps à chercher et à récupérer les produits sur chantier). Dans notre cas, nous allons considérer que l'effet sur les matériaux.

Tableau 33. Effet d'une bonne logistique sur le revenu

	Pourcentage de réduction dans les matériaux		
Référence	5%	10%	15%

Revenue (k€)	1 000	1 000	1 000	1 000
Matériaux (k€)	390	371	351	332
Main d'œuvre (k€)	275	275	275	275
Marge brute (k€)	335	354	374	396
Charges d'exploitation (k€)	200	200	200	200
Revenu net (avant taxes) (k€)	135	154	174	193
% amélioration		**14%**	**29%**	**43%**

Une réduction de 5% des couts des matériaux permet de gagner 14% de performance financières. Une réduction de 10% permet de gagner environ 29% (15% -> 43%). Notons que l'effet sur la réduction des heures de la main d'œuvre n'est pas pris en compte.

Cet exemple met en évidence les gains substantiels possibles par le biais d'une logistique maîtrisée sur chantier.

Une autre raison de l'importance capitale d'une bonne logistique vient du contrat signée par l'entreprise de construction concernant la partie des délais d'exécution Figure 41.

ARTICLE 5. PENALITES

5.1 Délais d'exécution

En cas de non-respect de l'obligation d'achever le PROGRAMME DE CONSTRUCTION dans le délai déterminé ci-dessus, sauf survenance d'un cas de force majeure ou plus généralement d'une cause légitime de suspension du délai d'achèvement et de livraison, il est expressément convenu que l'entreprise sera redevable envers le PROMOTEUR d'une pénalité journalière égale à :

- **2 290 €** toutes taxes comprises du 1er au 30ème jour calendaire de retard,
- **3 663 €** toutes taxes comprises du 31ème au 90ème jour calendaire de retard,
- **4 567€** toutes taxes comprises par jour de retard au-delà du 90ème jour calendaire de retard.

Ces dépassements seront mesurés au regard du planning d'exécution cité ci-dessus et en annexe 12 aux présentes.

Figure 41. Extrait du contrat signé par l'entreprise. Article 5.1 : délais d'exécution

Ce contrat stipule que l'entreprise de construction reçoit des pénalités pour chaque jour de retard de livraison du projet. Par exemple, un retard de 2 mois implique un surcout de 178 590€.

Ce chapitre commence par une recherche bibliographique qui vise à expliquer les notions mises en jeu dans la logistique de construction.

La deuxième partie de ce chapitre (sous forme d'étude de cas) vient valider le constat élaborée par (Caldas et al. 2014) et qui affirme qu'« un grand nombre de professionnels de la construction ne voit pas la logistique comme un point critique dans la construction mais considère cet aspect comme un sous-produit de la construction ». Pour ce faire, et pour valider ce constat, une enquête a été menée auprès de 5 entreprises de construction dans le but d'évaluer la façon dont ils gèrent leur logistique de construction. Nous avons constaté que la majorité des responsables n'est pas au courant des techniques de gestion du matériel et des pratiques telles que le Juste-à-temps, et flux tendu, etc. (DAKHLI et al. 2016; Dakhli et al. 2016). En outre, les réponses ont mis en évidence le problème du stockage sur site. Le problème de stockage/inventaire est commun entre les entreprises interviewées et est la première cause des produits cassés / produits volés et inutilisés (Domingos et al. 2014). Les responsables de construction déplorent avoir à gérer la question de stockage au fur et à mesure de l'avancement des travaux alors que cette question devrait être abordé et bien gérée en amont du projet (en phase de « conception »).

Une parmi les pratiques qui est sous-étudiée dans la logistique de construction est le "Kitting".

La troisième et la quatrième partie du chapitre sont sous formes d'études de cas qui viennent proposer le Kitting comme une solution, emprunté de l'industrie, et qui commence à émerger en construction. Les deux études de cas (retour d'expérience de deux chantiers en Kitting) présentent les avantages/inconvénients/limites de cette pratique en construction.

Enfin, on termine ce chapitre avec la présentation des objectifs et les questions de recherche liée à la pratique du Kitting.

2. Recherche bibliographique : la logistique en construction

L'augmentation de la marge pour les entreprises de construction va de pair avec l'exploration de techniques d'amélioration continue telles que celles fournies par le Lean Construction ou bien l'application des systèmes de construction industrialisés (Warszawski 2003). Des gains sont également signalés grâce à

l'utilisation du BIM (Building Image Modeling) et de la robotique (Eadie et al. 2013; Bock 2015b; Lin et al. 2014).

La logistique de construction est, d'autre part, une composante inhérente de la pratique de la construction. Faire entrer/sortir les matériaux sur chantier est la forme la plus évidente de la logistique en construction. La gestion des matériaux réfère à une manière optimale de la coordination, la planification, la fourniture, l'achat, le stockage et le contrôle de la qualité. Le but de la gestion des matériaux est de veiller à ce que les produits soient fournis exactement: au bon moment, au bon endroit, avec la bonne qualité et au juste prix. Il est donc primordial d'avoir une parfaite maîtrise des flux des produits; ce qui permet un fonctionnement optimal de la chaîne d'approvisionnement.

Il est à noter qu'à part les flux physiques, la chaîne logistique comprend également les flux financiers et d'informations (Figure 42) qui sont plus difficiles à évaluer et à suivre méticuleusement pendant le cycle de vie d'une opération de construction.

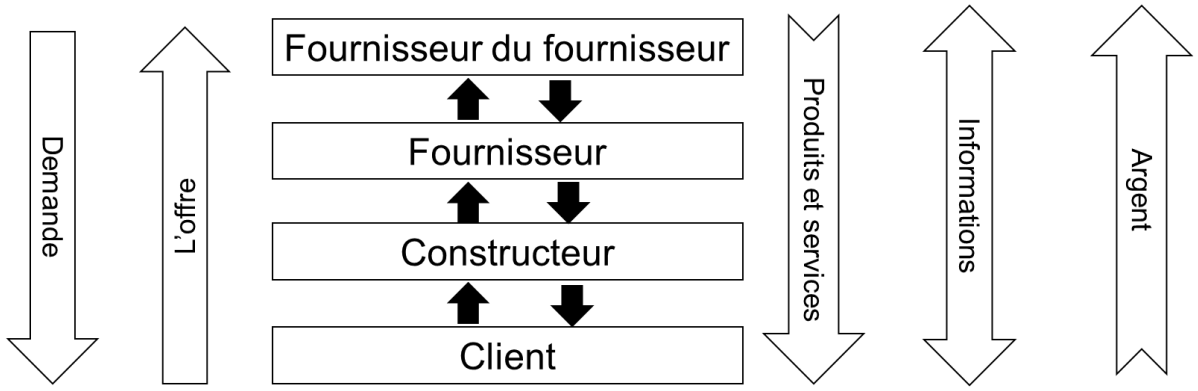


Figure 42. Différentes formes de flux dans un projet de construction

2.1. Explications des notions en jeu

La logistique contient des concepts issus de l'industrie qu'il est nécessaire de clarifier avant d'entamer la suite du (es) chapitre (es). Voici les principales notions à connaître :

2.1.1. Flux tendu (Pull Planning)

Le concept du flux tendu (ou système Pull) est de produire seulement la quantité de produits susceptible d'être vendus tout en veillant à éviter une rupture de stocks ou de la surproduction (GALBRAITH et al. 1991). Ce faisant, la production est lancée par la demande client contrairement à un flux poussé ou la production est lancée sans une réelle demande émanant du client (Un flux Poussé (Push system] dans lequel les biens sont produits et stockés avant l'achat du client). Un bon exemple d'un système de tendu peut être trouvé au sein de

l'industrie automobile : Lorsque l'on achète une voiture neuve, le constructeur automobile ne dispose pas d'un stock de voitures prêtes à être vendues, d'autant plus que les options peuvent varier. Ainsi, la commande du client va déclencher un ensemble d'événements tout le long de la supply chain du constructeur et aboutira par la mise à disposition du véhicule. Pour répondre rapidement à la demande, le fabricant possède la plupart des éléments standards qui composent la voiture, l'assemblage de ces sous-éléments servira à réaliser le produit fini.

Il y a plusieurs niveaux d'application du flux tiré :

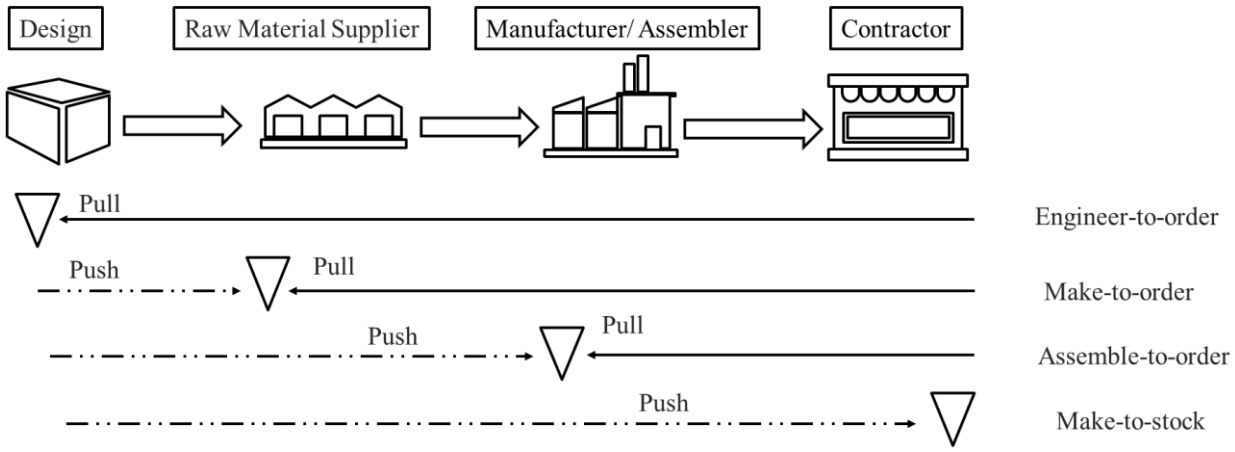


Figure 43. Stratégies de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction [adapté de : (Hoekstra & Romme 1992)].

1. Système Poussé (Push) correspond au niveau «Make-to-stock» (MTS), qui consiste à produire selon des prévisions (et pas une demande réelle du client).
    - *Avantages:* les produits sont stockés et sont immédiatement disponibles pour le client (pas de temps d'attente pour le client).
    - *Inconvénients:* frais de stockages parfois importants et les produits invendus restants, les produits fabriqués en avance constituent de l'argent stocké.
2. Le premier niveau du "Système tiré" correspond à "Assemble-to-order" (ATO), qui consiste en assemblage du produit final sur la demande du client. Les pièces intermédiaires sont toutefois produites selon les prévisions. L'industrie automobile suit ce système.
    - *Avantages:* Moins de stock / Possibilité de produits personnalisés.
    - *Inconvénients:* le système nécessite une réaction rapide à la demande et une courte durée d'assemblage pour livraison au client.
3. Le premier niveau du "Système tiré" correspond au Make-to-order (MTO), qui consiste à commencer à fabriquer l'ensemble du produit (pièces intermédiaires + assemblage final) à la demande du client. Cette configuration est adaptée pour les produits personnalisés comme des fenêtres ou des portes.

- *Avantages:* Seulement les matières premières sont disponibles dans le stock.
- *Inconvénients:* nécessite une réaction encore plus rapide à la demande du client. Le temps de production doit être aussi faible que possible.

4. Le dernier niveau du « système tiré » correspond à Engineer-to-order (ETO). Dans le système ETO, le produit est conçu et produit à la demande du client. A titre d'exemple, la production des modules 3D (comme les salles de bains ou la cuisine) est un exemple d'un produit ETO. Si l'on considère toute la «construction» au niveau du projet, on pourrait l'assigner à un système ETO puisque chaque projet est quelque peu différent (localisation, caractéristiques, ingénierie, conception, parties prenantes, etc.).

2.1.2. Juste-à-temps

Le Juste-à-temps (Just-In-Time) (abrév. JIT) est une méthode d'organisation et de suivi de la production bien connu dans le secteur industriel et vise à réduire les stocks et le Work In Progess (WIP). Cette méthode est surtout utilisée pour gérer l'offre et consiste en la commande des matières premières à la quantité exigée et seulement quand ils sont à utiliser immédiatement en production. En conséquence, le but de cette méthode est de réduire, voire éliminer toute forme de stocks intermédiaires. La méthode Just-In-Time est basée sur un système de flux tiré. Ainsi, une bonne coordination entre le fabricant et le client, d'une part, et le fabricant et le fournisseur, d'une autre part, est nécessaire pour implémenter un système JIT grâce à un moyen de transport fiable (réseau de distribution), et une gestion rigoureuse des demandes.

2.1.3. Kitting

Le Kitting est un procédé dans lequel des éléments, individuellement distincts mais liés, sont regroupés emballés et livrés ensemble comme une seule unité (Figure 44). Autrement dit, il s'agit d'une méthode d'approvisionnement consistant à regrouper des éléments destinés à être assemblés ensemble. Cependant, fournir un pack complet exige que les concepteurs considèrent le processus de construction en détail et implique une plus grande participation logistique amont (composants structurels et accessoires doivent tous être inclus hors – site).

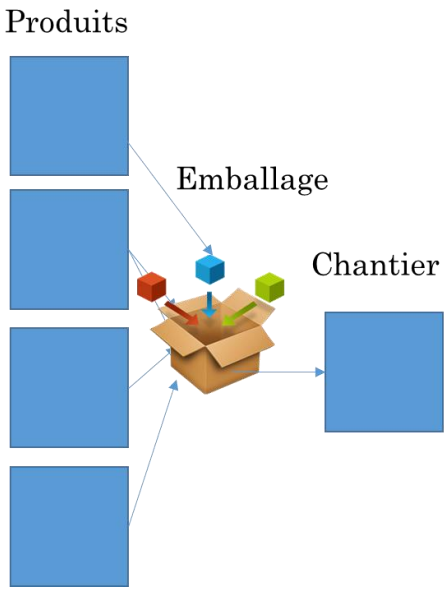


Figure 44. Schéma simplifié de la pratique du Kitting

De nombreuses recherches commencent à enquêter sur l'effet de la logistique sur la performance de la construction. (Skjelbred et al. 2015) par exemple, ont comparé différentes approches de la logistique de chantier. La recherche a analysé 4 études de cas avec différents systèmes d'approvisionnement en matériau. Le Kitting était parmi ces systèmes.

2.1.4. Livraison en point d'usage

Ce terme est communément utilisé en industrie et signifie la livraison à l'endroit exact d'utilisation du produit.

2.1.5. Fabrication hors-site

Comme le nom l'indique, cette méthode consiste à fabriquer certaines parties du produit final hors site (murs, escaliers ...). Cette technique minimise les actions sur site. Bien que la fabrication hors-site se réfère généralement à la construction modulaire, dans laquelle, des parties entières (éléments 3D) sont construites hors site et transportés sur site pour assemblages, elle peut également référer à la préfabrication des éléments 2D (murs, façades, etc.).

Dans la prochaine section de ce chapitre, l'importance de la logistique en construction est mise en évidence au travers d'un questionnaire développé et envoyé à des professionnels de la construction pour évaluer le niveau logistique de la gestion de leurs chantiers.

3. Enquête sur le niveau logistique des chantiers : la nécessité de développer des méthodes en logistiques de construction

L'enquête vise à évaluer le niveau de gestion logistique des chantiers de construction en évaluant la compréhension/utilisation des pratiques logistiques industrielles expliquées précédemment. Un questionnaire a été élaboré et envoyé aux conducteurs travaux, et aux directeurs travaux. Le questionnaire est divisé comme suit:

3.1. Caractéristiques de l'échantillon étudié

La première partie de la recherche consiste à recueillir des informations sur les personnes qui ont répondu à notre questionnaire (titre du poste, expérience, la nature du chantier en cours et de sa taille, localisation...). Dans le but d'avoir des réponses honnêtes et d'augmenter le taux de réponse, les questionnaires étaient anonymes.

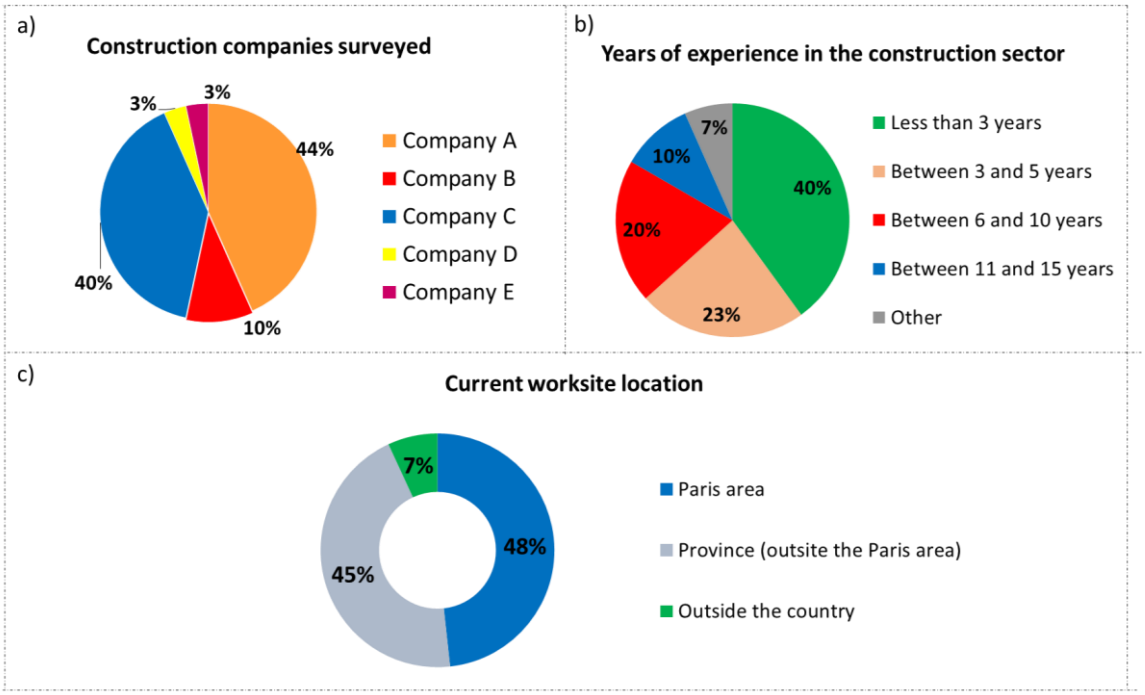


Figure 45. Caractéristiques de l'échantillon étudié

La Figure 45 montre les caractéristiques de l'échantillon étudié. 30 réponses de 5 entreprises de construction différentes ont été collectées. L'emplacement du chantier en cours a été divisé en trois parties: la région de Paris, Province (en dehors de la région parisienne) et hors de France.

3.2. Résultats de l'enquête

3.2.1. Fournisseurs

Les fournisseurs sont essentiels dans la mise en place d'un système logistique optimal. Il est donc important d'évaluer leur fiabilité et leur réactivité. Il a aussi été demandé dans cette partie si les conducteurs de travaux questionnés sont familiers avec la notion de Kitting.

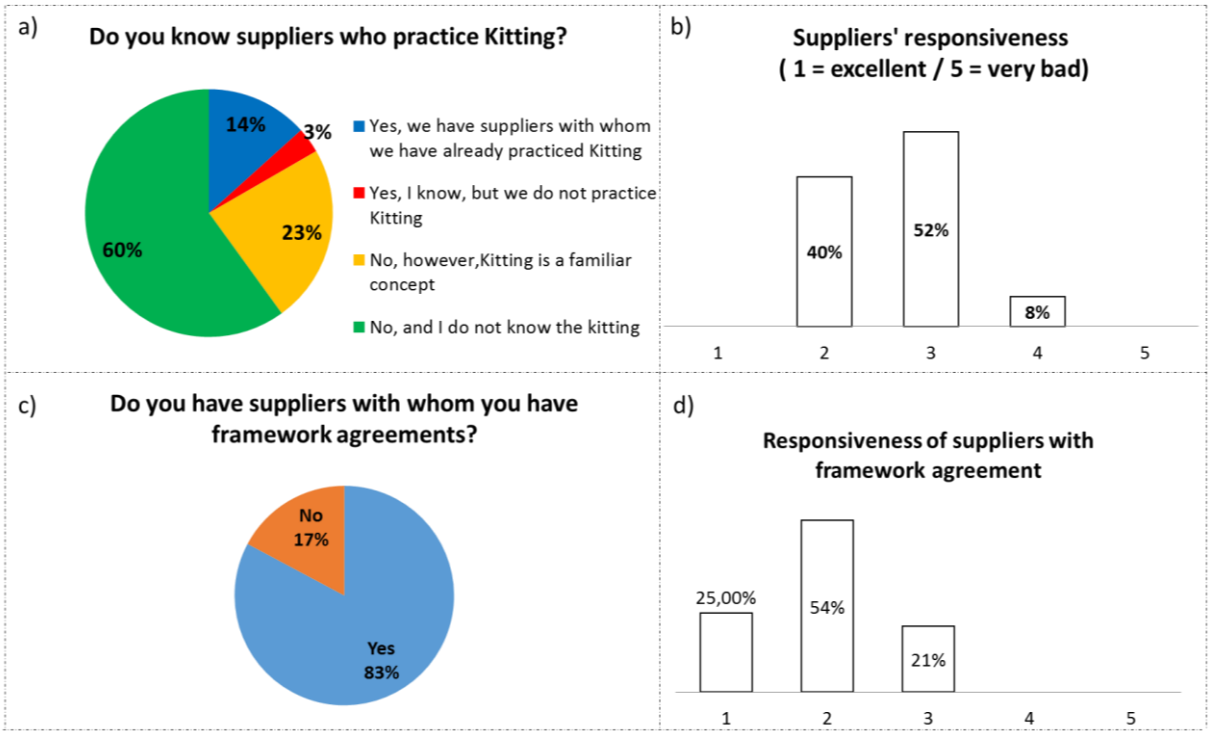


Figure 46. Questions liées à la gestion des fournisseurs.

- Figure 46.a) : La définition du «Kitting» a été fournie aux répondants dans le cas où ils ne savent pas ce que signifie le terme. La définition communiquée est la suivante :

*Le **Kitting** est un mode de gestion d'approvisionnement sur chantier qui consiste en une livraison groupée (comme une seule unité) « Juste-à-Temps » des éléments nécessaires pour réaliser le travail planifié. On a donc moins de stocks sur site et une gestion des livraisons basée sur « se livrer ce qui est nécessaire en quantité et au temps voulus.*

Le Kitting apparait pour un peu plus de la moitié des gens comme une notion inconnue. Un tiers des sondés sont familiers avec cette notion. Quelques fournisseurs semblent pratiquer le Kitting et on observe qu'il y a un petit nombre de conducteurs qui le pratique

Implémenter le Kitting dans la gestion d'un chantier nécessitera au préalable un gros travail en amont auprès des fournisseurs, afin de s'assurer de leur capacité à

travailler avec des livraisons en kit, dans une logique Juste-à-Temps. Ceci amène donc à s'interroger sur la réactivité de ces fournisseurs.

- Figure 46.b) : les résultats affirment que la réactivité des fournisseurs est bonne. Il n'y a que très peu de mécontentement parmi la population interrogée, ce qui est rassurant pour l'application de nouveaux modes opératoires basés sur une bonne réactivité des fournisseurs.

Généralement, les entreprises du BTP ont des fournisseurs privilégiés avec lesquels des accords-cadres sont signés (Figure 46.c). Les accords-cadres sont des engagements réciproques en termes de tarifs, délais d'une part et fidélité et de volume d'autre part. S'appuyer sur des tels fournisseurs est donc logique si ceux-ci sont plus réactifs que des fournisseurs « classiques ».

- Figure 46.c) : Il est donc très fréquent d'avoir des fournisseurs avec lesquels les entreprises disposent d'accords-cadres. Si ces fournisseurs se démarquent positivement de leurs confrères (par exemple en termes de réactivité), il semble clair que ce sera avec ce type de fournisseurs qu'il faudra travailler pour la mise en place d'une toute nouvelle chaine de logistique pour la construction.
- Figure 46.d) : Les encadrants chantiers sont plus satisfaits des fournisseurs avec lesquels des accords-cadres ont été signés. L'idéal pour les premières implantations du Kitting serait de travailler avec le maximum de fournisseurs de ce type, afin que la démonstration de ce mode de gestion soit la plus efficace possible.

3.2.2. Transport et livraison

Dans cette partie, on cherche à déterminer si les chantiers ont des caractéristiques qui seraient incompatibles avec l'application du notions logistiques (Juste-à-Temps, Kitting, etc.). Par exemple, si les retards sont fréquents ou si le site de construction présente des aspects contraignants (acteurs extérieurs à la maitrise d'ouvrage -> voisinage, … / emplacement difficile d'accès -> on pense notamment aux chantiers au cœur de Paris)

L'optimisation du temps de construction et l'application d'un flux **Just-à-Temps** et du **Kitting** repose sur la condition que les retards restent exceptionnels (Maiga & Jacobs 2009; Yasin et al. 2003). Il faut donc jauger la fréquence des retards sur les chantiers et prendre les mesures en conséquence si nécessaire.

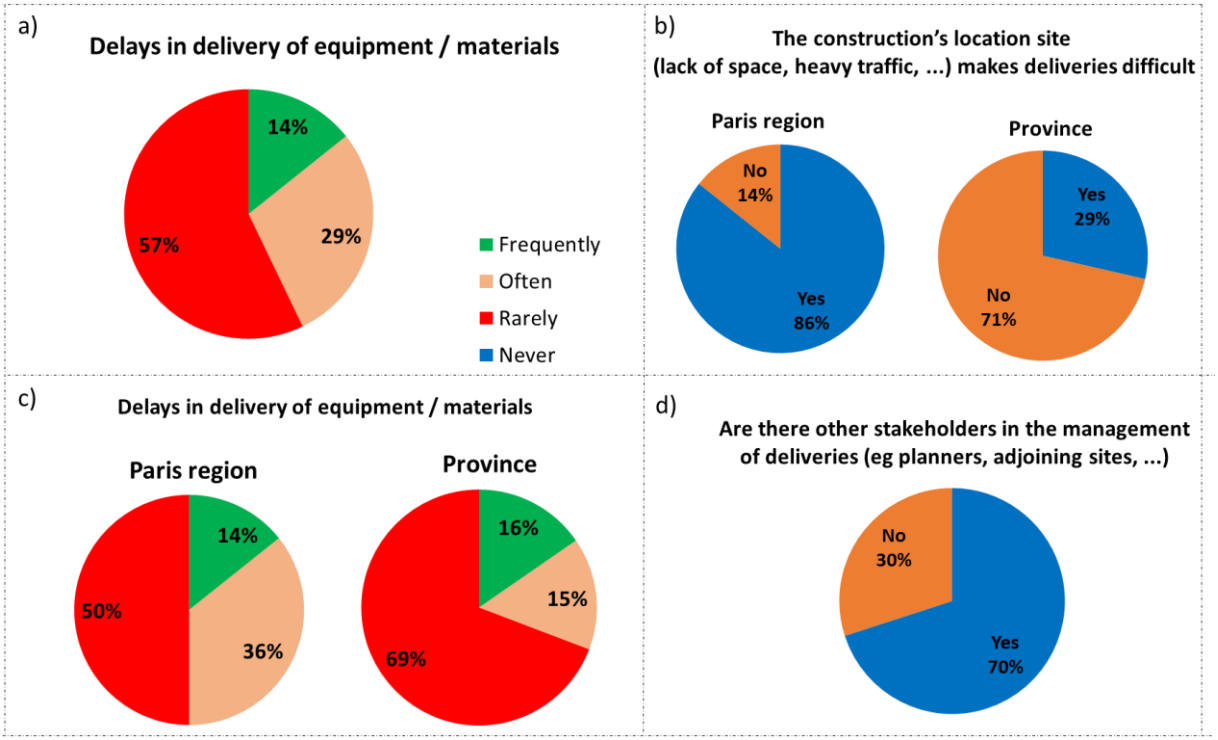


Figure 47. Questions liées au transport et à la livraison

- Figure 47.a): Les réponses montrent que les retards sont fréquents. Pratiquement la moitié des conducteurs de travaux interrogés considèrent que les retards sont monnaies courantes sur un chantier. Il faut donc chercher à connaitre les raisons de ces retards pour ensuite les diminuer. En effet, si on considère une mise en place d'un Kitting hebdomadaire par exemple (donc d'une livraison chaque semaine d'un kit de matériaux pour construire tout le second œuvre d'un appartement), c'est tout le système qui est mis en péril en cas de retard.
- Figure 47.b): La plupart des sites de construction situés dans la région parisienne souffrent de difficultés liées à la livraison. Il semble que cette difficulté est caractéristique de la région parisienne où la lourdeur du trafic, le manque d'espace, et d'autres problèmes logistiques sont dominants. Nous émettons l'hypothèse que le taux élevé de retards de livraison trouvés dans la Figure 47.a) est en corrélation avec l'emplacement du site: les sites situés à Paris sont plus susceptibles d'avoir des taux élevés de retards en raison de problèmes d'accessibilité.
- Figure 47.c): Nous remarquons que les retards sont moins fréquents en dehors de la "région parisienne".
- Figure 47.d): Pour les ¾ des sondés, d'autres acteurs interviennent dans la gestion des livraisons. Dès lors, Il parait nécessaire d'en savoir plus sur leur influence.

3.2.3. Stockage sur chantier

La plupart des responsables de construction reconnait que les pertes/vols/casses des produits sont récurrents sur site, et qu'ils peuvent causer de graves accidents dans certains cas. De plus, s'il n'y a pas assez de place pour le stockage sur site (si le site est situé au centre d'une ville par exemple), de nombreux défis logistiques surviennent. Dans cette étude, nous utilisons les réponses des personnes interviewées pour justifier la nécessité de développer de nouvelles méthodes logistiques en construction.

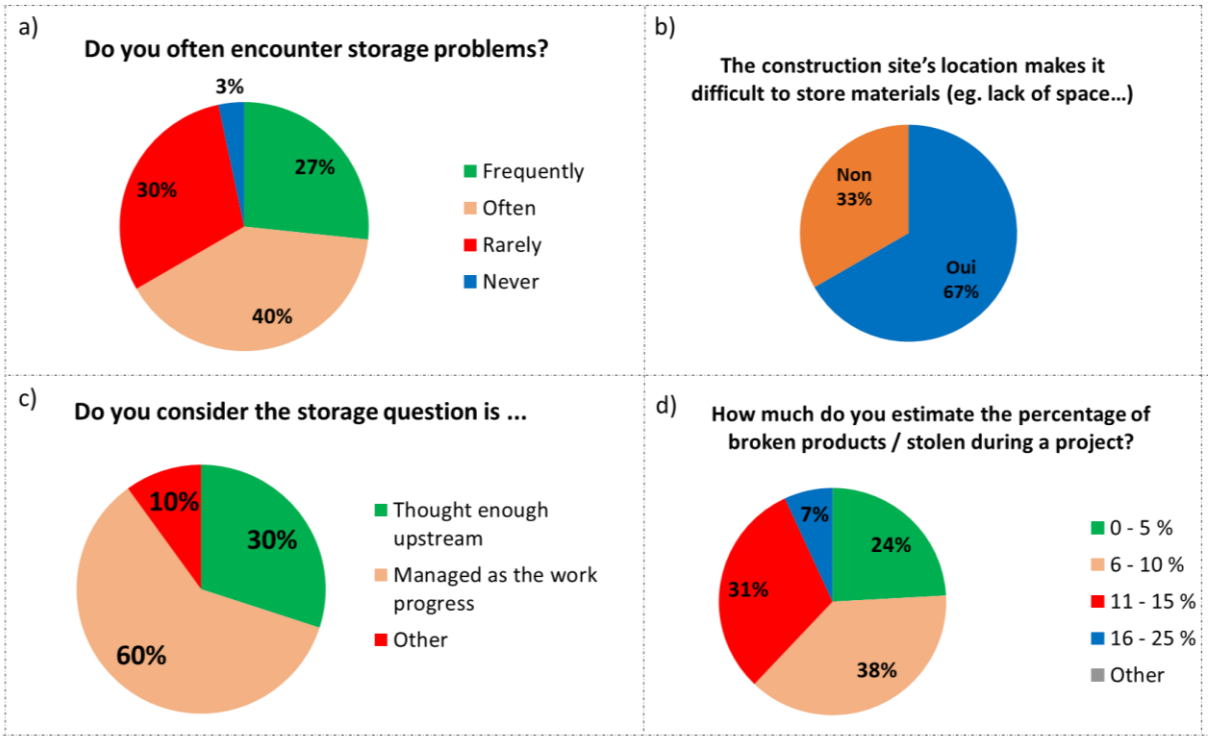


Figure 48. Questions liées à l'inventaire sur site

- Figure 48.a): les réponses à cette question montrent la nécessité de nouvelles méthodes d'organisation des installations de stockage au sein du site. En effet, environ 67% des participants affirment qu'ils rencontrent régulièrement des problèmes de stockage sur site.

- Figure 48.b): 2/3 des participants suggèrent que l'emplacement du chantier rend difficile le stockage. Cette constatation renforce l'hypothèse selon laquelle la question de stockage est essentielle dans la logistique construction et se doit être mieux géré en amont.

- Figure 48.c): La gestion du stock fait partie des nombreuses listes des tâches d'un responsable de construction. Les réponses suggèrent que seulement 30% des participants estiment que la question du stockage est réglée au cours de la

phase de planification. Le reste des participants gère la question du stockage tout au long de la phase « construction ».

Figure 48.d): Pratiquement 40% des répondants estiment qu'au moins un dixième des produits sont volés/cassés. On peut supposer avec les résultats précédents qu'un stockage excessif sur chantier aggrave les chances de casses et de vols. Avoir très peu de stocks (juste le nécessaire pour la semaine par exemple (Kitting hebdomadaire comme évoqué précédemment) pourrait réduire le pourcentage de produits cassés/volés au cours d'un chantier.

3.2.4. Préfabrication

Le questionnaire comprend des points sur la perception des interviewés sur la préfabrication. Nous voudrions savoir si cette technique est approuvée par le responsable de la construction et surtout s'ils ont un pouvoir de décision quant à ce point (en phase conception).

Les avantages de la préfabrication ont déjà été établis dans la littérature (Goulding et al. 2014) : cette technique permet de fabriquer des pièces dans un environnement sûr (sans risque d'intempéries par exemple), afin de minimiser le stockage sur chantier et de mieux gérer / recycler les déchets, et plus important, de réduire au minimum le travail-en-cours (Work-In-Progress, WIP) sur chantier. En effet, les tâches laissées au travailleur sur site se composent de l'assemble des pièces préfabriquées.

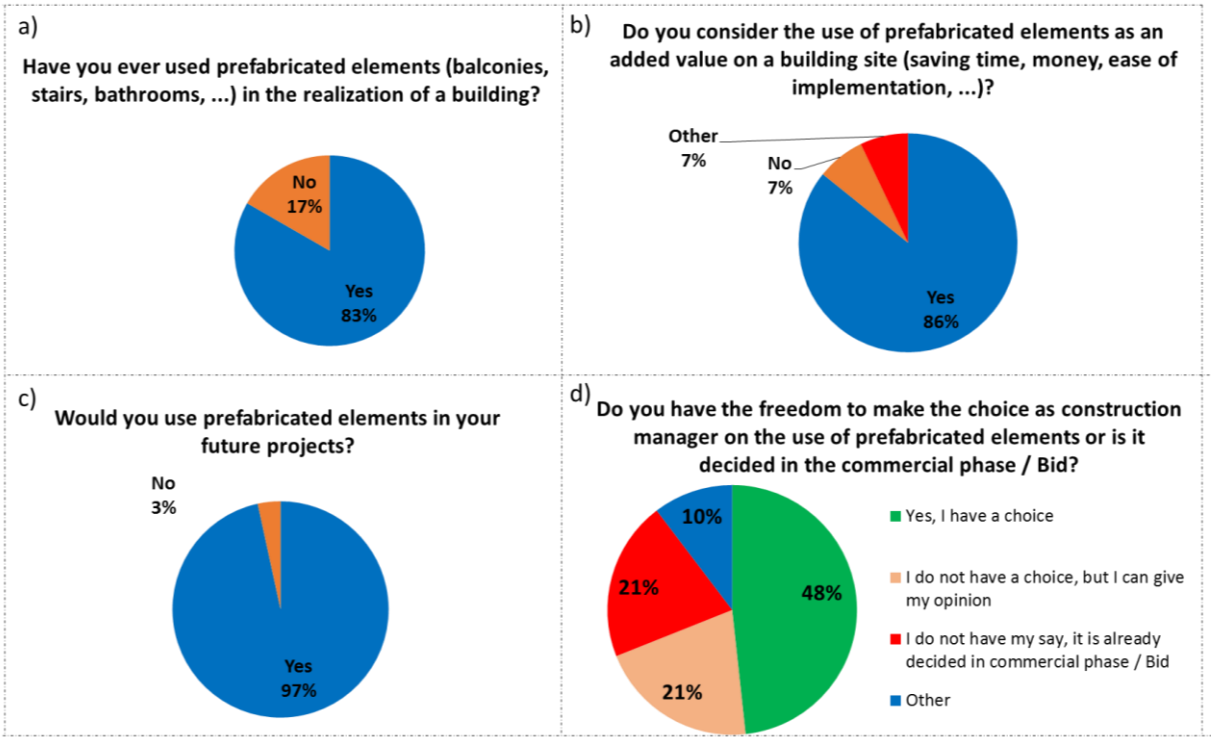


Figure 49. Questions liées à la préfabrication

- Figure 49.a): l'utilisation d'éléments préfabriqués est d'après les résultats répandue. (Balcons, escaliers, voiles…) Il reste à estimer la satisfaction des conducteurs de travaux par rapport à l'utilisation de ces éléments.
- Figure 49.b): les résultats montrent que les responsables travaux sont pour l'utilisation de la préfabrication. La qualité des produits préfabriqués est la plupart du temps irréprochable. Peu de répondants semblent désapprouver la préfabrication, mais mentionnent encore que certaines économies d'échelle peuvent être possibles en utilisant cette technique si le nombre d'éléments préfabriqués est important.
- Figure 49.c): Presque toute la population étudiée est en faveur de l'utilisation de la préfabrication dans le futur.
- Figure 49.d): L'utilisation de la préfabrication est largement approuvée par les répondants. Cependant, quelques-uns n'ont pas de pouvoir de décision pour utiliser la préfabrication. Ce résultat est particulièrement important parce qu'il invite d'étudier (dans les recherches futures) la cartographie du «processus de prise de décision" liées à l'utilisation d'un tel système. Cette question relève également l'importance de la synergie entre la phase de « conception » et de « construction »

3.2.5. Sous-traitance

L'entreprise de construction fait appel à la sous-traitance pour différentes raisons: le manque d'expertise dans un certain lot de la construction (menuiserie extérieure, carrelage, etc.), pas assez de temps pour gérer un certain lot ou coût moindre et la qualité.... Le sous-traitant sélectionné est responsable de la réalisation des travaux de sous-traitance sous la supervision de l'entreprise de construction (étant le client direct du sous-traitant)

Les sous-traitants sont concernés par la performance de la gestion logistique (Abbasianjahromi et al. 2013; Errasti et al. 2007). Ainsi, il est essentiel d'anticiper leurs besoins / préoccupations avant d'entreprendre tout changement/modification de la chaîne d'approvisionnement.

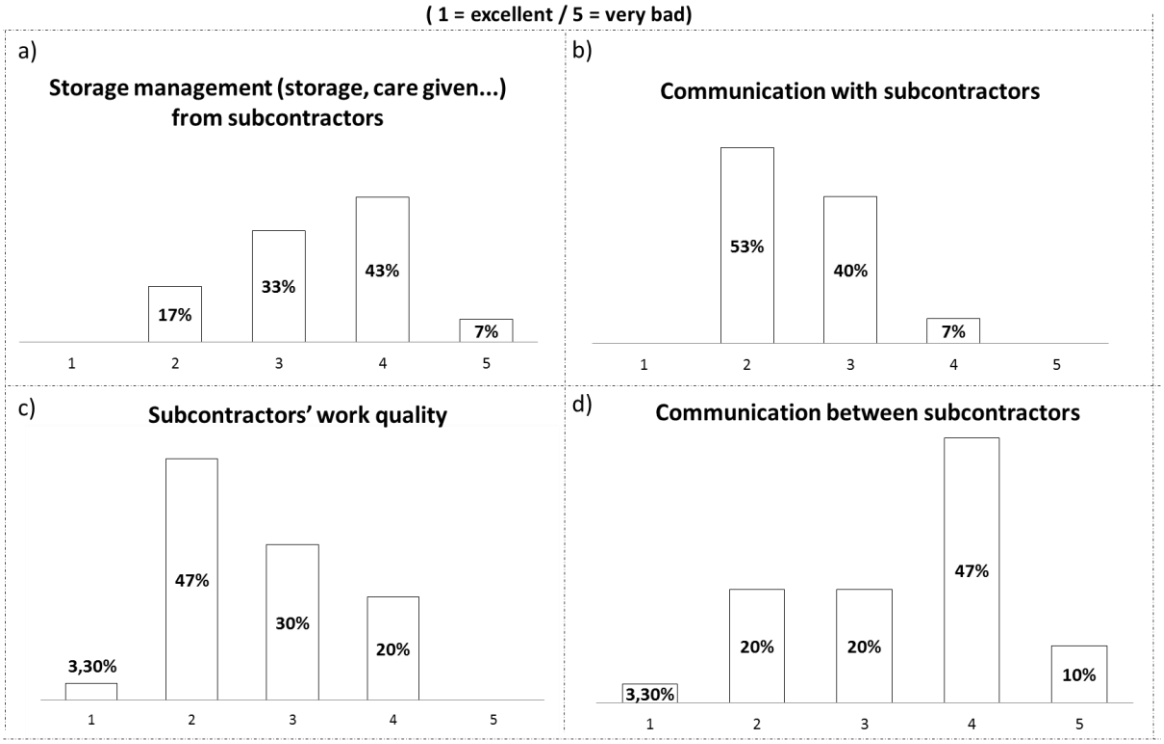


Figure 50. Questions liées à la pratique de la sous-traitance

- Figure 50.a): les personnes interrogées estiment que la gestion du stockage de la part sous-traitants n'est pas bonne en moyenne. Cette constatation renforce l'idée que la question de stockage est importante et doit être géré avec une priorité élevée.
- Figure 50.b): la qualité de la communication avec les sous-traitants est relativement bonne. Une collaboration mutuelle est possible à envisager dans le futur pour résoudre le problème du stockage.
- Figure 50.c): En moyenne, la qualité du travail des sous-traitants est perçue comme correcte.
- Figure 50.d): si la qualité de la communication entre l'entreprise de construction et les sous-traitants est perçue comme bonne, la communication entre les sous-traitants évaluée comme mauvaise. La conséquence sur des systèmes logistiques comme le Kitting et le JIT est importante. En effet, le Kitting exige une collaboration durable entre les sous-traitants qui sont censés travailler sur les kits livrés (ou paquets) en même temps.

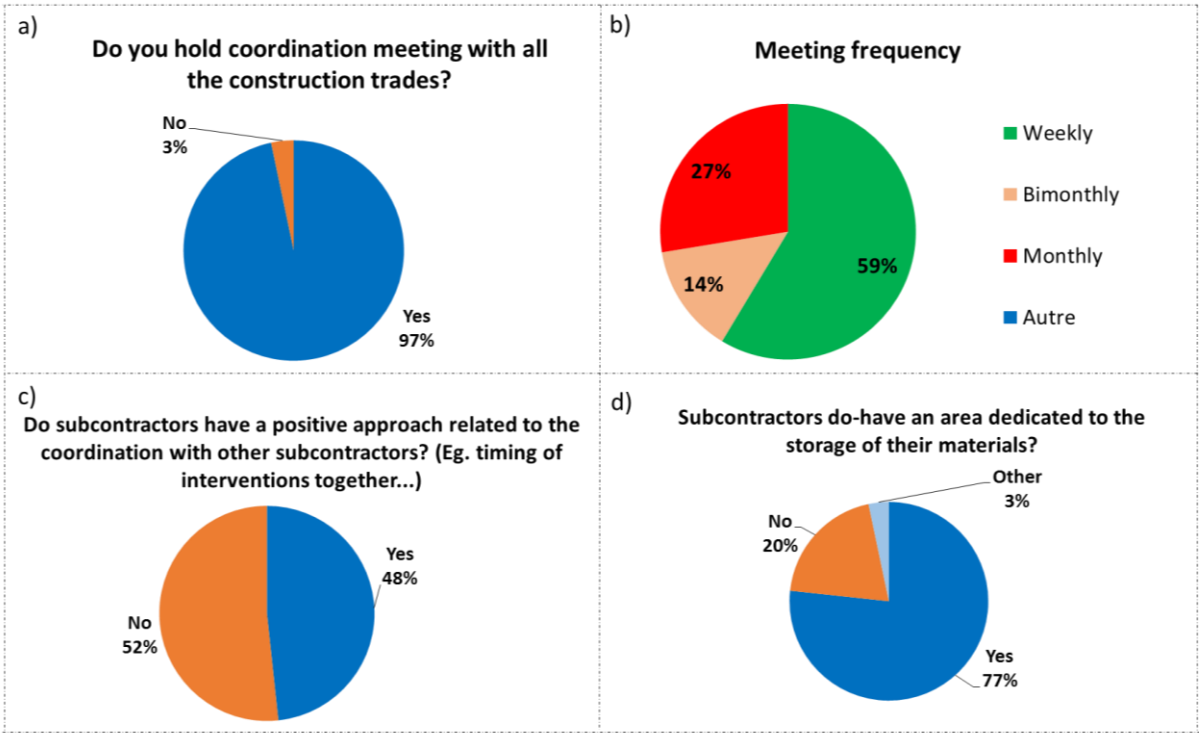


Figure 51. Questions liées à la coordination des sous-traitants

- Figure 51.a): à quelques exceptions près, les réunions de coordinations sous-traitantes sont régulièrement organisées. l'efficacité de ces réunions de coordination est remise en question en raison des résultats de la Figure 50.d).Il est important d'investiguer le contenu de cette réunion d'autant plus que la communication entre les sous-traitants est perçue comme mauvaise.
- Figure 51.b): la plupart des réunions de coordination ont lieu sur des bases hebdomadaires. Les répondants font valoir que la fréquence de ces réunions devrait être adaptée au rythme du travail.
- Figure 51.c): ce chiffre renforce l'affirmation selon laquelle la communication entre les sous-traitants a besoin d'être améliorée. La réponse à cette question montre également que les sous-traitants ne suivent pas une approche positive pour collaborer entre eux. Une des solutions proposées dans la littérature est l'utilisation du "Last Planner System®" introduit par (Ballard 2000). Le Last Planner System® est basée sur les principes de la production pour réduire au minimum les gaspillages dans un système grâce à la planification détaillée (Issa 2013b). L'utilisation de LPS couplé avec le Kitting pourrait être une solution pour remédier au manque de communication entre les sous-traitants.
- Figure 51.d): En général, les sous-traitants ont leur propre espace de stockage sur chantier. Ainsi, il semble utile de les sensibiliser et de les faire participer à la gestion globale du stock sur site.

3.3. Synthèse de l'étude de cas et implications

L'enquête menée auprès des conducteurs et directeurs travaux de 5 entreprises de construction a mis en évidence le manque de gestion logistique

efficace sur chantier. Les problèmes de stockage sur site sont communs et causent les pertes/vols/casses des produits. Les répondants sont contraints d'avoir à gérer cette question au fur et à mesure de l'avancement des travaux alors que la question du stockage se doit d'être abordée et bien gérées en amont. Ces problèmes sont plus fréquents dans la région de Paris en raison des difficultés imposées par l'emplacement, mais sont aussi présents dans la province (en dehors de la région parisienne en France). En dépit d'une zone de stockage dédiée, les répondants considèrent majoritairement que leurs sous-traitants gèrent mal leurs stocks.

La mise en place de techniques de gestion des matériaux pourrait aider à surmonter les problématiques logistiques rencontrées sur site.

La réactivité des fournisseurs, et en particulier ceux avec lesquels il existe des "accords-cadres" est bien notée selon l'enquête. En conséquence, cette typologie des fournisseurs (avec accords-cadres) est plus propice à la mise en place des systèmes logistiques industriels tels que le JIT pour la gestion des matériaux.

Cette étude de cas nous a donc éclairés sur l'état actuel de la gestion logistique des chantiers en construction, en particulier, la gestion des matériaux.

Une solution potentielle pour améliorer la gestion des matériaux sur site est le concept du « Kitting ». Ce dernier est encore inconnu de la majorité des entreprises de construction : les techniques de gestion des matériels ne sont pas considérées comme une priorité pour des entreprises de construction. En revanche, l'utilisation de techniques efficaces a été très bien accueillie comme on peut le voir avec les éléments préfabriqués.

La prochaine partie du chapitre présente deux études de cas de l'application du Kitting pour améliorer la gestion logistique sur site. Alors que les deux études concernent le Kitting, la façon de l'appliquer est différente.

4. Etude de cas #1 : Kitting sur un chantier de réhabilitation de logements en immeuble « Schramm »

4.1. Description générale du projet

« Schramm » est un projet de réhabilitation de 108 logements. La Figure 52 présente une image du projet.

Figure 52. Images du projet "Schramm"

4.2. Approvisionnement Kitting sur Schramm

Le conducteur travaux a fait appel à un logisticien, qu'on appellera dans cette étude de cas « Centre de Consolidation Externe » (CCE). Le CCE a été utilisé pour prendre en charge la :

1- La réception des matériaux (emballés et numéroté depuis le fournisseur) et le stockage.
2- La livraison sur site
3- Livraison à pied d'oeuvre dans les logements (endroit ou le travail sera effectué).

Pour cette prestation, le centre de consolidation se place dans une logique d'«exécuteur » : il n'a pas à réfléchir sur l'endroit où placer les Kits (sa prestation n'inclut pas la planification mais l'exécution). Ainsi, un travail d'étiquetage des Kits selon l'étage se doit d'être bien fait. Le conducteur de travaux (avec l'aide d'un stagiaire) réalise de détail des quantités des produits par logement et demande au fournisseur d'emballer et d'étiqueter les Kits par logement et de les faire livrer au centre de consolidation. Enfin, le centre de consolidation livre sur site selon la demande du conducteur travaux. Les livraisons sur site se font selon une fréquence hebdomadaire. Le schéma de fonctionnement du Kitting pour le projet « Schramm » est représenté dans la Figure 53.

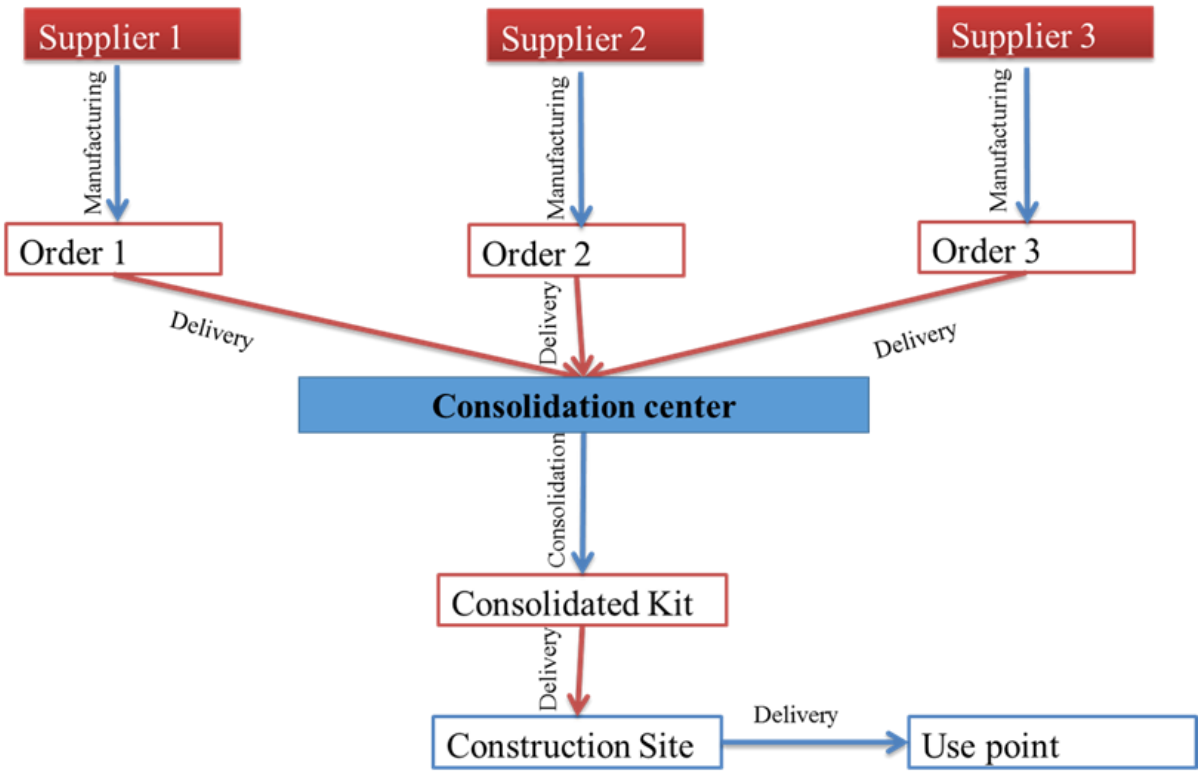


Figure 53. Schéma de fonctionnement Kitting pour le chantier "Schramm"

Pour le chantier « Schramm », les lots assujettis au Kitting sont :

- Menuiserie intérieure : portes palières, portes de distribution, placards, etc.
- Plomberie : appareillages sanitaires (baignoires, douches, éviers, etc.), radiateurs…

Ces deux lots sont liés à la phase corps d'états architecturaux (le Kitting du lot plomberie n'inclut pas la phase gros-œuvre).

Les deux lots sont gérés en part propre. Ce qui veut dire que les lots ne sont pas sous-traités. Les lots sont ainsi gérés en « achat –pose ». C'est l'entreprise de construction qui cherche à se fournir des matériaux (chez un fournisseur) et la pose est effectuée par l'entreprise de construction.

Les prestations demandées incluent :

- Réception et stockage des Kits livrés par les fournisseurs.
- Livraison des Kits sur site selon la demande du conducteurs travaux
- Approvisionnement des Kits dans le logement (endroit) comme indiqué dans l'étiquette.

4.3. Planning du Kitting Schramm

Le point de départ du Kitting (au niveau corps d'Etat) est le suivant : carrelage posé et peinture finie et baignoires posées. On appellera ce stade : **stade 0.**

Le stade 1 correspond à la constitution des Kits suivants :

- Portes palières
- Vasques
- WCs
- Ballon d'eau chaude
- Radiateurs (eau)

Pour les portes palières, une prescription sur le sens était nécessaire pour l'élaboration des Kits (des détails) alors que pour la plupart des éléments restants (vasques –WC) sont standardisés.

Une fois le parquet posé, **le stade 2** correspond aux deuxièmes livraisons des Kits et correspond à:

- Portes de distribution
- Placards coulissants, aménagement placards.
- Pare-douches, pare-baignoires et miroirs.

Un travail de quantitatifs et de référencement des matériaux par logement étaient requis. Un stagiaire s'occupait de cette tâche au travers d'un fichier EXCEL (étiquetage et référencement). La Figure 54 montre le séquencement des tâches pour la réalisation de la démarche Kitting.

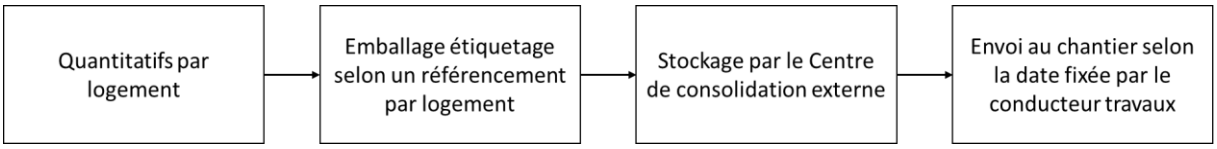


Figure 54. Séquencement de la démarche Kitting sur Schramm

4.4. Coût du Kitting

Le coût de la prestation pour chaque phase est de 65€/logement. Donc, le coût lié au Kitting est de 130 €/logement.

4.5. Analyse de l'étude de cas

Pour le chantier « Schramm », plusieurs livraisons (stade 1 & 2) ont été réalisé vu les grands nombres de logements. Un retour d'expérience récent est que 6 logements ont été terminés (en plomberie) en 48h.

Selon le conducteur travaux, cette variante du Kitting (en partenariat avec le CCE) se doit d'être développée davantage pour inclure d'autres lots. En effet, la dernière phase de la construction (corps d'états architecturaux) génère beaucoup de réservation et le Kitting permet de mieux maîtriser cette phase du projet.

Pour les éléments avec un grand volume (plaques de plâtres pour façades, fenêtres, etc.), le passage par un centre de consolidation n'est pas recommandé par le conducteur travaux : ces lots coûtent chers (stockage avec risque). Le conducteur travaux recommande de les gérer directement avec le (s) sous-traitants (s) concernés (potentiellement réaliser le Kitting avec eux grâce par le biais de leurs fournisseurs sans passage par un centre de consolidation). Par ailleurs, ces éléments lourds nécessitent une grue. La mise à disposition d'une grue (ou moyen de levage approprié) permet de faciliter considérablement l'implémentation du Kitting.

La performance directe du sous-traitant joue un rôle crucial. Le rôle de l'entreprise de construction est également de les amener encore plus dans la démarche.

La question de « garantie » des matériaux est également critique pour un Kitting avec un CCE. En effet, *« si les matériaux sont cassés lors de l'approvisionnement sur étage (ou bien dans le centre de consolidation », qui serait responsable ? »* Vu que le conducteur travaux a fait de l'achat-pose, ceci n'a pas généré de problème : le fournisseur livre par exemple un ballon d'eau chaude gratuitement sans problème vu que des bonnes relations existent avec le fournisseur. Le côté humain joue beaucoup dans ces cas.

5. Etude de cas #2 : Kitting sur un chantier de réhabilitation de maisons « Flers »

5.1. Description générale du projet

Le projet concerne la réhabilitation thermique de 174 logements individuels en R+1, dans la cité Villers de Flers-en-Escrebieux. La Figure 55 montre un dessin d'une maison typique du projet.

Figure 55.dessin d'une maison typique du projet « Flers »

Dans la suite du manuscrit, le projet (et l'étude de cas) sera nommé « Flers ».

Les travaux ont porté essentiellement sur :

- Le clos couvert (changement des menuiseries extérieures, isolation des combles, isolation par l'intérieur,..),
- Les lots techniques (électricité, plomberie, chauffage et VMC refaits à neuf)
- Des travaux d'embellissement (reprise des carrelages, faïences et peintures).
- La reprise des planchers sur caves (changement ou renforcement).

L'ensemble de ces travaux est résumé dans le Tableau 34.

Tableau 34. Ensemble des travaux réalisés au chantier Flers

Type de travaux	Description
Gros-Œuvre	• Démolitions, déposes, travaux divers en cave • Reprise des dalles basses et des carrelages • Réseaux d'assainissement • Planchers de caves • Bouchements et créations d'ouverture en façade • Travaux sur extensions (réhausse) • Faïence
Plâtrerie / Isolation	• Doublages, plafonds, cloisons,
Menuiseries intérieures	• Portes intérieurs, escalier neuf (55) plinthes sur doublage refait • Révision escaliers conservés • Détalonnage de portes conservées
Menuiseries extérieures	• Remplacement à neuf en PVC • Bloc porte d'entrée métallique
Bardage / Isolation	• Enduit sur isolant pour les logements de plain-pied • Peinture extérieure sur éléments béton des logements en plain-pied
Couverture	• Uniquement extension des T3/T4 en couverture bac acier
Plomberie - Chauffage - VMC	• Dépose et repose chaudière suite travaux (cis raccord réseau évacuation) • Nouveau réseau de chauffage et corps de chauffe • Nouvelle installation de gaz • VMC neuve • Réseau EF/EC/EU/EV et appareils sanitaires à neuf
Electricité	• Mise en conformité • Installation de TV
Peinture/ Revêtements muraux	• Plafonds RDC et R+1 • Tous éléments neufs • Escaliers neufs et conservés

Les travaux sont réalisés en site vide et le projet. Le chantier a nécessité un déménagement et un relogement temporaire des actuels locataires qui étaient accompagnés par un pilote social pendant la durée du chantier. Le budget de l'opération est de 6 700 k€ HT. Les délais de livraison sont de 22 mois.

5.2. Approvisionnement Kitting sur Flers

La pratique du Kitting sur le chantier Flers consistait en des livraisons en Kits de la part des fournisseurs de trois lots des produits en quantité nécessaire pour le travail à réaliser pour chaque semaine.

Seulement trois lots sont assujettis à la pratique du Kitting:

- Menuiserie intérieure : en part propre et la pose effectuée par RDC.
- Menuiserie extérieure: en part propre et la pose effectuée par RDC.
- Plâtrerie : en Achat/Pose, l'achat et la pose sont réalisés par deux prestataires (entreprises) différentes.

Le système Kitting mis en place ne fait pas appel à un centre de consolidation comme le montre la figure (Figure 56) :

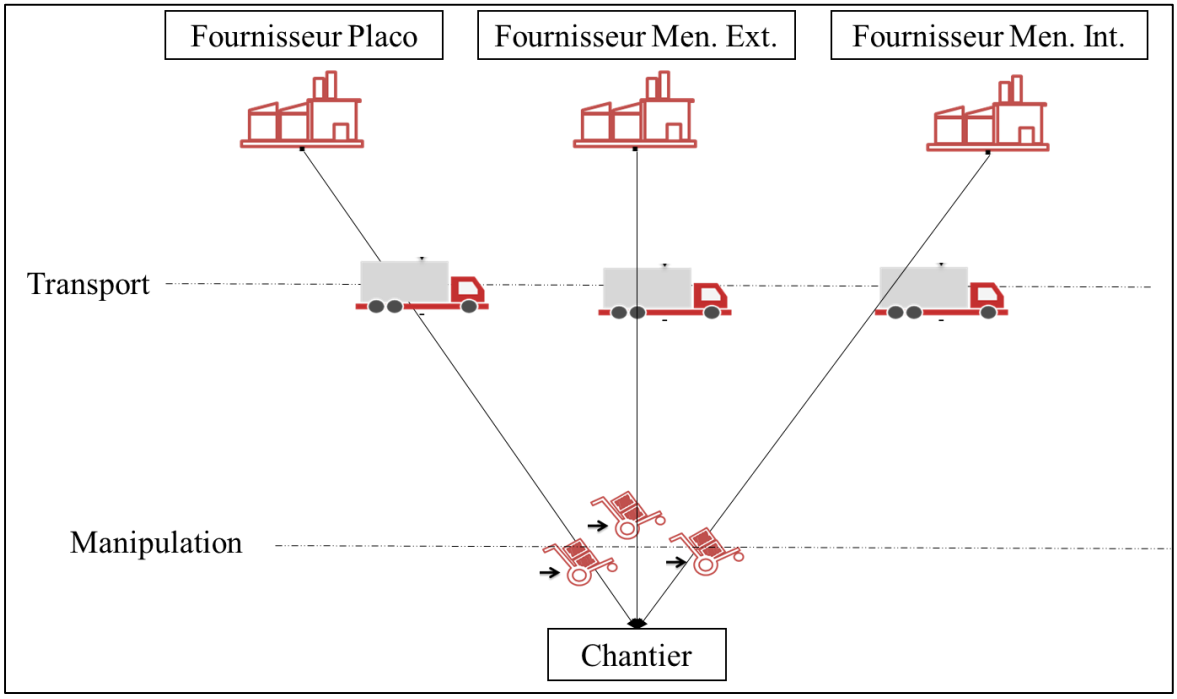


Figure 56. Approvisionnement Kitting dans le projet Flers

L'approvisionnement en Kitting à Flers est comme suit :

- La livraison hebdomadaire des produits sur chantier.
- Chaque fournisseur livre sur chantier la quantité nécessaire pour deux maisons.
- Au cours d'une semaine, la livraison se fait pour la réalisation de deux maisons : 2 palettes de Menuiserie Extérieure, 2 palettes Menuiserie Intérieure et 2 palettes du lot Plâtrerie.

Le fait de passer par un centre de consolidation, dans ce cas :

- Compliquera la gestion des livraisons : consolider les livraisons pour ensuite les livrer sur site requiert un travail supplémentaire (dans ce cas non justifié).

- Des coûts supplémentaires.

En conclusion, faire appel à un centre de consolidation se doit de répondre à un besoin bien identifié. Le centre de consolidation n'est pas obligatoire pour réaliser du Kitting comme le montre cette étude de cas.

5.3. Planning du Kitting

Contractuellement, l'équipe projet avait 1 mois de préparation et 12 mois de travaux. Pratiquement, il y a eu 3 mois de préparation et 9 mois de travaux. En effet, la mise en place du Kitting requiert un temps de préparation important vu le détail précis des quantités par maison nécessaire pour chaque lot assujetti au Kitting.

Le planning était réalisé pour permettre une réception de 2 maisons par semaine. L'expérience a révélé que 100% des logements ont été livrés à la date prévue et 74 logements ont été livrés sans réserve.

5.4. Intervenants du Kitting

Les intervenants du Kitting sont constitués des entreprises impliquées dans la démarche du Kitting. On peut les diviser en deux catégories :

- Fournisseurs : responsable de la fourniture pour les lots en part propre et aussi la fourniture pour le lot « plâtrerie – Isolation »

(Un fournisseur pour les matériaux de plâtrerie)

(Un fournisseur chargée de la fourniture des menuiseries extérieures)

(Deux fournisseurs se sont chargés de la fourniture des matériaux de menuiseries intérieurs)

- Poseurs : la pose en part propre par RDC (men. Ext. et Int.) et la pose par un sous-traitant pour le lot « Plâtrerie ».

La conductrice travaux a accompagné le fournisseur du lot Plâtrerie pour la validation des quantités nécessaires par maison. Ce travail était particulièrement minutieux vu l'existence de 4 typologies de maisons.

Pour la commande des Kits, une notification est faite par la conductrice travaux une semaine avant la livraison auprès des fournisseurs : (pour les lots plâtrerie/isolation et menuiserie intérieure). Pour le lot « Menuiserie Extérieure », une notification de 8 semaines était requise avant la livraison (temps de customisation et de fabrication).

En ce qui concerne la collaboration avec les fournisseurs et en particulier avec le fournisseur du lot « Plâtrerie », le processus Kitting a été expliqué au cours de la première réunion (livraison/maison des palettes).

Il n'y a pas de travail conséquent de coordination avec les fournisseurs pour cette variante de Kitting.

5.5. Coût du Kitting

Cette variante du Kitting ne requiert pas de centre de consolidation externe : il n'existe pas de coût inhérent à l'implémentation du Kitting. Ceci n'est pas le cas pour la précédente étude de cas pour laquelle un coût lié à l'implémentation du Kitting est inévitable avec le Centre de consolidation.

5.6. Analyse de l'étude de cas

Le premier point à noter pour la démarche Kitting sur le chantier de Flers est que l'enjeu n'est pas le même que pour les chantiers de construction neuve : la réception est réalisée chaque semaine pour deux maisons. Ceci permet aux habitants de se reloger le plus rapidement possible.

Pour un chantier de construction neuve, la réception se fait généralement en fin de chantier (donc une durée assez importante). Le besoin de réceptionner rapidement un logement pour une construction neuve n'est pas présent.

5.6.1. Kitting n'est pas synonyme d'un centre de consolidation

Le Kitting dans cette étude de cas est réalisé sur des lots peu nombreux et non techniques. Du coup, un centre de consolidation n'était pas nécessaire. L'échange avec les responsables travaux a conclu qu'un centre de consolidation peut être utile dès lors que plusieurs entreprises participent à la procédure de Kitting, et surtout s'il existe plusieurs fournisseurs par sous-traitant.

Ceci nous amène à proposer une manière de gérer le chantier :

Pour de la réhabilitation, le Kitting trouve tout son sens parce que c'est un outil efficace (et nécessaire en même temps) qui permet de cadencer le travail par tranche (dans le cas de Flers, par maison). Ainsi, l'équipe projet se fait livrer avec une fréquence d'une semaine la quantité nécessaire avec comme but de réceptionner deux maisons par semaine. C'est également lié au manque de zone de stockage vu que le chantier se compose de plusieurs maisons distinctes. De plus, se faire livrer au logement, permet également de limiter les temps de manutention, et par conséquent la fatigue des compagnons.

Pour la construction neuve, le besoin de terminer « logement par logement » n'est pas ressenti. Et donc, réaliser des Kits par logement n'est pas une solution intuitive.

En résumé, la démarche Kitting vient répondre, en premier lieu, a un besoin inhérent du chantier de rénovation.

Si on applique la démarche Kitting du chantier « Flers » sur un chantier de construction neuve, le processus sera semblable à celui-ci :

- Livraison des produits nécessaires selon une fréquence (une semaine ou deux).
- Réception d'un étage selon la fréquence fixée. (une semaine ou deux).
- Répétition du processus jusqu'à la réception de tous les bâtiments.
- Une livraison pour un étage de la part des fournisseurs en construction neuve n'est pas toujours rentable.

Si on prend l'exemple de la menuiserie extérieure, le fournisseur n'a pas intérêt à livrer un étage de fenêtre et ceci chaque semaine (vu les coûts du transport). D'où l'intérêt d'un centre de consolidation externe.

Ce problème ne se pose pas pour la réhabilitation des maisons vu le manque de places de stockage et le délai serré « entrée-sortie » des habitants : l'équipe travaux ne peut envisager une seule livraison des fenêtres et les stocker dans toutes les maisons. *(la conductrice travaux pouvait envisager des volumes de livraison plus conséquent si elle avait eu des zones de stockages judicieusement placées, et ce dans un souci de limiter les frais de livraison).*

En résumé, le Kitting est différent pour de la rénovation de logement individuel et du neuf. Les enjeux ne sont pas les mêmes.

Le gain financier n'est pas le même également : par exemple pour le chantier Flers, si l'on considère une comparaison entre un approvisionnement traditionnel et un approvisionnement Kitting pour les fenêtres, le facteur de différenciation serait : « le nombre de livraison ». Ainsi, le Kitting ajouterait dans ce cas un coût qui est égal à 74 logement/2 = 37 livraisons (en considérant que dans l'approvisionnement traditionnel, la livraison des fenêtres *se fera en une seule fois et le cout est 0). (Sachant que le séquençage des livraisons a été négocié dès le départ avec les fournisseurs, c'était une donnée d'entrée pour le cas d'étude Flers)*

Cependant, le fait d'approvisionner en une seule fois n'est pas possible vu les conditions inhérentes de ce chantier de rénovation.

En conclusion, pour que le Kitting s'applique à la construction neuve, il faut trouver le bon compromis entre livraison juste-à-temps (dans le cas du chantier WALLERS par semaine) et le stockage sur site.

Finalement, le Kitting a également un intérêt quand on est dans une logique d'achat/pose ou de part propre (le cas de WALLERS) vu que l'entreprise de construction achète ses propres matériaux (et donc se doit de bien les gérer).

L'expérimentation sur le chantier « Saint Nicolas » nous permettra d'avoir plus de visibilité sur la pratique du Kitting sur du neuf.

6. Formulation de l'approche de recherche

Le Kitting est une pratique courante en industrie et émergente en construction. La principale raison est que la logistique n'est pas considérée comme le premier souci et intérêt de la construction.

D'autre part, les recherches menées à l'heure actuelle démontrent que la construction peut être considérée comme une sorte de production (Lauri Koskela 1992). La partie logistique en construction est sous-estimée surtout que le coût des matériaux constitue une large proportion du coût de la construction.

Une approche, qui a attiré l'intérêt de plusieurs chercheurs au travers le monde, est la gestion de l'approvisionnement des matériaux en Kitting. Alors que les recherches menées montrent les avantages de la pratique du Kitting, une étude globale comparative entre le Kitting et la méthode d'approvisionnement traditionnelle n'a pas encore été réalisée en détails. L'absence de chiffres et d'études poussée sur le Kitting rend son adoption difficile par les professionnels. L'objet de ce travail de recherche est de :

1- Proposer un schéma d'application du Kitting sur les projets de construction.
2- Identifier les facteurs critiques du succès d'une opération en Kitting.
3- Fournir aux communautés scientifique et professionnelle des cas pratiques chiffrés sur le Kitting.

Pour répondre à ces objectifs, on a posé des questions de recherches. Ces dernières seront investigués dans les deux chapitres suivants. res

6.1. Questions de recherche

Les questions de recherche sont formulées comme suit :

1. Quelle relation y-a-t-il entre le Kitting et la théorie du Lean ?
2. Quelles différences y-a-t-il entre un projet de réhabilitation et du neuf ?
3. Quel est l'impact du Kitting sur le planning ?
4. Quelest l'impact du Kitting le coût d'une opération ?
5. En quoi le Kitting représente-t-il un bouleversement de l'organisation chez une entreprise de construction et sa relation avec les parties prenantes ?

6.2. Les limites de recherche

Pour cette étude, l'implémentation du Kitting a été réalisée pour les corps d'états secondaires. Il serait possible d'appliquer le Kitting sur une partie du gros-œuvre, par exemple les armatures aciers ou bien la structure métallique, ce dernier est exclus de l'étude.

Par ailleurs, l'étude est menée du point de vue de l'entreprise de construction. Ainsi, les questions de recherche posées sont orientées selon la perspective de l'entreprise de construction. En revanche, une analyse de l'impact du Kitting sur les autres parties prenantes sera également commentée.

6.3. Méthodologie de recherche

Dans ce travail de recherche, le chercheur est un participant (pas juste un observateur) et il est immergé dans les activités au jour le jour des projets de construction tests. Cette méthode a permis à l'auteur de comprendre les actions des gens et leurs expériences du monde dans les milieux réelles qui se sont produits indépendamment de la manipulation expérimentale. L'intervention délibérée est faite par le chercheur influe sur le résultat de l'étude.

Notre méthodologie de recherche inclus :

- Des entretiens avec les différents collaborateurs de l'entreprise.
- Des Recherches bibliographiques.
- Participation active à l'implémentation de l'expérience du Kitting sur 3 chantiers tests.

3 projets expérimentaux ou l'on applique le Kitting ont été initiés. Le chercheur se positionnait en tant que coordinateur des 3 projets. Les projets sont comme suit :

6.4. Chantier test 1: expérience de mise en place du Kitting sur un chantier de réhabilitation d'une maison (en phase initiation et préparation)

Ce projet provient du même client du chantier test 3. Il a deux objectifs :

- La réhabilitation d'une maison (voir figure 57).
- Développer une offre pour le client basée sur le Kitting.

Figure 57. La maison à réhabiliter du chantier test 3 en appliquant du Kitting

Ainsi, le travail réalisé pour ce projet s'est effectué en amont (en phase initiation) avec le client et l'architecte. Le client souhaite s'engager dans une démarche expérimentale dont l'objectif est d'explorer une nouvelle manière de réhabiliter et répondre à quatre enjeux majeurs :

- Réduire les aléas du chantier,
- Optimiser et maîtriser les délais de réhabilitation,
- Réduire l'impact environnemental du chantier réalisé en site urbain dense.
- Développer une méthodologie de réhabilitation duplicable sur d'autres immeubles du client et permettant d'accélérer la lutte contre l'habitat ancien dégradé.

La même démarche suivie dans le chantier test 2 sera appliquée sur ce chantier (même modèle d'application du Kitting et parties prenantes).

6.5. Chantier test 2 : expérience de mise en place du Kitting sur un chantier de réhabilitation de 5 maisons (en phase initiation et préparation).

Le projet concerne la réhabilitation de 5 maisons dans une courée en plein centre-ville. La Figure 58 présente une photo de la courée.

Figure 58. Photo de la courée de la « cité des Postes ».

Le concept des courées est une bande de logements identiques, individuels, en R+2, basés sur l'empilement d'une seule pièce. Le projet est de traiter les quelques logements, vide d'occupation en jumelant les logements de base.

La figure 59 présente l'emplacement du projet et les maisons en questions.

6.5.1. Particularités de l'opération

Les prestations seront exécutées en logements vides. Les interventions doivent s'opérer en plein centre-ville (conditions de stationnement, de stockage, d'évacuation des gravats,…), Les accès aux logements ne permettent pas d'employer des véhicules lourds. La circulation « chantier » doit coexister avec celle des habitants des courées. Ces conditions particulières entraînent pour les entreprises :

- Une libération immédiate des trottoirs et des allées de cheminement
- Une rigueur vis-à-vis de la sécurité des riverains et habitants des courées.
- Une vigilance sur la fermeture quotidienne et la sécurisation du logement vide d'occupants.

Les entreprises seront responsables des dégradations qui pourront être causées par les travaux de leur spécialité et seront tenues de les réparer ou de les faire réparer à leurs frais.

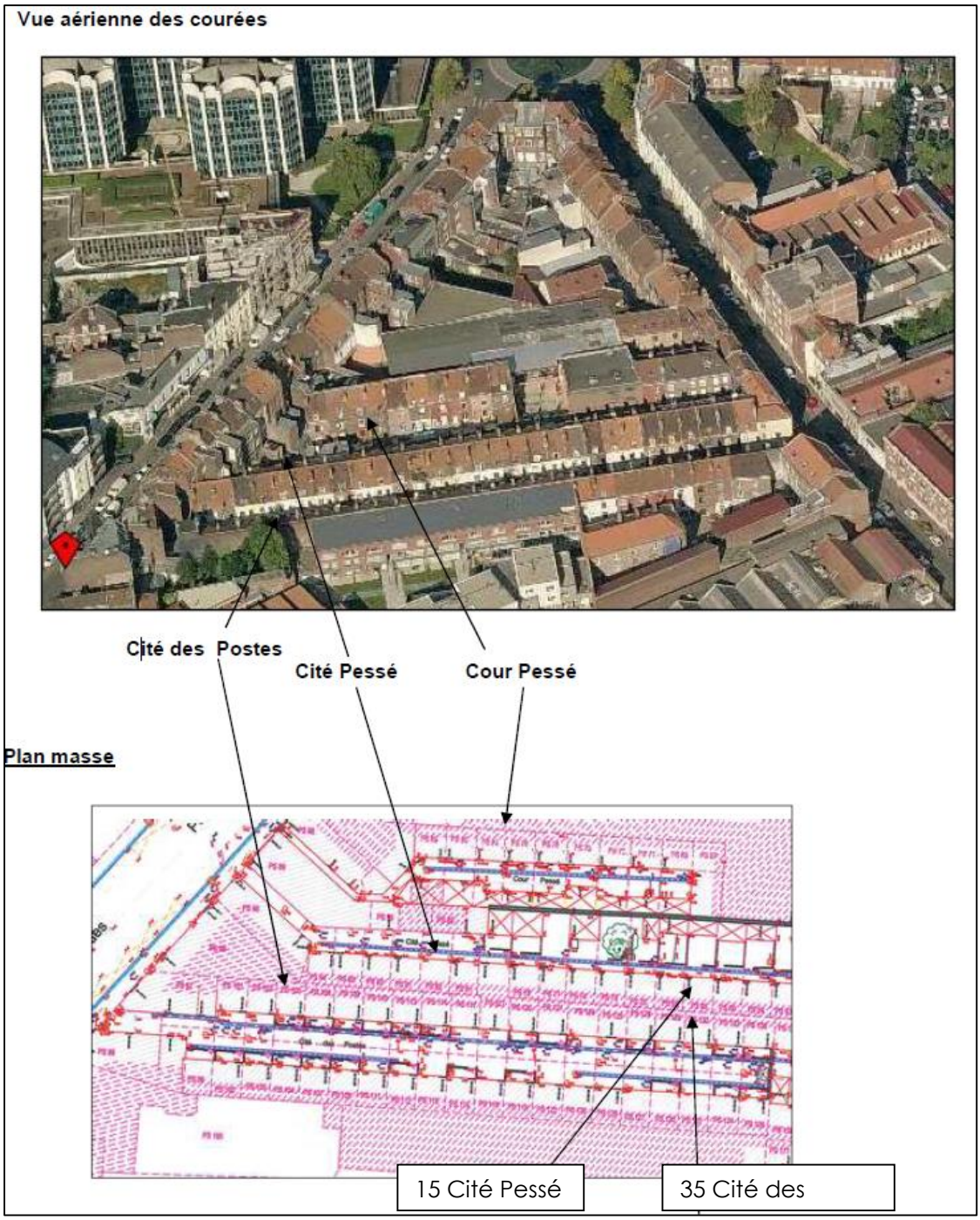


Figure 59. Vue aérienne des courées et du plan de masse.

6.6. Chantier test 3: Expérience de mise en place du Kitting sur un chantier neuf en phase gros-œuvre (depuis la phase préparation)

Un chantier de 55 logements neufs collectifs en phase gros-œuvre a été sélectionné pour une expérimentation du Kitting (Figure 60). Le projet est composé de 3 bâtiments (A, B, C) comme le montre la figure 60. Les détails du projet sont comme suit :

- Immeuble collectif A : 21 logements dont 4 T2, 9 T3, 6 T4 et 2 T5
- Immeuble collectif B : 15 logements dont 4 T2, 7 T3 et 4 T4
- Immeuble collectif C : 19 logements dont 4 T2, 8 T3 et 7 T4
- Parking commun sous A et B 36 places boxées et 21 non boxées
- Parking isolé sous Bâtiment C 19 places boxées

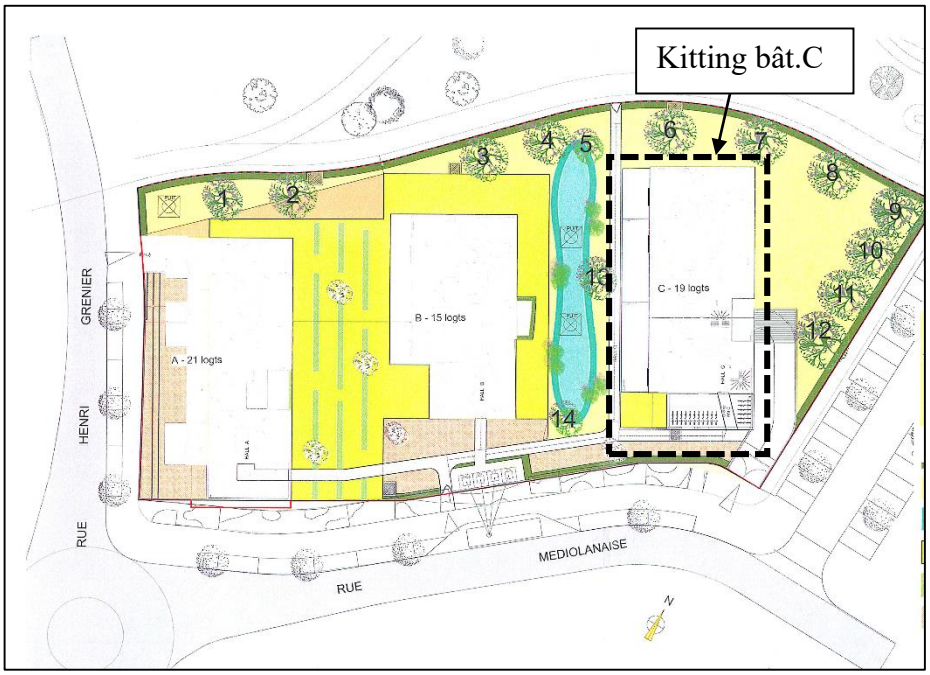


Figure 60. Plan de masse du chantier test 1

Selon le planning de construction établi, la construction se fait suivant la séquence suivante: en premier bâtiment C, ensuite le A et enfin le B. Pour cette expérience, le Kitting est réalisé sur le bâtiment C seulement. Le bâtiment C est un R+3 avec un sous-sol. Le rez-de-chaussée est composé de 4 logements et d'un local vélo. Le premier étage est composé de 5 logements. Le deuxième et le troisième étages sont composés de 5 logements chacun.

La décision d'appliquer le Kitting a été prise pendant la fin du gros-œuvre. Les corps d'état secondaires ont été sous-traités. La sélection des sous-traitants a déjà été effectuée.

7. Conclusion

Ce chapitre s'intéresse à la phase « construction » et introduit la logistique comme élément clé pour gagner en performance. La logistique en construction n'est pas vue comme un levier de performance mais plutôt comme une contrainte nécessaire au déroulement du chantier.

La deuxième partie du chapitre évalue la gestion logistique des chantiers de construction au travers d'une enquête menée auprès de 5 entreprises de construction. Les réponses ont souligné la problématique du stockage sur chantiers. Cette problématique est récurrente et est illustré des problèmes de produits cassés/volés et de produits non utilisés. Les ingénieurs travaux sont contraints d'avoir à gérer cette question au fur et à mesure du déroulement du chantier alors qu'elle devrait être traitée en phase « conception ». Cette partie conclut avec la nécessite et le besoin d'introduire des méthodes de gestion de la chaîne d'approvisionnement sur chantier innovante.

Ensuite, le chapitre présente deux études de cas d'application du Kitting comme méthode pour gérer la logistique des matériaux sur chantier. La première étude de cas concerne le projet « Schramm » de réhabilitation de 108 logements dans lequel le Kitting est réalisé par le biais d'un centre de consolidation externe. La deuxième étude de cas concerne le projet « Flers » de réhabilitation thermique de 174 logements individuels en R+1 dans lequel le Kitting est réalisé sans centre de consolidation. Les deux études de cas ont présenté la notion du Kitting de deux manières différentes et servent de base pour formuler l'approche de recherche. C'est l'objet de la dernière partie de ce chapitre contenant les questions de recherche, la limite de la recherche ainsi que la présentation des projets expérimentaux pilotes qui seront investigués dans le dernier chapitre du manuscrit.

Ce chapitre introduit la logistique dans la phase de « construction » et définit les principales notions liées à la logistique. Le prochain chapitre définit le « Kitting » comme levier logistique en construction et met en évidence les principes de la théorie du Lean liés à une telle pratique.

Chapitre 5

Modèles du Kitting

Mots-clés – Kitting, logistique, centre de consolidation, fournisseurs, sous-traitants, modèles.

1. Introduction

Ce chapitre vient répondre aux questions de recherche suivantes :

- Quel différence entre l'approvisionnement Kitting et traditionnel ?
- Comment le Kitting peut-il se manifester sur chantier ?
- Quels liens entre le Kitting et la théorie du Lean ?
- Quelles sont les étapes d'applications du Kitting ?

1.5. Modèle traditionnel d'approvisionnement sur chantier

La livraison sur des produits sur chantier dépend de la coordination fixée au début avec les fournisseurs. La manière de s'approvisionner sur chantier relève généralement de la responsabilité du fournisseur des produits et donc il doit trouver un moyen d'assurer la livraison sur chantier. Dans certains cas, les produits sont stockés sur chantier (si espace de stockage sur site disponible). Sinon le fournisseur cherche une solution pour diminuer les couts de transport. Ainsi, il n'existe pas de méthodes communément abordés dans les chantiers de construction (chaque cas est unique à un certain niveau). Nous allons en revanche présenter le modèle traditionnel d'approvisionnement sur chantier. Ceci n'est pas le cas pour tous les chantiers mais peut être considéré comme un standard actuel. La Figure 61 présente ce modèle.

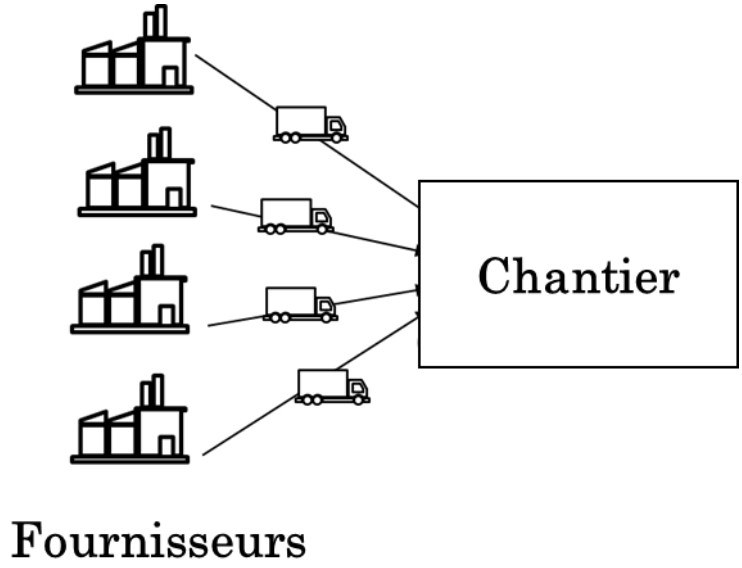


Figure 61. Modèle traditionnel de livraison des produits sur chantier

Chaque fournisseur livre ses produits sur chantier. Un projet de construction de bâtiment compte en moyenne une dizaine (voire plus selon le projet) de fournisseurs. Réaliser plusieurs livraisons augmente le cout pour le fournisseur et donc, il chercher à diminuer le nombre de livraison. En conséquence, le chantier contient plusieurs produits stockés parfois pour plusieurs mois. Cela résulte en la casse/perte/vol des produits mais aussi au gaspillage du temps (déplacement des produits si emplacement est exigés par les travaux et déplacement des produits pour utilisation).

En résumé, ce modèle est basé sur un approvisionnement en quantité, un stockage massif sur chantier et pour une durée importante par rapport à la vie du chantier.

1.6. Introduction du Kitting comme nouveau modèle d'approvisionnement

Le Kitting est un procédé dans lequel **les éléments, individuellement distincts mais liés, sont regroupés emballés et livrés ensemble comme une seule unité**. Autrement dit, il s'agit d'une méthode d'approvisionnement consistant à regrouper des éléments destinés à être assemblés ensemble.

Le Kitting doit donc permettre d'un point de vue logistique des économies d'échelle et la mise en place de flux tirés en favorisant la réduction des stocks, et notamment les stocks intermédiaires. Le Kitting a aussi pour but de simplifier et d'améliorer les flux d'approvisionnement qui convergent alors vers un même site.

Parmi les avantages du Kitting : En plein centre de ville, le Kitting porte tout son sens.

Figure 62. La congestion et la population en plein centre de Londres (photo prise le 16 Fév. 2016)

Le Kitting permet également de minimiser le stockage sur site et le partage des transports pour réduire au minimum la circulation et de congestion (Figure 62) ou de surcharge grâce au Juste-à-temps. Ce processus combiné avec la logistique sur place fournissant les matériaux au point d'utilisation offre une excellente occasion d'améliorer l'efficacité globale des ressources du projet de construction.

Une première constatation des études menées sur la logistique chantier est que l'improvisation se produit naturellement à un degré plus ou moins grande à l'égard de la façon dont le travail sur chantier est réalisé (voir l'enquête menée dans le précédent chapitre) et cela semble avoir une influence directe sur la productivité. Les chantiers congestionnés avec des matériaux et des gaspillages; les collaborateurs ont été impliqués dans trop de manutention manuelle; divers métiers ont dû travailler dans le même espace et en même temps.

Le Kitting permet tout d'abord d'optimiser la productivité et l'efficacité de la main-d'œuvre qualifiée sur site; deuxièmement, de maximiser la qualité de service en permettant la formation d'une équipe dédiée, de services logistiques pour fournir un service de soutien pour le projet de construction; Troisièmement, de réduire au minimum l'impact environnemental et social négatif que les projets de construction créent, et enfin, de garantir que les normes les plus élevées de santé et de sécurité pour maximiser la productivité de la main-d'œuvre qualifiée de construction.

1.7. Quel service est le Kitting ?

Alors que Kitting pourrait être considéré comme une pratique émergente dans la construction, il est d'un usage courant dans l'industrie. La Figure 63 montre la matrice produit-marché. Cette matrice exprime la relation entre la technologie du produit et du marché en termes de stratégie à suivre.

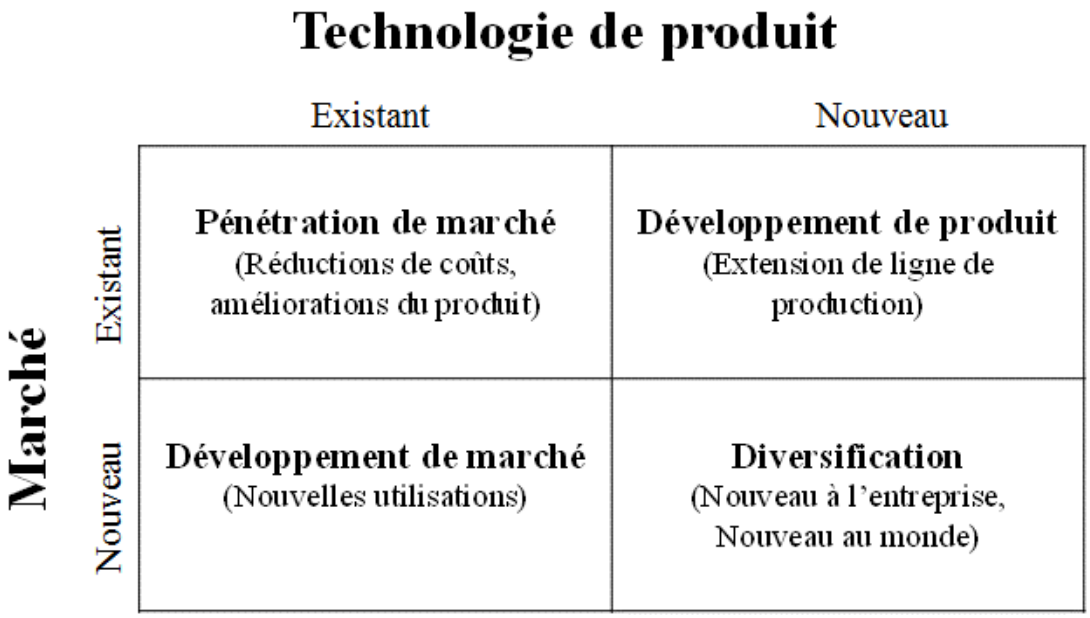


Figure 63. Matrice Produit-Marché

Alors que Kitting n'est pas un "produit", mais un "service", la matrice est toujours valable et applicable. Nous avons vu que cette pratique n'est pas nouvelle, mais est bien connue en industrie. Cependant, l'application de Kitting dans la construction est considérée comme «nouvelle». En conséquence, la pratique Kitting pourrait être affecté à la case inférieure, gauche de la matrice « Produit-Marché ». Cette case est intitulée « Développement de marché ». Dans ce type de stratégie, de nouveaux usages sont activés pour le marché cible grâce à la technologie introduite et l'effort devrait se concentrer sur la clarification de la valeur ajoutée de cette introduction.

Le Kitting pourrait être considérée différemment selon les différentes parties prenante de l'acte de construire. Par exemple, une entreprise de logistique (généralement un centre de consolidation) peut présenter « le Kitting » comme un service pour les entreprises de construction. Dans ce cas, l'entreprise de construction coordonne avec ses fournisseurs pour effectuer des livraisons au centre de la consolidation.

Cependant, dans la plupart des cas, les entreprises de construction se réfèrent à la sous-traitance. Une partie du travail est confiée à un sous-traitant, par exemple le lot « Menuiserie Intérieure ». Dans ce cas, la chaîne d'approvisionnement commence à devenir plus compliquée puisque le nombre d'intervenants dans le système du Kitting augmente.

C'est pour cette raison dans notre première partie de la démarche d'investigation du Kitting, nous allons voir les modèles liés à la pratique du Kitting. Ces modèles sont dictés par la nature des acteurs impliqués dans le système de Kitting.

2. Modèles du Kitting

En se basant sur la définition du Kitting énoncé précédemment, on peut suggérer 4 modèles d'application du Kitting.

2.1. Modèle 1: Kitting avec centre de consolidation externe

Le premier modèle suggéré est celui investigué actuellement dans la plupart des projets de recherches. Ce modèle est requiert l'utilisation d'un Centre de Consolidation Externe (CCE) au chantier. C'est généralement un prestataire logistique qui s'occupe du Kitting. La Figure 64 présente le modèle du Kitting avec un CCE. Dans le centre de consolidation, les différents produits sont assemblés, stokes, (étiquetés ou pas selon le service demandé) et enfin livrés sur site selon la demande. Ce modèle est celui de l'étude de cas #1 « Schramm »

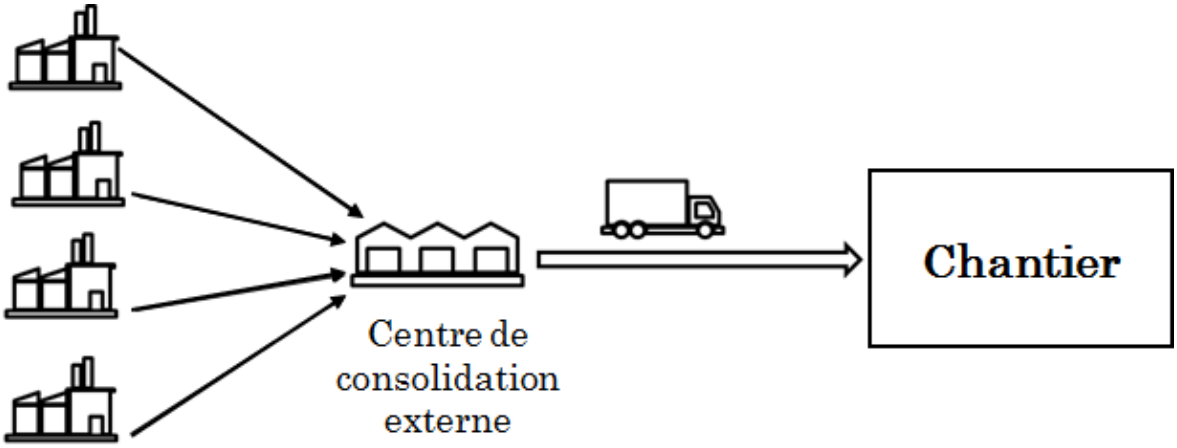


Figure 64. Modèle Kitting avec un Centre de Consolidation Externe

2.2. Modèle 2: Kitting avec Centre de Consolidation Interne

Le modèle 2 est différent du modèle 1 dans la localisation du centre de consolidation. Ce dernier est sur chantier (ou bien aux alentours du chantier). La Figure 65 révèle le modèle Kitting avec un Centre de Consolidation Interne (CCI).

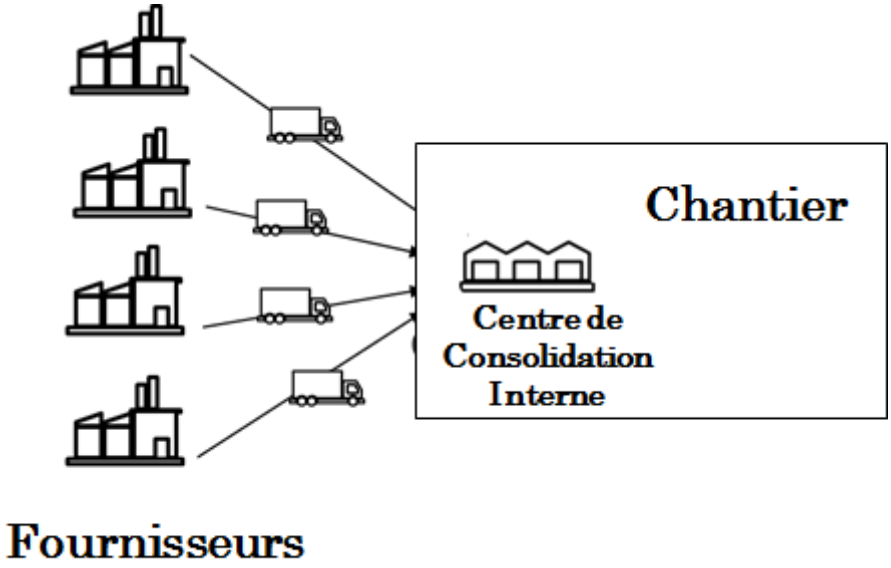


Figure 65. Modèle Kitting avec un Centre de Consolidation Interne

Alors qu'un CCE requiert l'ajout d'une partie prenante sous forme d'entreprise logistique (CCE), le CCI peut être gérée directement par l'entreprise de construction.

2.3. Modèle 3 : Kitting sans centre de consolidation

Le troisième modèle est inspiré de l'étude de cas #2 « Flers ». Ce modèle ne requiert pas l'utilisation d'un centre de consolidation comme le montre la Figure 66. Les Kits sont préparés directement depuis les locaux du (es) fournisseur (s) et livrés sur site prêt-à-l 'emploi.

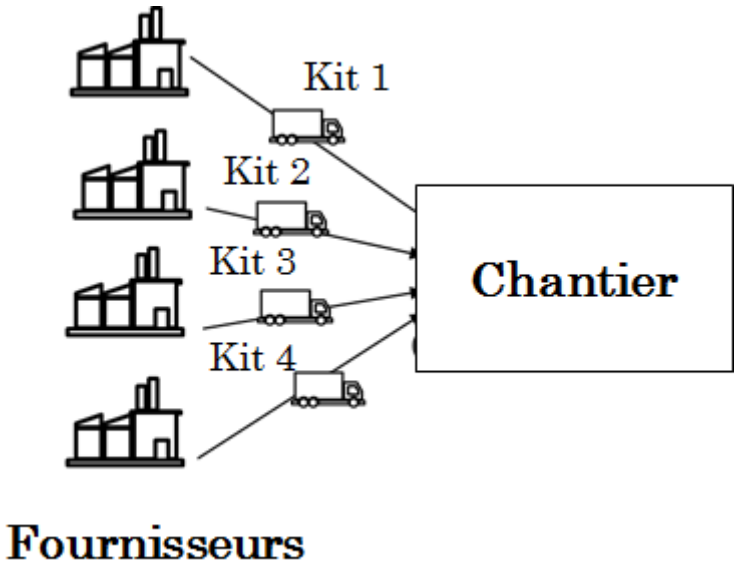


Figure 66. Modèle Kitting sans Centre de Consolidation

La différence entre le troisième modèle et le modèle traditionnel (Figure 61) est que les fournisseurs livrent des produits en quantité nécessaire et suivant le principe JIT. Par ailleurs, les fournisseurs dans ce modèle généralement livrent plusieurs lots en même temps (le fournisseur fournit et les portes et les plaques de plâtres par exemple). Le fournisseur est ainsi responsable de plusieurs typologies de produits, ce qui fait que le Kitting a tout son sens pour être appliqué.

2.4. Modèle 4 : Kitting mixte

Dans certains cas, c'est possible de mixer entre les modèles précédents. Par exemple, on peut faire appel à un centre de consolidation externe pour des lots sélectionnés et à un Kitting directement depuis le fournisseur pour d'autres lots. Ce dernier cas de figure est présenté dans la Figure 67.

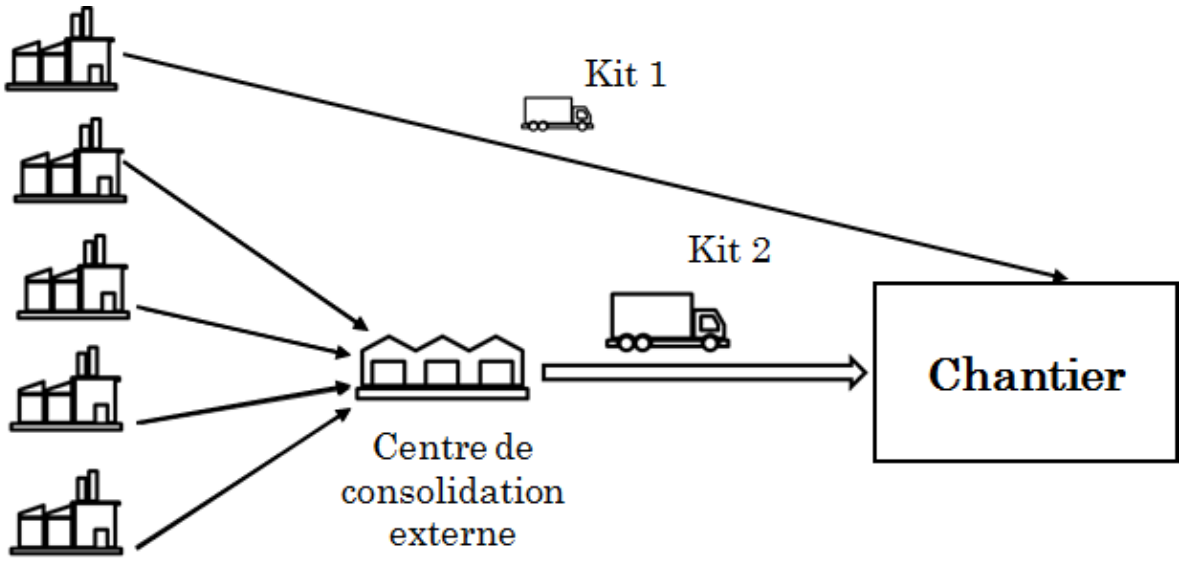


Figure 67. Modèle Kitting mixte : cas du Kitting avec CCE et le Kitting direct depuis le fournisseur.

Le chantier reçoit donc 2 Kits. Le premier issu directement du le fournisseur et le deuxième Kit issu du centre de consolidation.

2.5. Les variantes du modèle du Kitting

D'après le retour d'expérience des études de cas #1 « Schramm » et #2 « Flers », on voit que la préparation et le déroulement d'une opération en Kitting change selon la nature du projet « Logements » ou « Maisons ».

Un autre paramètre à prendre en considération dans le déploiement d'une opération en Kitting est de distinguer entre une opération « neuf » ou bien une « rénovation ». Ce paramètre est bien plus stratégique qu' «opérationnel » parce qu'il fournit des informations sur les besoin du client : besoin de se reloger

rapidement et par étapes (faire sortir et reloger les habitants par tranche) d'où l'intérêt du Kitting.

Une autre variante qui joue sur la configuration Kitting à mettre en place est si les lots assujettis au Kitting sont réalisés en part propre ou bien en sous-traitance. Cette variante est de loin celle qui joue le plus sur la manière d'implémenter le Kitting. Réaliser un lot en part propre signifie que c"est l'entreprise de construction qui est responsable de :

- La fourniture des produits (matériaux et équipements) pour réaliser le lot
- La création des plans de pose si nécessaire.
- L'installation/pose de ce lot.

Ainsi, c'est l'entreprise de construction qui se fournit (depuis un fournisseur) et réalise la tâche (pose/installation). Le fournisseur est l'entité qui fournit les éléments nécessaires sur chantier, par exemple, les fenêtres, carrelage, etc. Le champ de responsabilité du fournisseur se limite juste à la fourniture et n'est donc pas responsable de l'installation/pose sur chantier. Ainsi, l'entreprise de construction se doit soit de chercher un poseur ou bien de poser/installer elle-même avec ces propres compagnons.

Dans le cas d'une sous-traitance, le sous-traitant s'occupe intégralement d'une partie de la construction, communément définie comme « lot » ou « corps d'état ». L'entreprise de construction fait recourt à la sous-traitance pour plusieurs raison : pas de compétence pour le lot en question, insuffisance de ressources humaines pour réaliser le lot ou bien pour se débarrasser de responsabilités liées au lot. Le sous-traitant concrètement s'occupe des tâches précédemment cités.

- La fourniture des produits (matériaux et équipements) pour réaliser le lot
- La création des plans de pose si nécessaire.
- L'installation/pose.

Il existe une autre variante dans laquelle l'entreprise de construction se fournit en matériaux et fait appel à de la sous-traitance pour la pose/installation seulement. On intégrera ce cas de figure dans la « sous-traitance ».

En général, l'entreprise de construction cherche à diminuer les coûts en jonglant avec les différents possibilités (Fourniture seul/ sous-traitance).

L'étude de cas #1 « Schramm » est un cas de Kitting en « Part propre ». C'est-à-dire que les lots assujettis au Kitting sont réalisés par l'entreprise de construction. Ainsi, l'approvisionnement en matériaux (et donc de bien gérer la logistique des produits) ainsi que la pose/installation relève de la responsabilité de l'entreprise de construction. Le Kitting était donc bien justifié.

Dans le cas où les lots assujettis au Kitting sont réalisés en sous-traitance, la gestion du Kitting se complique (comme énoncé dans l'étude de cas #2 Flers). Ce

cas de figure est l'objet d'expérimentation pour le projet test « Saint Nicolas » ou le Kitting est mis en place avec les sous-traitants.

L'implication de plusieurs sous-traitants dans le Kitting rend la chaîne d'approvisionnement plus complexe. Cela est dû au fait que les sous-traitants ont leur propre ensemble des fournisseurs. La Figure 68 présente les différents niveaux de la chaîne logistique. Pour chaque participant dans le processus de Kitting (entreprise de construction et de ses sous-traitants), il est possible de définir une chaîne logistique pareille. Cette dernière est composée de fournisseurs pour la logistique interne, des clients pour la logistique de distribution et la gestion des matériels et équipements au sein de l'entreprise.

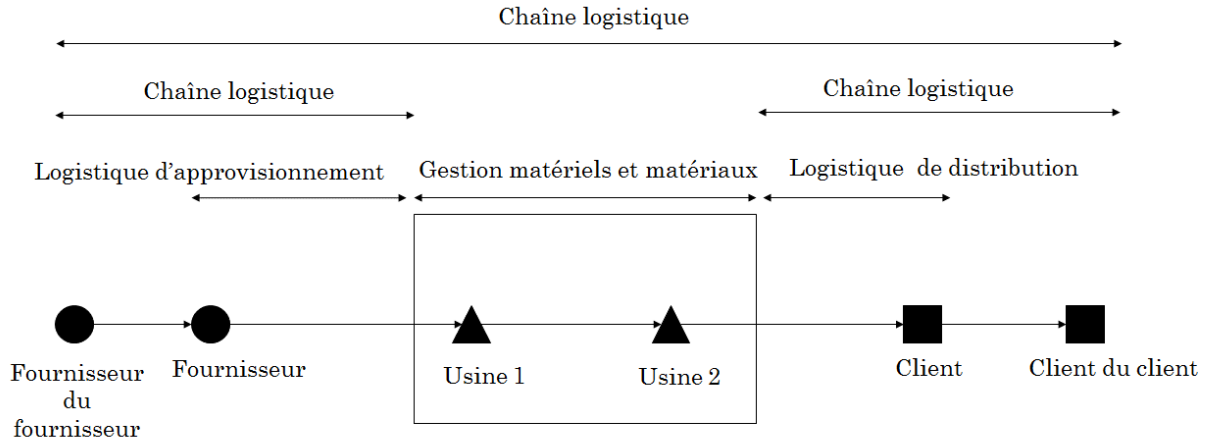


Figure 68. Niveaux de la chaîne logistique (Le Moigne 2013)

Enfin, la localisation du chantier est un paramètre important dans l'implémentation du Kitting. L'enquête réalisée auprès des entreprises de construction dans le chapitre 4 affirme ce point. L'espace disponible sur chantier est aussi un critère essentiel dans le choix du modèle du Kitting.

Données d'entrés

Variantes				Volet:
Nature projet	Neuf	Rénovation	Mixte	Stratégique
Type projet	Bâtiments	Maisons	Mixte	Opérationnelle
Densité localisation chantier	Elevée	Moyenne	Faible	Opérationnelle
Disponibilité espace sur chantier	Elevée	Modérée	Faible/ inexistante	Opérationnelle

Données de sortie

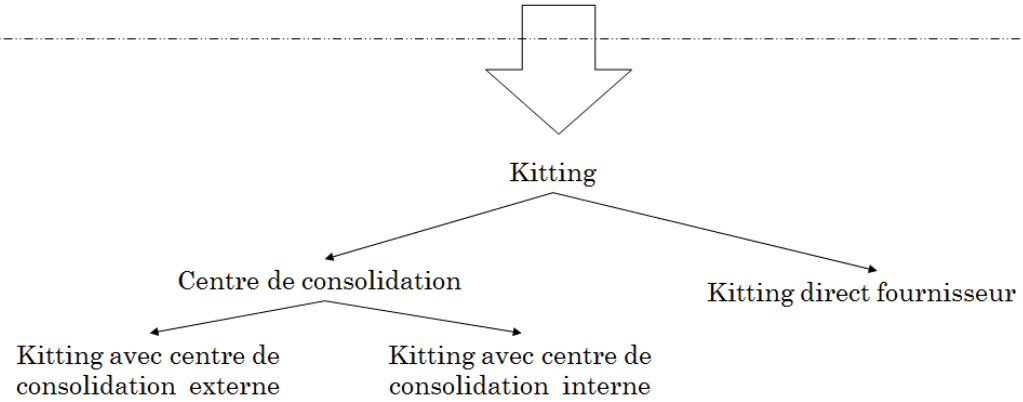


Figure 69. Modèle et variantes du Kitting : données d'entrées pour prise de décision

L'ensemble des variantes du Kitting est présenté dans la Figure 69. Ces variantes peuvent être vues comme des données d'entrée pour le choix du modèle du Kitting à implémenter sur chantier.

Ces variantes ont une implication soit sur le volet stratégique ou opérationnel de la mise en place du Kitting. Par exemple, un projet de rénovation possède des enjeux différents que pour du neuf (perspective client). Aussi, un projet de construction industrielle (un grand supermarché) requiert un respect des délais essentiel vu que le retour sur investissement du client se base sur le lancement rapide de son business.

Les variantes ont également une implication sur le volet « opérationnel » de la mise en œuvre du Kitting. Ce volet concerne non seulement le choix du modèle à implémenter mais aussi le choix des produits/lots, la planification et la collaboration avec les parties prenantes. Nous allons voir plus en détails ces aspects dans le prochain chapitre (retour d'expérience du chantier test « Saint Nicolas ».

3. Centre de consolidation

3.1. L'intérêt pour un centre de consolidation

Le rôle d'un centre de consolidation peut être assimilé à celui d'un centre de distribution régional de détail qui reçoit et distribue les unités reçues. Il est ainsi nommé parce qu'il consolide plusieurs unités (produits) sur un seul véhicule et réalise la livraison sur site. A l'exception de certains équipements et matériaux qui

sont plus facilement livré directement aux sites, il est le point de livraison unique pour pratiquement toutes les fournitures. Un centre de consolidation ne stocke pas les unités pour une période prolongée mais c'est plutôt un tampon de distribution utile. Il est responsable de tous les éléments qui lui sont confiés. La Figure 70 montre le Centre de consolidation appointé pour l'expérimentation test 3: "Saint Nicolas".

Figure 70. Centre de consolidation appointé pour l'expérimentation test 3: "Saint Nicolas"

La Figure 71 montre le fonctionnement d'un centre de consolidation.

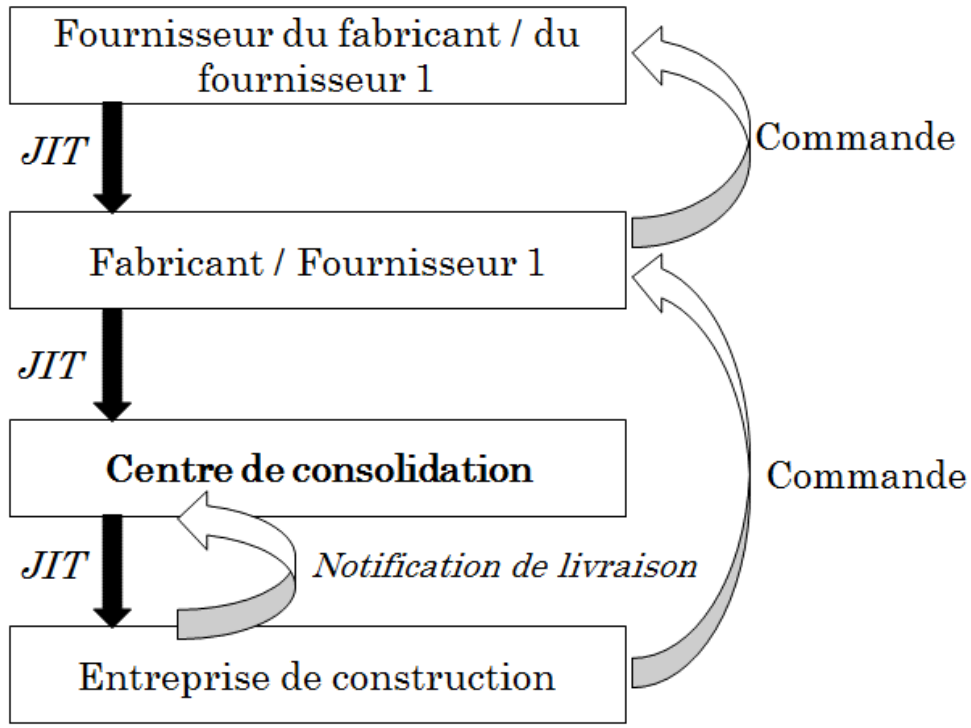


Figure 71. Le fonctionnement classique d'un centre de consolidation [adapté de : (Vaha et al. 2004)]

Selon (Vaha et al. 2004), Il y a six étapes dans le traitement des matériaux par un centre de consolidation:

1. L'entrepreneur passe des commandes pour les fournitures, en spécifiant la livraison au centre de consolidation.

2. Le centre de consolidation valide une date de livraison et prépare la livraison. (Tout est vérifié et étiqueté pour simplifier la distribution).

3. Environ 24 heures avant l'envoi des unités, l'entrepreneur envoie une notification. (Indiquant exactement quoi, où et quand).

4. Le centre de consolidation constitue des 'Kits' for chaque tâche.

5. Le centre de consolidation livre les Kits Juste-A-Temps pour chaque équipe pour réaliser les tâches de ce jour-là.

6. Le centre de consolidation élimine les matières en excès du site tous les jours.

Alors que le centre de consolidation permet en effet de « sous-traiter » la logistique du chantier et ainsi se focaliser sur la réalisation effective du travail à valeur-ajoutée chantier, des obstacles existent quant à son adoption. Notons

également que le Kitting ne requiert pas toujours l'adoption d'un centre de consolidation (modèle 3 du Kitting).

3.2. Défis d'adoption d'un centre de consolidation

Le premier obstacle est d'ordre financer : selon mon échange avec plusieurs professionnels du bâtiment, la marge nette moyenne pour un projet est, en moyenne, inférieure à 2%. L'ajout d'un centre de consolidation aura sans doute des conséquences sur le coût final du projet. Dès lors, le vrai enjeu est alors de sortir avec un coût de prestation logistique inférieur au coût gagné par le biais de cette prestation. L'absence de recherche sur le coût réel de l'utilisation d'un centre de consolidation rend la formulation d'une conclusion à ce sujet difficile. N'oublions pas que les gains peuvent différer selon plusieurs variantes également : un projet de construction neuve n'est pas le même qu'une réhabilitation par exemple. Ces variables ajoutent une seconde difficulté pour généraliser la rentabilité d'un centre de consolidation.

Le deuxième obstacle et lié à la planification sur chantier : dans un projet de recherche réalisé par (O'Brien 1998), un système de production nommé « Unit Order System » appliqué qui consiste en un système de livraison basée sur trois semaines : dans la semaine 0, on commande les unités nécessaires pour les semaines 1, 2 et 3. Pendant la semaine 1, on commande les unités nécessaires pour les semaines 2, 3 et 4. Ainsi, ce système permet d'avoir une vision sur les livraisons des trois semaines à venir. Les résultats de cette expérience étaient surprenants : le pourcentage de changement des dates de livraison est de 43%. Ceci veut dire que le planning est très volatile : les changements sont quasi-surs dans un projet de construction. La fiabilité de la planification sur site est faible due aux : intempéries, la précision de l'estimation des produits et du planning, le nombre d'unités en cours sur chantier (retour de l'équipe chantier sur l'état actuel du chantier). Selon (Arbulu & Ballard 2004), tout système de livraison subi des variations.

La conséquence de ces résultats pour le centre de consolidation est qu'il faut s'attendre à plusieurs changements au niveau du planning des livraisons des Kits, surtout si le projet de construction est complexe. Le fait de réaliser les livraisons directement depuis le fournisseur est quelque part une garantie de la rapidité des livraisons.

Dans le cas d'un centre de consolidation, la notification est envoyée en premier lieu au centre de consolidation et ensuite, c'est le centre de consolidation qui contacte le fournisseur. Puis, le fournisseur livre les unités au centre de consolidation avant que ce dernier envoie le « Kit » sur chantier. Le « lead time » est donc plus grand. En conséquence, la capacité à réagir rapidement aux

fluctuations sur chantier diminue, ce qui impose d'avoir un stock de sécurité sur chantier.

4. Lien entre le Kitting et la théorie du Lean

4.1. Le système de livraison « Lean » le long de la chaîne de construction

La Figure 72 montre le système Lean en construction. Le Lean peut être intégré tout au long de la chaîne de construction : définition du projet, la conception Lean, l'approvisionnement Lean, la construction/assemblage Lean et enfin pendant la phase d'utilisation.

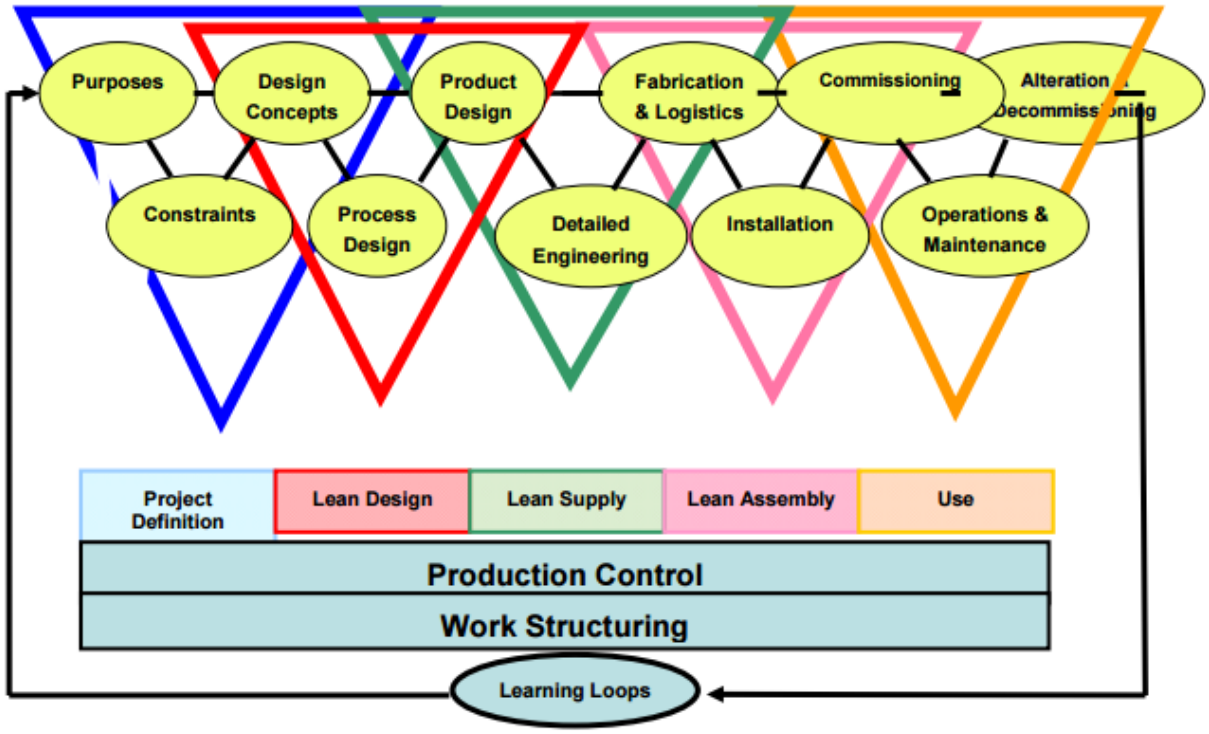


Figure 72. Système Lean en construction (Ballard 2008)

Le Kitting s'insère dans la phase « Lean Supply » « Approvisionnement Lean ». En effet, la mise en œuvre du système Kitting implique la connaissance de certains concepts de la littérature de la production industrielle. Le Kitting inclut des principes de la planification de la production. Par exemple, une planification de l'approvisionnement synchronisée avec le calendrier de construction est nécessaire. En outre, la fourniture d'un ensemble complet (Kit) de matériaux implique qu'en phase de conception, les chargés d'études examinent en détail le processus de construction. De plus, l'implication des parties prenantes est également nécessaire (le centre de consolidation, l'entreprise de construction et les sous-traitants si inclus). Ceci donc invite à un processus de collaboration bien en amont de la construction réelle du bâtiment. Enfin, une bonne gestion de stocks

est nécessaire pour savoir exactement la quantité disponible à un moment donné et donc de bien prédire les besoins et la capacité futurs d'approvisionnement.

4.2. La théorie « TFV » par Koskela comme philosophie du Lean Construction

En 1992, (L. Koskela 1992) a rapporté l'adaptation des concepts de production allégée dans l'industrie de la construction et a présenté un modèle de gestion de la production en construction, où la production est conceptualisée de trois façons complémentaires. Cette conceptualisation est la « TFV » : transformation; Flux; et Valeur ajoutée (TFV). Ce point de vue tripartite de la production a conduit à la naissance du Lean Construction maigre comme une discipline qui englobe la gestion de la construction contemporaine.

Le premier concept est celui de la « Transformation »: les principes de productions sont actuellement basés sur cette théorie. Par ailleurs, cette vision de la production est une idéalisation vu que dans les projets complexes, les erreurs liées à cette configuration deviennent inacceptables. Cette théorie a deux points faibles: le premier est qu'elle échoue à reconnaitre l'existence de phénomènes (dans la production) autre que la transformation. Le deuxième point faible est qu'elle échoue à reconnaitre que ce n'est pas la transformation en elle-même qui rend la sortie du processus une valeur ajoutée mais on la valeur ajoutée est créée si la sortie correspond à ce que le client demande. En résumé, cette théorie est efficace pour identifier les tâches nécessaires pour entamer la production. En revanche, elle n'est pas d'une grande utilité pour identifier les sources de gaspillages ou bien pour s'assurer que les besoins du client sont satisfaits avec de la meilleure façon possible.

La seconde Ecole de pensée (Flux) modélise la production sous forme de flux. Le flux est une composante inhérente du Lean. Le point de vue « Flux » représente la production comme un flux continue avec comme objectif de réduire au maximum la variabilité. Les indicateurs tels que « lead time » « temps de cycle », « temps de rechange des pièces » « variabilité du processus » sont basée sur cette vue de la production.

La troisième Ecole de pensée a été articulé en 1930 et considère la production comme une création de valeur. Dans cette Ecole, l'objectif est de créer la meilleure valeur en se basant uniquement sur ce que veut le client. Cette Ecole de pensée a été introduite par Shewhart (1931). Elle a été affiné ensuite par le mouvement Qualité. Les exigences rigoureuses et la conception sont prioritaires et mis en pratique dès le début de projet.

Tableau 35. Ecoles de pensées du Lean Construction : TFV

1 Transformation (T)	2 Flux (F)	3 Valeur (V)
• **Conceptualisation** de la production sous forme de transformation (Entrée-Sortie) • Décomposition en de petites transformations (tâches) et minimiser leurs couts indépendamment	• La production sous **forme de flux**. • Le flux est une composante inhérente au Lean. • Le point de vue "Flux" vise **à réduire le flux** au maximum possible. • Les indicateurs tels que "Lead time", "temps du cycle", "temps de rechange des pièces" **sont basées sur cette vue.**	• La troisième école de pensée a été articulé par Shewhart en 1930 qui voit **la production comme une création de valeur** et affiné ensuite par le mouvement qualité. • Créer la meilleure valeur en **se basant uniquement** sur ce que veut le client. • **Les exigences rigoureuses et la conception sont prioritaires** et mis en évidences dès le début de projet.

Le Tableau 35 résume ces 3 Ecole de pensés. Le Lean Construction reconnait ces 3 Ecoles et constituent les piliers de la théorie du Lean Construction. D'ailleurs, toutes les actions/outils/méthodes du Lean Construction doivent suivre ces 3 Ecoles de pensés. Ces points de vue **ne représentent pas des alternatives** ou bien **des théories concurrentes** mais plutôt des théories partielles et complémentaires. La Figure 73 trace les principes « TFV » grâce à un exemple : Production d'une brique. On voit que les 3 Ecoles de pensés peuvent effectuer être activés sans se compromettre.

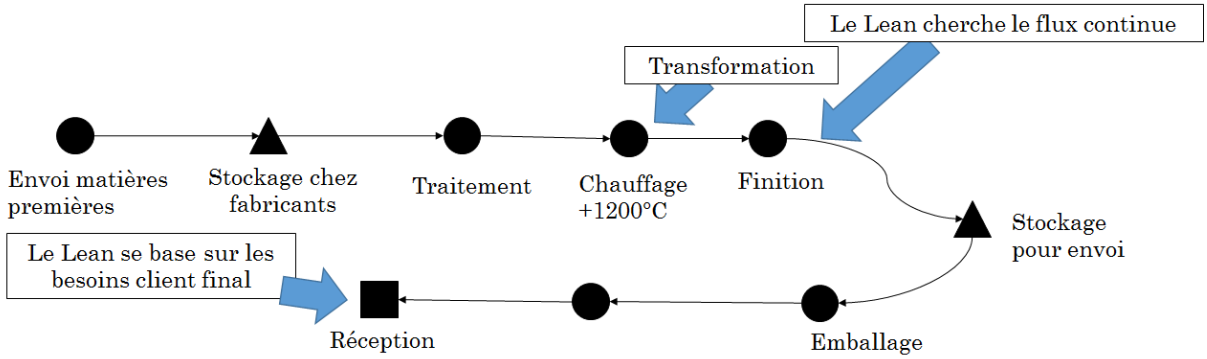


Figure 73. Principes "TFV" du Lean Construction: exemple de la production d'une brique cuite

4.3. Les principes « Lean » liés au Kitting

L'application du Kitting permet d'appliquer les principes suivants :

- Livraison en point usage: ce terme signifie la livraison à l'emplacement exact de l'utilisation. Dans le cas de la construction, le kit sera livré au point d'utilisation dans le bâtiment (numéro d'étage ou bien le numéro de zone).
- Un système de flux tire à la place d'un système poussé: le Kitting implique la réalisation en amont de la construction d'un planning détaillé par zone (logement par exemple) à la place de livrer en quantité tout ou partie du chantier (flux poussé).

- Réduction du WIP (Work-In-Progress): le Kitting implique que la livraison et le déplacement des produits au point d'usage se fait distinctement de la réalisation effective de la tâche. Ainsi, moins de travail est réalisé et donc une réduction du WIP.
- Réduction des tâches à non-valeur ajouté: ceci est la conséquence de la réduction du WIP. Le déplacement des produits et des personnes sur chantier s'ensuit de l'application du Kitting.
- JIT: Le Kitting se base sur une livraison de la quantité nécessaire pour une fréquence donnée (livraison journalière, hebdomadaire ou autre). Le principe du JIT est donc fortement lié au concept du Kitting.
  Un compromis existe entre le JIT et la fragilité du système Kitting. Si les matériaux sont livrés à partir d'un centre de consolidation, leur non-disponibilité sur place en cas de besoin pourrait créer un sérieux retard. Selon (Arbulu & Ballard 2004), tout système de livraison souffre de variations à un certain niveau; les auteurs ont analysé plusieurs scénarios liés à la fiabilité des livraisons dans la construction. Dans notre cas, une définition claire du niveau de JIT devrait être réalisée en conformité avec les impératifs du système de Kitting (Figure 74). L'exemple de l'industrie montre qu'ils expériences un délai de livraison très court, de l'ordre de quelques minutes (niveau de JIT très bas).

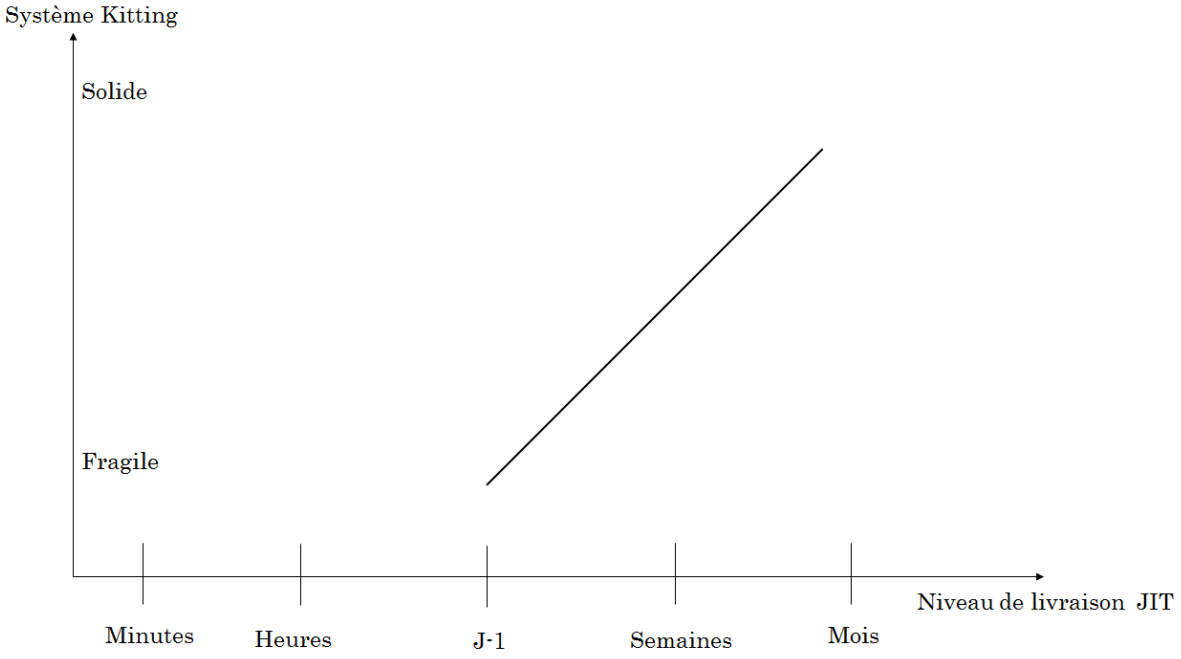


Figure 74. Niveau de fragilité du système Kitting en fonction du niveau de livraison JIT: courbe théorique.

5. Phases d'implémentation du Kitting

La méthode d'application du Kitting que nous proposons est basée sur 5 étapes clés comme le montre la Figure 75.

Figure 75. Phases d'implémentation d'une opération en Kitting

La phase « initiation » vient pour évaluer la pertinence du Kitting. On verra si le Kitting apporte une valeur ajoutée au chantier. On choisira également le modèle du Kitting en tenant en compte les variantes. Les lots assujettis au Kitting sont également fixés lors de cette phase. Finalement, cette phase inclut l'alignement des parties prenantes impliquées dans le Kitting (notamment sélection des sous-traitants/fournisseurs).

La phase « Préparation » concerne le choix des produits à mettre en Kitting (suivant les lots sélectionnés dans la première phase) et l'élaboration des quantités détaillés selon le zoning choisi (Kitting par logement, par étage, etc.).

La phase « Fabrication » inclut la mise en place du planning d'approvisionnement, le lancement des commandes pour fabrication des produits et ensuite stockage au centre de consolidation (si utilisé). La fréquence des livraisons est également fixée dans cette phase.

La phase « exécution et suivi » est liée au suivi et contrôle sur chantier du Kitting. Les dates des livraisons des Kits ainsi que l'inventaire sont mis-à-jour régulièrement. Le conducteur travaux (ou responsable logistique si présent) lance les notifications de livraison et gère le déroulement de la construction.

Enfin, la phase « capitalisation » sert à capitaliser l'information sur l'expérience du Kitting. Cette phase est essentielle parce que le Kitting invite à créer une relation de confiance avec toutes les parties prenantes du projet et à développer une base de données des produits assujettis au Kitting (avec leur référencement). La capitalisation permet de rendre le système plus fiable et efficace au fil de temps.

6. Conclusion

Nous avons introduit la notion de Kitting comme une nouvelle méthode de la gestion logistique en construction. Le Kitting est un procédé dans lequel les produits sont emballés et livrés ensemble comme une seule unité. C'est une pratique courante dans l'industrie, mais pourrait être considérée comme émergente dans la construction (suivant la matrice Produit-Marché).

Le Kitting pourrait également être considéré comme un service fourni pour les entreprises de construction et/ou les sous-traitants au travers d'un centre de consolidation. Les entreprises de construction peuvent également se positionner pour fournir ce service directement à leurs sous-traitants. Dans le cas de plusieurs lots en sous-traitance, la chaîne d'approvisionnement se complexifie vu

l'augmentation des parties prenantes impliquées avec leurs fournisseurs respectifs.

Quatre modèles d'application du Kitting ont été proposés : le premier est basé sur un centre de consolidation externe, le deuxième concerne un centre de consolidation interne (le Kitting se fait sur chantier avec un espace dédié à cette pratique). Le troisième modèle est un Kitting direct sans passer par un centre de consolidation. Ce sont les fournisseurs qui préparent les Kits correspondants directement. C'est le cas de l'expérience « Flers » ou le besoin de passer par un centre de consolidation n'est pas ressenti (C'est plus intéressant de passer par un CCE si plusieurs fournisseurs). Enfin, le quatrième modèle est le mixte entre plusieurs modèles (CCE et un Kitting direct par exemple).

Le Kitting est également une plate-forme pour l'application de la théorie du Lean Construction. Les concepts comme le JIT, livraison en point d'usage et le flux tiré sont activés avec le Kitting. De plus une planification détaillée en amont du projet est nécessaire (en adéquation avec les principes du Lean Construction). Enfin, le travail de déplacement des produits n'est plus compté dans les heures des travailleurs (puisque inclus dans la prestation Kitting), ce qui implique « la réalisation des tâches à valeur ajouté sur chantier : la pose/installation ».

La dernière partie de ce chapitre propose des phases d'implémentation du Kitting comme suit : initiation, préparation, fabrication, suivi et contrôle, capitalisation. Ces phases sont suivies dans les expérimentations « test chantiers » que l'on va investiguer en détails dans le chapitre suivant.

Pour l'entreprise, ce chapitre est central parce qu'il justifie les paramètres choisis pour les expérimentations. Ceci est réalisé par une formalisation de la pratique du Kitting scientifiquement (proposition des modèles du Kitting et leurs différences ainsi que des étapes d'implémentation).

Chapitre 6

Expérimentations: Phase « préparation » Kitting

Mots-clés – Kitting, implémentation, expérimentation, BIM, approvisionnement, chantier neuf, rénovation, méthodes, planning.

1. Introduction

2. Chantier test #1 : Synergie entre le Kitting et le BIM

2.1. Schématisation générale de la planification des Kits grâce au BIM

A travers l'exploration des différentes possibilités de prises de quantité de la maquette BIM du projet sur le logiciel *Revit*, le schéma général suivant a été conçu afin de réaliser le planning d'approvisionnement en Kit grâce à deux éléments :

- La maquette BIM
- Le planning des travaux

Dans la Figure 76, les données d'entrée (maquette BIM et planning des travaux), sont schématisées en bleu, tandis que les données de sorties (éléments de finitions et kits), sont schématisées en orange, et les filtres (filtre par catégorie et filtre par date), sont schématisés en noir. Les flèches indiquent le sens de transfert des informations.

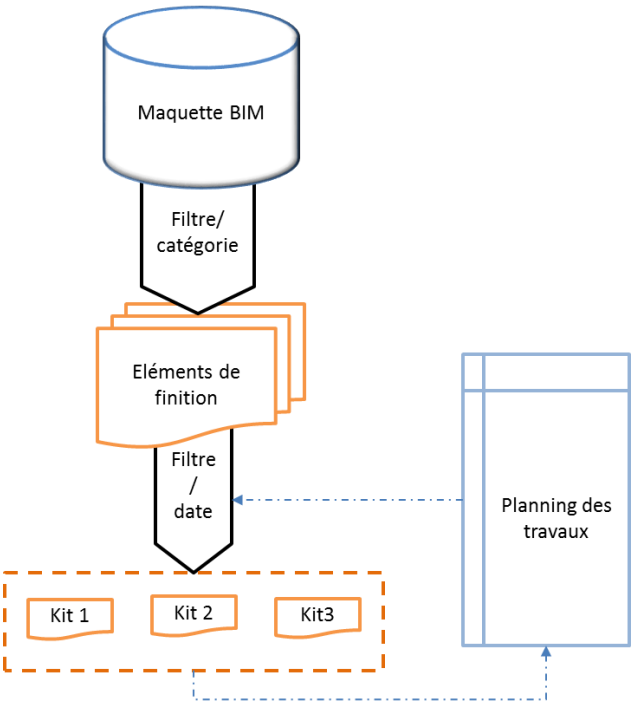


Figure 76. Principe de la planification des Kits grâce au BIM

Pour pouvoir manipuler les informations contenues dans le modèle BIM du projet, on a utilisé des extensions qui s'ajoutent à Revit et des fonctionnalités de Revit permettant une extraction de ces informations vers un fichier externe. Mais avant de passer au filtre par catégorie, les produits qu'on envisage à inclure dans l'opération doivent être fixés. Puis on passe au tri des éléments selon leur catégorie. Pour ce faire on propose trois possibilités pour le filtre :

2.1.1. Nomenclatures

Les nomenclatures sur Revit sont des tableaux crées à partir de la maquette BIM contenant les paramètres et leurs valeurs. Elles permettent de lister les éléments existants au choix avec plusieurs options pour leur tri et groupement, comme groupement par niveau/ par hauteur … .

Une fois la nomenclature d'un élément est réalisée, elle est automatiquement ajoutée à l'arborescence du projet sur l'interface de REVIT comme illustré dans la Figure 77.

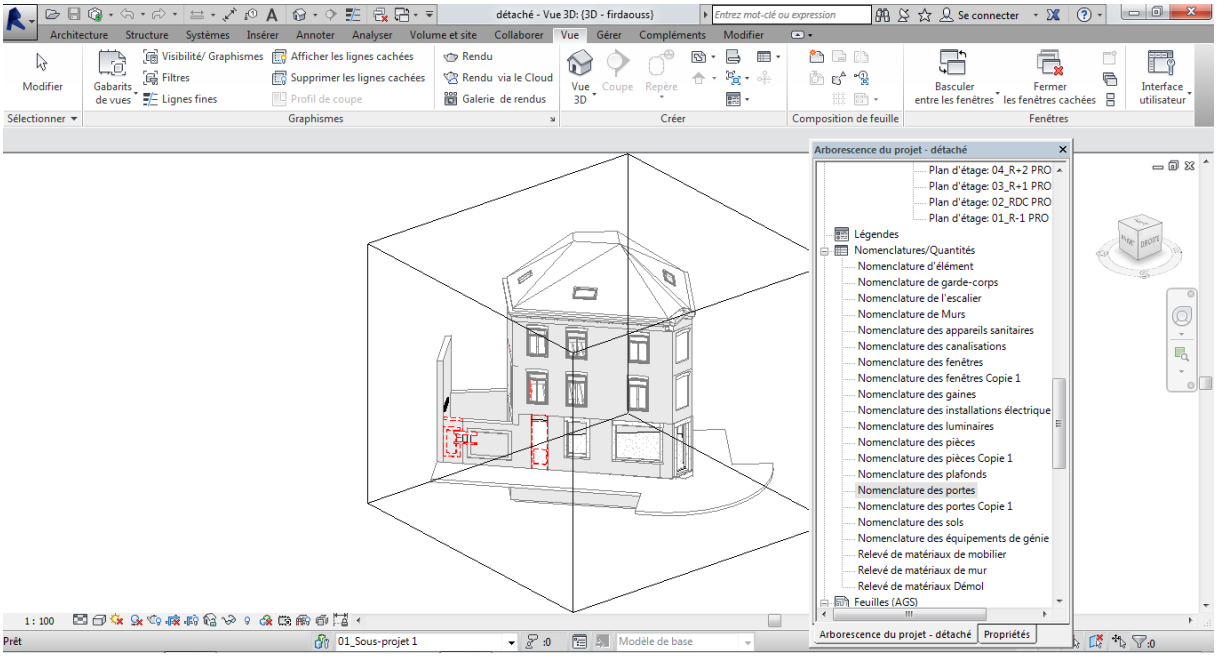


Figure 77. Nomenclatures dans l'arborescence du projet

Et puis en cliquant sur la nomenclature de l'élément affichée sur l'arborescence du projet, une nouvelle fenêtre s'ouvre affichant les différentes caractéristiques qu'on a choisies à l'avance groupées aussi par la façon qu'on leur a choisie. Prenant comme exemple la nomenclature des fenêtres sur la Figure 78 : toutes les fenêtres du projet y sont affichées groupées par étage et chaque fenêtre est caractérisée par sa largeur, hauteur et nombre.

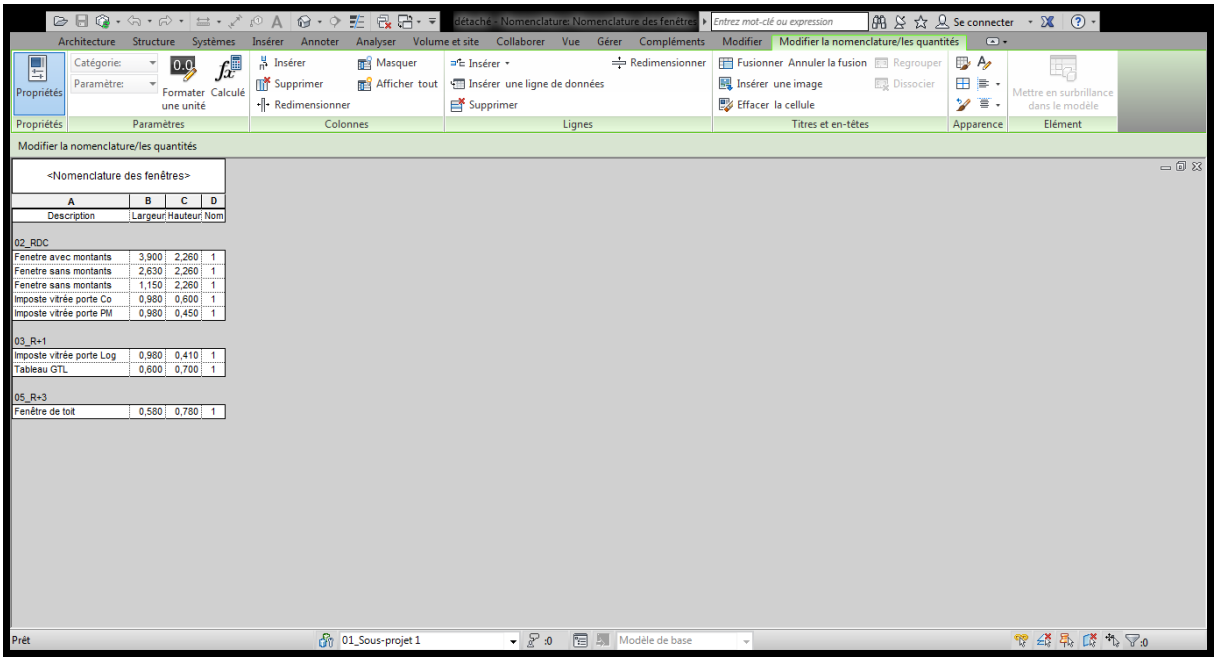


Figure 78. Nomenclature des fenêtres

2.1.2. Dynamo

Dynamo est un éditeur d'algorithmes visuels. Il a été créée essentiellement pour lier Revit à un langage de programmation visuel permettant de créer des programmes robustes attaché à la maquette BIM. Il s'ajoute simplement à REVIT en tant qu'extension comme illustré sur la Figure 79 qui suit.

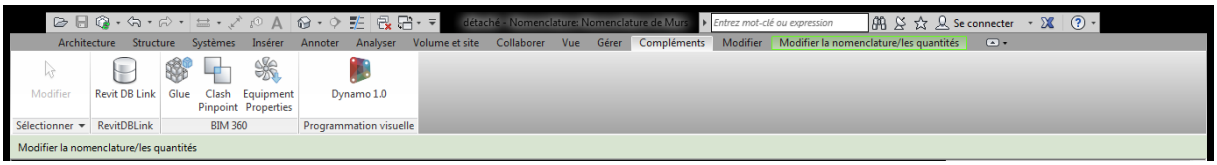


Figure 79. Plug in Dynamo de Revit

On a réalisé avec Dynamo un algorithme qui prend les éléments à filtrer comme données d'entrées et puis en l'exécutant, on obtient un tableau listant tous les éléments de la même catégorie groupés par étage. Les tableaux obtenus peuvent être exportés vers Excel en ajoutant une autre partie spéciale pour l'export à l'algorithme. La Figure 80 montre l'algorithme réalisé appliqué à l'élément Fenêtre.

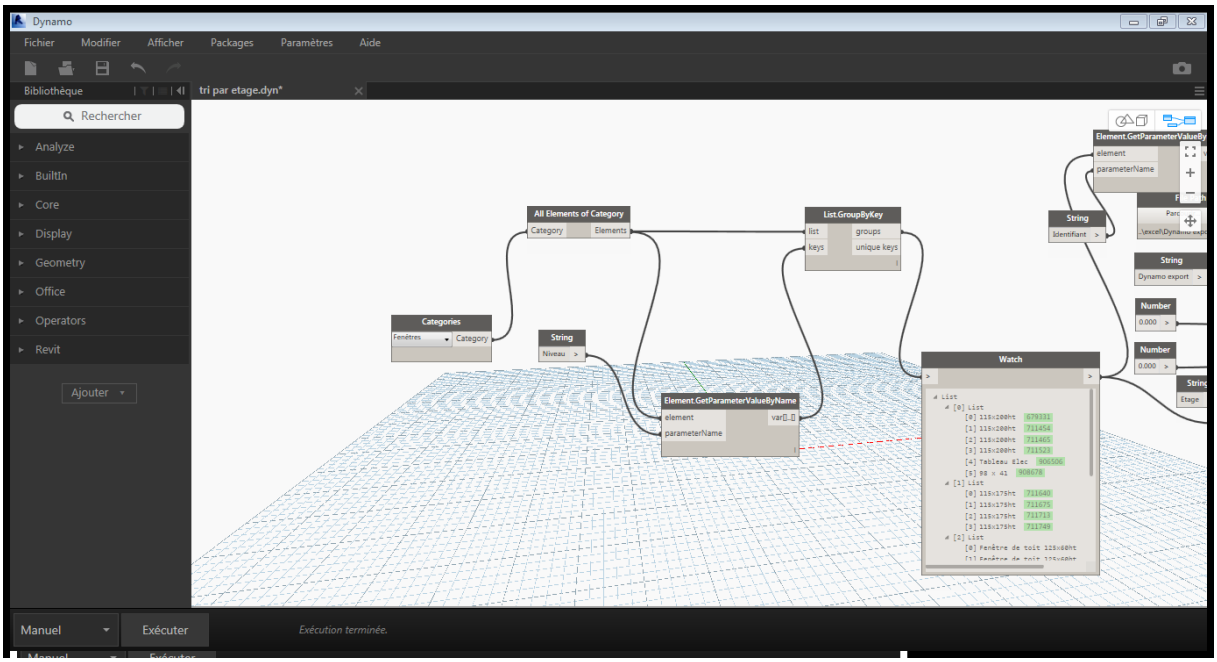


Figure 80. Programme Dynamo pour la prise de quantité des fenêtres

2.1.3. DB Link

Le DB-Link est un plug-in qui s'ajoute à Revit (Figure 81). Il permet d'importer toutes les informations contenues dans la maquette vers une base de donnée, soit de format Access (de la version 2000 jusqu'à la version 2007 d'Access), ou vers tout format de fichier ODBC (Open DataBase Connectivity) qui permet de manipuler une base de données.

L'application de ce plug-in permet d'obtenir les nomenclatures de tous les éléments classées sous forme de fenêtres.

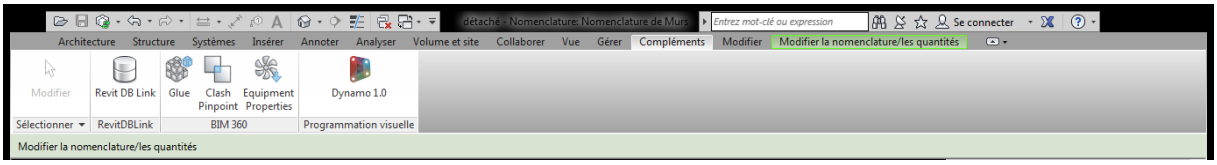


Figure 81. Plug in DB Link de Revit

On a choisi d'exporter les informations vers une base de données de format Access 2007.

Après avoir ouvert le projet et accédé au plug-in DB Link, une fenêtre s'ouvre demandant de créer un fichier pour exporter les informations dedans.

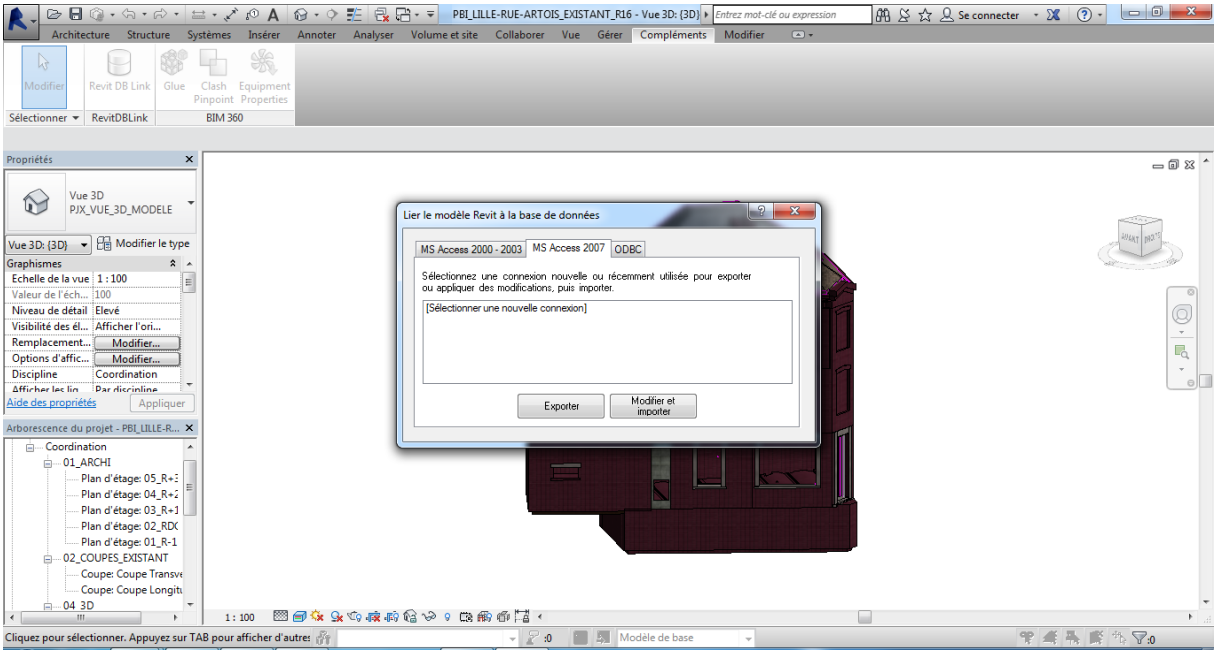


Figure 82. La fenêtre plug in DB Link de Revit

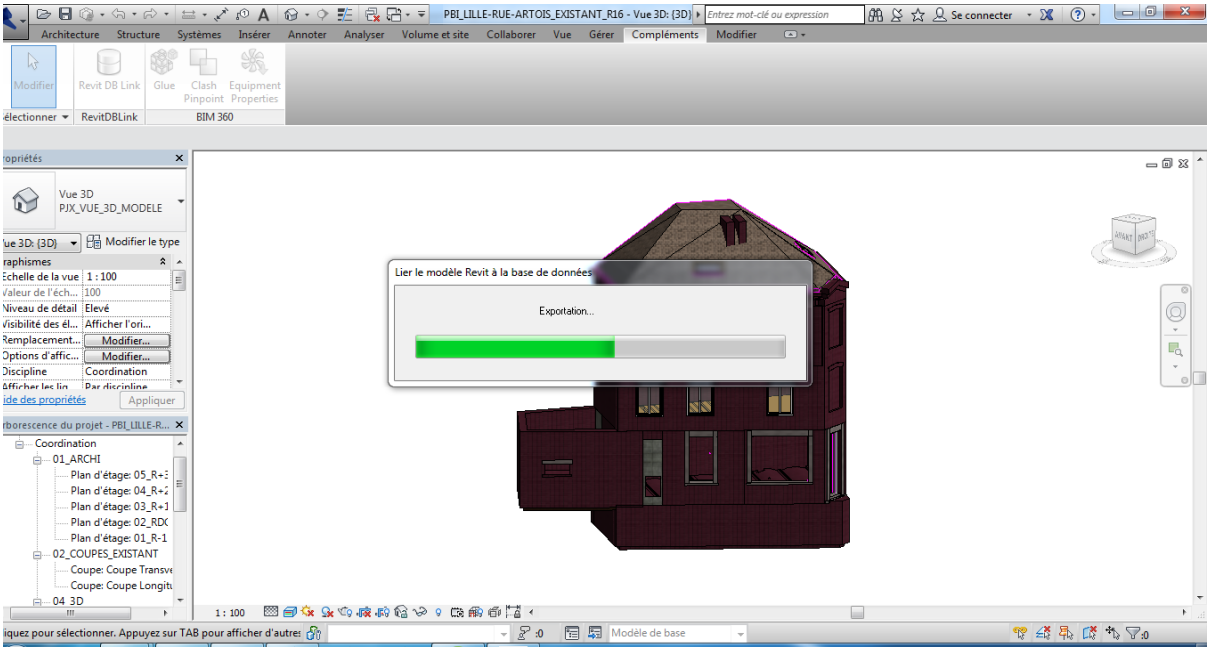


Figure 83. Export des informations de la maquette BIM vers une base de données Access via le plug in DB Link

Après avoir terminé l'export on obtient un fichier Access avec plusieurs fenêtres créées, chacune décrivant une famille d'objets bien précise.

Prenant l'exemple de la fenêtre Doors, elle donne l'ID de chaque porte, l'ID du type de la porte, la phase de création si le projet est un projet de construction sinon la phase de démolition si le projet est un projet de démolition.

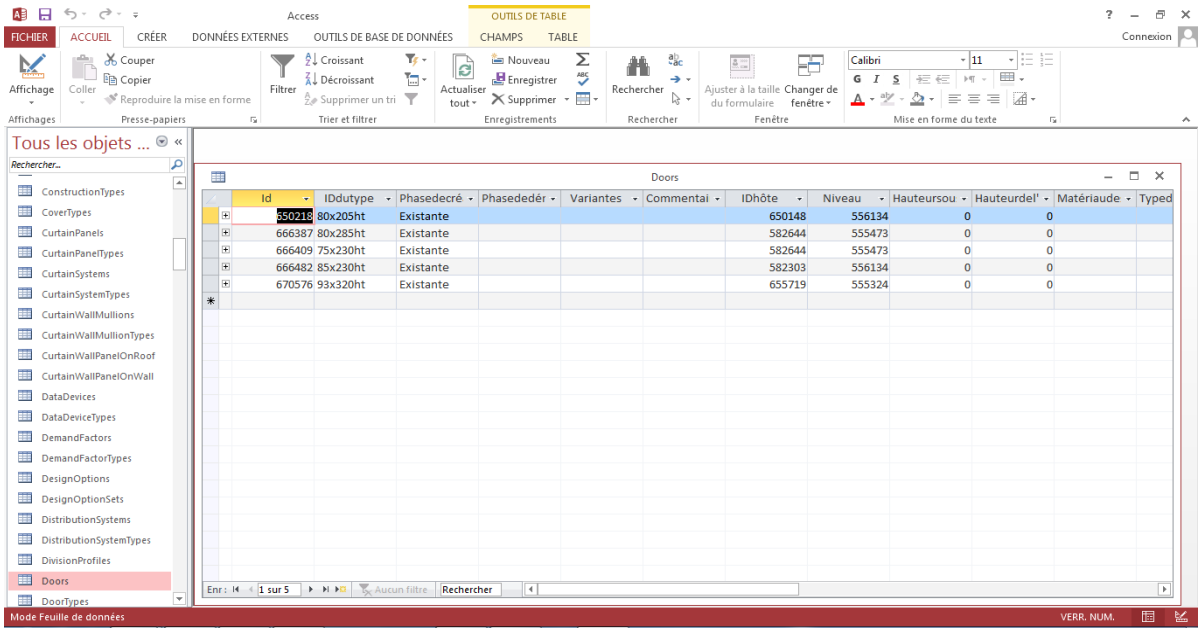


Figure 84. Détails des informations sur les portes du projet dans la base de données créée par DB Link

Ce qui est aussi intéressant à propos du DB Link est qu'il permet la manipulation des informations sur les tables de la base de données et puis en

important la table modifiée vers le projet Revit les modifications sont automatiquement apportées aux éléments concernés.

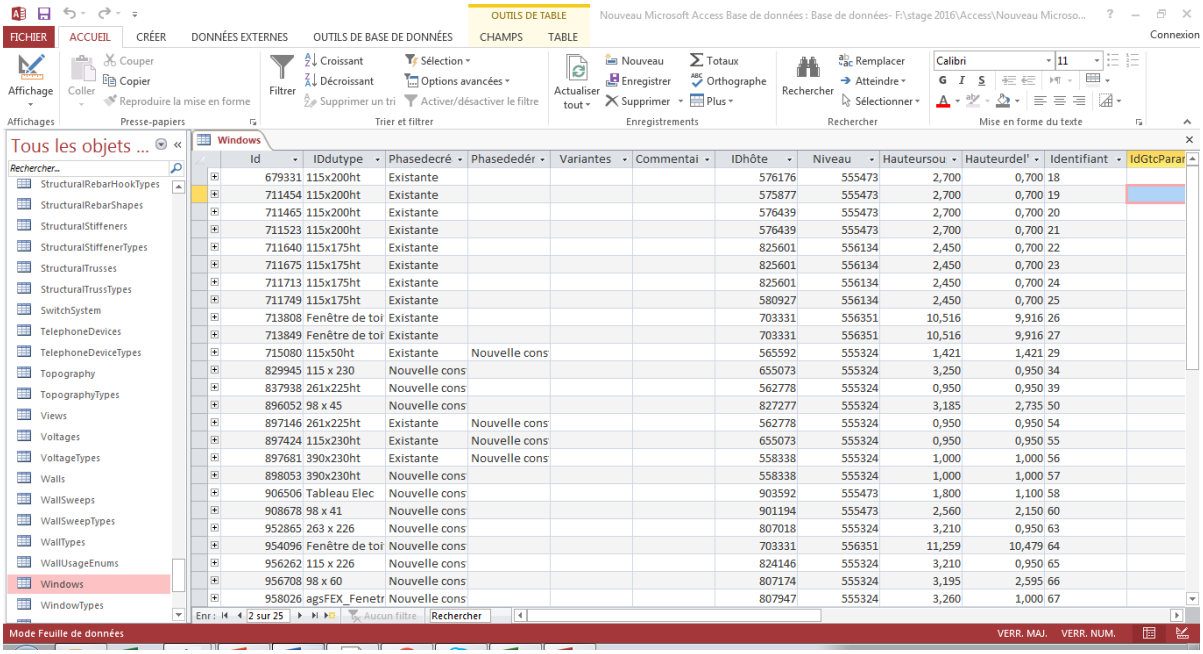


Figure 10. Prise de quantité des fenêtres par le plug in DB Link

2.2. Description du projet

2.2.1. Type de projet

Le projet, cas d'étude, est un projet de réhabilitation d'une maison constituée d'un sous-sol, un rez-de-chaussée et trois étages.

2.2.2. Surfaces

Les surfaces données sont les surfaces des planchers de chaque étage (Tableau 36).

Tableau 36. Pièces de la maison et leur surface

Niveau	Pièces	Surface
RDC	Commerce	40 m²
	Hall PMR	
	L.POUB	
	WC	
R+1	Cuisine	38,74 m²

	Salle à manger		
	Séjour		
R+2	Chambre 1	37,74 m²	
	Chambre 2		
	Circulation		
	Salle de bain		
R+3	Chambre 3	17,81 m²	
	Palier		
Surface totale			**134,30 m²**

2.2.3. Matériaux de construction

Les matériaux qui ont étés utilisés pour la construction de cette maison sont essentiellement :

Maçonnerie, béton et bois. Les poteaux sont en béton, les poutres en bois et les murs en maçonnerie.

2.3. Planning des travaux

Le déroulement des travaux a été prévu selon 16 étapes principales entre « L'ordre de service » et « La livraison et levé de réserves ». Les travaux durent en total 6 mois. Les étapes sont respectivement citées dans le Tableau 37 suivant :

Tableau 37. Répartition des tâches du planning par date de début et de fin et par durée de travaux

N° de tâche	Tâche	Date de début – Date de fin (2016)	Durée de la tâche (jours ouvrables)
1	Ordre de service	04/01 - 04/01	1j
2	Préparation	04/01 – 15/04	75j
3	Gros œuvres	18/04 – 24/05	27j
4	Charpente métallique	06/05 – 09/05	2j
5	Serrurerie	10/05 – 16/05	5j

6	Charpente bois	18/04 – 13/05	20j
7	Couverture	18/04 – 04/05	13j
8	Menuiserie extérieure bois	05/05 – 10/05	4j
9	Menuiseries intérieures	21/04 – 17/05	19j
10	Plâtrerie	22/04 – 12/05	15j
11	Electricité	27/04 – 20/05	18j
12	Plomberie	27/04 – 20/05	18j
13	Chauffage	29/04 – 20/05	16j
14	VMC	28/04 – 23/05	18j
15	Carrelage	02/05 – 27/05	20j
16	Sols souples	13/05 – 27/05	11j
17	Peinture	09/05 – 27/05	15j
18	Livraison et levée des réserves	30/05 – 03/06	5j

2.4. Tâches programmées en Kitting

Dans le deuxième chapitre, en définissant le Kitting pour la construction, il a été spécifié que ce processus ne concernera que les travaux du second œuvre, autrement dit les travaux de finition.

Le tableau suivant résume les tâches que nous avons choisies pour être réalisées à l'aide d'une livraison en Kitting des produits nécessaires à leur réalisation, les tâches ont été prises du planning des travaux et les noms et quantités exacts de produits ont été prélevés de la maquette BIM du projet.

Tâche		Sous-tâche	Sous-sous tâche	Produit	Niveau	Quantité	Date de début de la tâche
°	Libellé						
5	Serrurerie	Ensemble portail et garde-corps	Portail d'entrée de logement	Porte pleine Extérieure PMR Type Malerba	RDC	1	12/05/2016
			Garde-corps	Garde-corps Rue Montaigne	R+1	1	
			Garde-corps	Garde-corps terrasse côté cour	R+1	1	13/05/2016
			Contremarches	Limon à la française	RDC	18	11/05/2016
			Garde-corps	Garde-corps escalier	RDC	1	
8	Menuiserie extérieure bois	Châssis bois	Cadre bois	Fenêtre avec montant	RDC	1	05/05/2016
				Fenêtre sans montant	RDC	2	
				Imposte vitré porte Co	RDC	1	
				Imposte vitré porte PM	RDC	1	
				Imposte vitré porte log	R+1	1	
				Tableau GTL	R+1	1	
				Fenêtre toit	R+3	1	
		Portes d'entrée	Commerce	Porte Occulus vitré Extérieure Type Malerba + imposte vitré	RDC	1	06/05/2016

			Entrée PMR	Porte pleine Extérieure PMR Type Malerba	RDC	1	
			Logement	Porte pleine Extérieure Logement Type Malerba	R+1	1	
9	Menuiserie intérieure	Portes neuves	Porte de distribution neuve	Simple porte alvéolaire	RDC, R+2, R+3	6	17/05/2016
			Porte de distribution isolante de cave	Simple porte pleine cave	R-1	1	
10	Plâtrerie	Cloisons	Cloisons de distribution 72/48mm	Cloison Placostil simple parement 72-48	RDC	18,99m² (x7)	06/0520 16
				Cloison Placostil simple parement 72-48	R+1	4,74 m² (x4)	06/0520 16
				Cloison Placostil simple parement 72-48	R+2	0,39m² (x1)	06/0520 16
				Cloison Placostil simple parement 72-48 Hydro 1F	R+2	12,05 m² (x2)	06/0520 16
			Cloison double chambre 3	Cloison SAA120 Placo® DuoTech® 25	R+3	6,21 m² (x2)	29/04/2016
			Cloison banque cuisine 84/48mm	Cloison 84/48 sous bar	R+1	3,29 m² (x2)	06/05/2016
		Plafonds	R+2	Placo plafond BA 10 suspendu	R+2	39,04 m²	29/04/2016

			R+1	Plafond suspendu + isolant 15	R+1	0,82 m²	02/05/2016
				Placo plafond BA 10 suspendu		37,49 m²	
			RDC	Placo plafond BA 10 suspendu	RDC	1,78 m²	02/05/2016
				Plafond suspendu + isolant 15		38,37m²	05/05/2016
				Plafond suspendu + isolant 10		0,75m²	05/05/2016
12	Plomberie	Appareils sanitaires	Lavabo PMR	Lave-main	RDC	1	19/05/2016
			WC PMR	WC PMR+	RDC	1	
			Lavabo sur colonne	Lavabo sur pied	R+2	1	20/05/2016
			WC	WC PMR+	RDC	1	19/05/2016
				WC à réservoir	R+2	1	
			Bloc évier	1120mmx500mm	R+1	1	20/05/2016
			Baignoire	1600mmx700mm	R+2	1	19/05/2016
16	Sols souples	Revêtement des sols souples	Revêtement sols	Sols souples	R+3	14,41 m²	16/05/2016
				Sols souples	R+2	6,26 m²	

Après avoir spécifié tous les produits qui feront objet d'une livraison en Kitting, ils ont été triés par ordre croissant de date de début de tâche, par la suite les produits qui ont la même date de début ont été groupés.

Les produits ayant la même date de début d'exécution seront les composantes du même kit. La livraison est prévue un jour avant le début de la tâche nécessitant le produit à livrer pour le réceptionner. Pour éviter que la livraison soit dans un jour du weekend, la date de livraison a été déduite automatiquement au travers d'un programme sur Excel : si le jour de début d'exécution de la tâche est un Lundi, la livraison se fait le Vendredi d'avant, sinon, la livraison se fait le jour d'avant. Après réception les produits sont déposés directement dans leurs points d'usage. Le Tableau 38 suivant liste les 11 Kits prévus pour ce chantier, il donne leurs numéros, contenu et date de livraison.

Tableau 38. Contenu des Kits et dates de livraisons

N° Kit	Contenu du Kit	Date de livraison
1	✓ Cloison SAA120 Placo® DuoTech® 25 ✓ placo plafond BA 10 suspendu	28/04/2016
2	✓ placo plafond BA 10 suspendu ✓ plafond suspendu + isolant 15	29/04/2016
3	✓ Fenêtre ✓ Plafond suspendu + isolant 15 ✓ Plafond suspendu + isolant 15	04/05/2016
4	✓ Cloison 84/48 sous bar ✓ Cloison Placostill simple parement 72-48 ✓ Cloison Placostill simple parement 72-48 Hydro 1F ✓ Cloison 84/48 sous bar ✓ Porte Occulus vitré Extérieure Type Malerba + imposte vitré ✓ Porte pleine Extérieure PMR Type Malerba ✓ Porte pleine Extérieure Logement Type Malerba	05/05/2016
5	✓ Limon à la française ✓ Garde-corps escalier	10/05/2016
6	✓ Garde-corps Rue Montaigne ✓ Porte pleine Extérieure PMR Type Malerba	11/05/2016
7	✓ Garde-corps terrasse côté cour	12/05/2016
8	✓ Sols souples	13/05/2016
9	✓ Simple porte alvéolaire ✓ Simple porte pleine cave	16/05/2016

	✓ Porte coupe-feu	
10	✓ Lave-main ✓ WC PMR+ ✓ WC à réservoir ✓ Baignoire	18/05/2016
11	✓ Lavabo sur pied ✓ Bloc évier	19/05/2016

2.5. Planning GANTT de livraisons des Kits via la maquette BIM

Les trois filtres proposés ci-dessus ont été appliqués sur la maquette BIM du projet. Le filtre qui a été choisi est la Nomenclature. Il a été choisi pour la simplicité de modifier les champs filtrés et les options variées de groupement des éléments.

On a fixé les éléments de finition à livrer en Kitting aux : Portes, fenêtres, cloisons, plafonds, revêtement de sols souples et appareils sanitaires. Leurs dates de début de mise en place ont été extraites. Les dates extraites ont été triées par ordre croissant et puis les tâches commençant le même jour ont été groupées, les produits utilisés dans chaque tâche présentent les éléments du même kit qui va être livré la veille de début de ces tâches.

Les travaux de finition seront réalisés en 11 phases. Chaque phase commence par la livraison du kit qui lui correspond. Chaque kit contient les produits nécessaires aux tâches commençant le même jour.

Les 11 kits qui seront livrés selon le planning suivant qui a été modélisé dans MS Project sous forme de diagramme de GANTT dans la Figure 85.

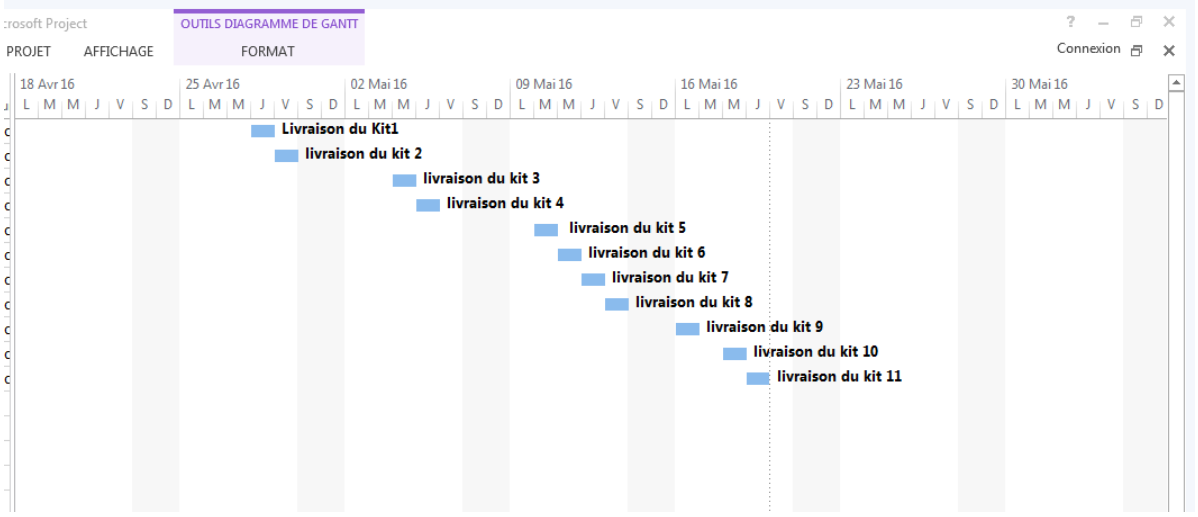


Figure 85. Diagramme GANTT des tâches programmées en Kitting

2.6. Analyse et discussion

2.6.1. Comparaison entre planning manuel et planning basé sur le BIM

A l'issu de cette étude de cas, le planning d'approvisionnement en Kit a été réalisé en se basant sur la maquette BIM et le planning des travaux. Après avoir réalisé le planning grâce au BIM, on peut dresser une comparaison entre cette méthode et la méthode traditionnelle qui n'est pas basée sur le BIM, mais sur les plans 2D et la documentation en papier.

De prime abord la prise de quantité pour la réalisation des plannings d'approvisionnement dans le processus BIM est automatique donc exacte, tandis que la prise de quantité par le processus traditionnel est manuel est donc assujetti à plusieurs erreurs et incertitude. D'ailleurs dans une étude de cas pareille menée par (Whang & Min 2016) l'utilisation du BIM pour la prise des quantités a été prouvée mener à une exactitude de 95% tandis que l'exactitude de la prise de quantités manuelle était de 85% sachant que c'est un bon pourcentage pour les prises de quantité manuelles.

D'autre part dans un processus traditionnel à chaque fois qu'une modification survient sur les plans, une ressaisie manuelle des données est nécessaire pour mettre à jour les plans d'approvisionnement, tandis qu'avec le processus basé sur le BIM les ressaisie ne sont pas nécessaires elles sont automatiquement affectée aux éléments sur le modèle BIM.

Et enfin dans un processus traditionnel les informations sont éparpillées dans plusieurs documents tandis qu'avec le processus basé sur le BIM toutes les informations sont groupées dans un document central qui est la maquette BIM duquel toute autre information peut être déduite.

Le Tableau 39 résume la différence entre les deux processus de réalisation de planning d'approvisionnement avec et sans BIM.

Tableau 39. Comparaison entre un processus de planning sans BIM et avec BIM

Planning sans BIM	Planning avec BIM
Prise de quantité manuelle	Prise de quantité automatique
Ressaisie de données après modification des plans	Modifications automatiques affectées à la maquette BIM
Documents éparpillés	Documents centralisés dans la maquette BIM

2.6.2. Synthèse

Le but de ce cas d'étude était de prouver que la maquette BIM peut être exploitée de façon à valoriser les informations qui y sont renseignées. En se basant sur le modèle BIM une procédure de planification d'un nouvel outil de gestion de la logistique du chantier, le Kitting, a été conçue selon deux grandes étapes. La première consiste à filtrer toutes les tâches contenues dans le planning des travaux relatives à la phase de finition. La seconde étape consiste à classer ces tâches par date de début puis les grouper selon la fréquence fixée pour la livraison des Kits.

Dans le cas d'étude mené dans ce master, la fréquence de livraison des Kits a été fixé à une journée, vu les conditions particulières du projet: la surface du chantier est assez restreinte, environ 50 m² par étage, donc une livraison de grande quantité de produits engendrera un encombrement du chantier, en plus le chantier est localisé en centre-ville donc cette fréquence a été choisie pour recourir à des moyens de transport de taille réduite pour ne pas perturber le trafic dans le quartier.

Le schéma proposé pour utiliser la maquette BIM du projet est assez est simplifié et peut être appliqué pour d'autres usages qui amorceront encore plus l'exploitation de la maquette BIM. Toutefois il faut noter que lors de l'application de ce schéma, quelques difficultés peuvent être rencontrées. Principalement on peut faire face à deux grands obstacles. Le premier est la non exhaustivité des informations fournies dans le modèle BIM du projet, ceci implique le recours à d'autres sources d'information est nécessaire, et donc empêche l'atteinte l'un des buts essentiels du processus du BIM et qui est la centralisation de toutes les informations du projet dans un seul document. Le second obstacle, les plannings de travaux n'utilisent pas tout le temps les mêmes appellations des éléments que celles renseignées sur le modèle BIM ce qui rend la tâche d'association des éléments mentionnés sur le planning et les éléments de la maquette une tâche fastidieuse et qui nécessite un travail manuel d'association entre les deux appellations, chose qui ne va pas dans le sens de l'élimination du dédoublement du travail que vise le BIM.

2.7. Conclusion et Perspectives

2.7.1. Réception des Kits par la maquette BIM

On peut aller plus loin dans l'exploitation de la maquette BIM dans le Kitting pour faire de ce processus un processus basé dans sa plus grande partie sur le BIM en réalisant le suivi des kits et en particulier leur réception sur le chantier. Pour ce faire, on propose une méthode qui consiste à créer un objet appelé Kit, lui affecter les paramètres suivants : identifiant, niveau, pièce, composantes, état de livraison, date de livraison, heure de livraison, commentaires. Les Kits seront ainsi

modélisés comme tous les objets du projet dans la maquette BIM. Le Plug DB-Link générera la nomenclature des Kits, ce qui permettra au conducteur de travaux de travailler directement sur le tableur Access généré pour modifier l'état de livraison des Kits. Ensuite le fichier Access modifié est importé dans la maquette BIM, et les modifications sont automatiquement affectées aux objets Kits modélisés sur la maquette BIM.

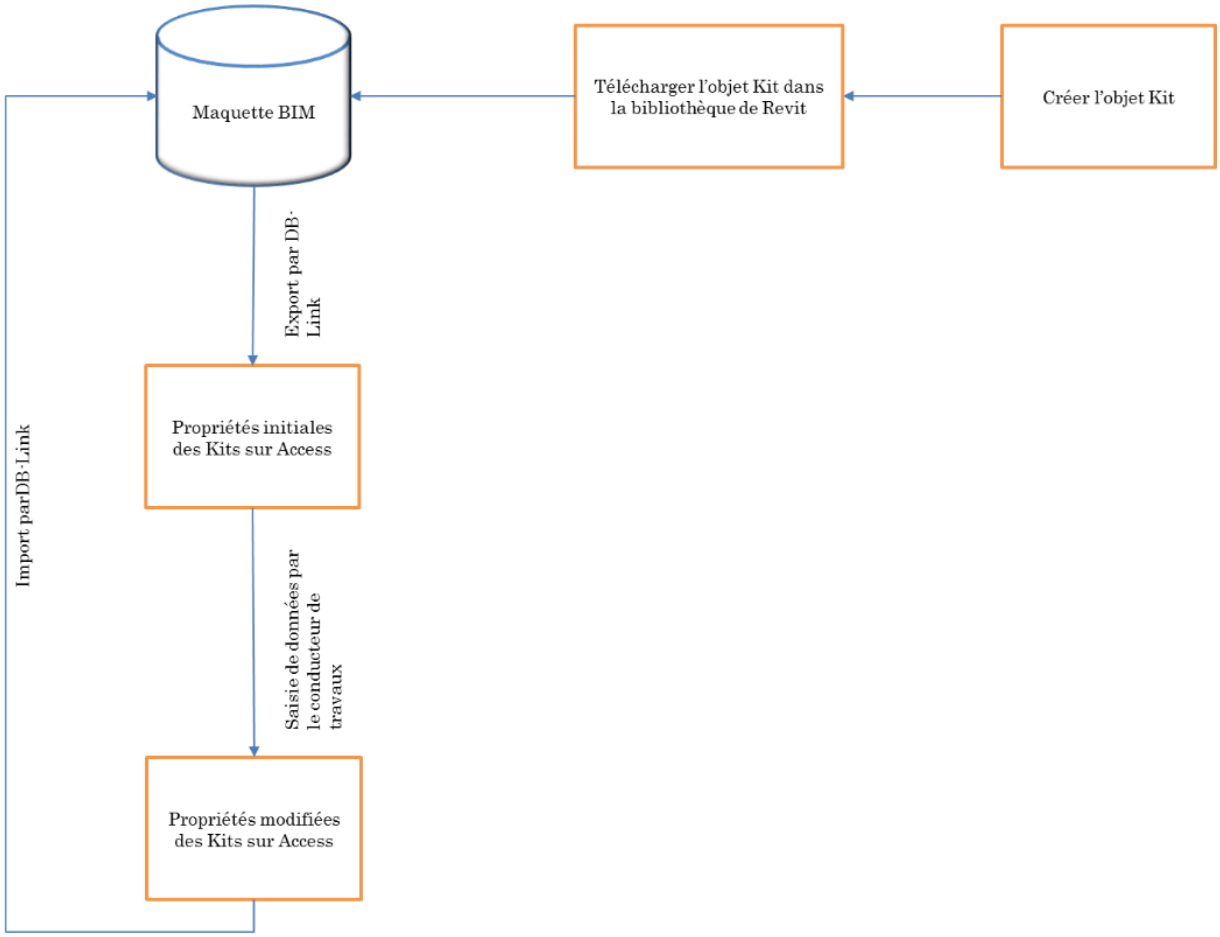


Figure 86. Proposition de réception des Kits par le BIM

La modification des paramètres de livraison citée dans le schéma précédent sera sous forme d'un tableau dont un exemple est donné par le Tableau 40 suivant.

Tableau 40. Interface de réception des Kits sur Access

ID	Niveau	Pièce	Composantes	Date de livraison	Heure de livraison	Etat de livraison	Commentaire
12345	RDC	Cuisine	1 porte 2 fenêtres	21/07/2016	11 : 30	Livré	La porte mal emballée

Cette solution peut présenter un avantage précieux pour les entreprises cherchant une solution personnalisée, peu couteuse et ne nécessitant pas de nouvelles compétences de maitrise de logiciels puisqu'il s'agit de manipulation de tableurs. Et aidera à générer les fiches de chantier de façon plus efficace.

2.7.2. Modélisation 4D des Kits dans la maquette BIM

Dans une étape plus avancée de l'utilisation du processus BIM, un schéma peut être conçu pour générer les Kits automatiquement et ceci en intégrant le planning des travaux dans le modèle BIM.

Dans une première étape le planning sera lié à la maquette BIM par un outil de modélisation 4D. A la suite de cette étape chaque élément de la maquette sera lié à la tâche de sa réalisation et donc aura le temps comme sa quatrième dimension. D'ici on peut déduire clairement que chaque modification dans le planning des travaux sera affectée aux éléments sur la maquette. Par la suite on peut exploiter cette nouvelle dimension qui s'est rajoutée aux éléments pour générer les plannings d'approvisionnement de façon dynamique et qui sont modifiés à chaque fois que le planning des travaux est modifié chose qui est courante dans les projets de construction. En faisant rentrer une fréquence d'approvisionnement, le programme extraira les tous les produits avec leur quantités dont la date début des tâches auxquelles ils sont liés est incluse dans période définie par la fréquence d'approvisionnement. Cette méthode peut être ajustée au besoin de l'application du Kitting pour les travaux de finition en ajoutant un filtre qui ne va prendre en compte que les tâches liées aux travaux de finition.

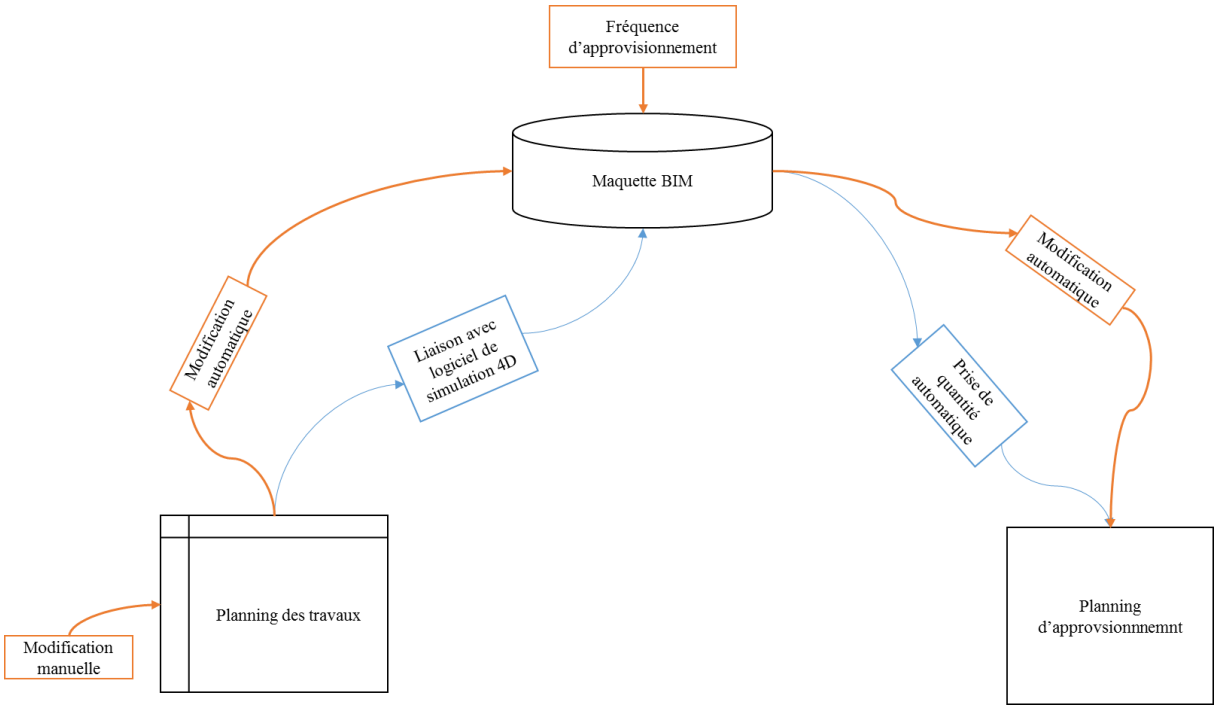


Figure 87. Schéma de réalisation et de modification de planning d'approvisionnement avec une modélisation BIM en 4D

Ce schéma illustré dans la Figure 87 qui sert pour l'approvisionnement général, il peut être modifié pour s'adapter particulièrement au processus du Kitting. En

ajoutant un filtre pour les tâches contenues dans le planning des travaux qui va filtrer uniquement les tâches de finition et donc génèrera le plan d'approvisionnement des produits de finition pour la fréquence qu'on lui avait donné, ce qui n'est autre que le planning d'approvisionnement en Kits.

2.7.3. Conclusion

Le modèle BIM du projet cas d'étude s'avère comme un moyen efficace pour la génération des plannings d'approvisionnement, et particulièrement dans le cas de notre étude : approvisionnement des Kits.

L'application du BIM pour la réalisation du planning est un moyen d'aller vers l'automatisation des tâches dans le domaine de la construction, et reste le meilleur moyen d'atteindre l'automatisation de la construction (Sattineni & Bradford 2011), même si l'automatisation avec le processus proposé ne concerne pas toutes les étapes. Grâce à l'intégration du BIM dans la réalisation du planning, plusieurs tâches manuelles ont été éliminées notamment la prise de quantités qui est automatique et par la suite plus exacte.

Un autre élément qui passe inaperçu lors du travail avec un processus BIM est l'appellation des produits dans le planning qui est différente de celle sur la maquette BIM. Cette différence de langage présente une grande difficulté quand on veut lier le planning à la maquette BIM. Donc l'adoption d'une bonne pratique et qui est de standardiser les noms des produits entre le planning des travaux et la maquette BIM peut améliorer considérablement l'application du BIM dans la génération des plannings.

Le BIM peut être exploité de plusieurs façons en s'adaptant aux besoins de chaque chantier d'où sa force majeure. Il combine entre la modélisation du bâtiment, sa gestion et la coordination de ses travaux. Il est encore nouveau au domaine de la construction, tous ses atouts ne sont pas encore explorés, mais rien que les premiers travaux de recherche prédisent que le BIM est la révolution du domaine de la construction. Il s'ouvre quasiment sur toutes les idées d'innovation dans la gestion des bâtiments et sur le long de leur cycle de vie, il suffit de penser à des solutions simples pour répondre aux besoins des entreprises et à moindre coût.

3. Chantier test#2 : investigation des phases « initiation » et « préparation » du Kitting

3.1. Phase « Alignement »

3.1.1. Rétro planning initial

La Figure 88 présente le planning global de l'opération du Kitting pour le chantier test#2. Les principales phases d'implémentation du Kitting y sont présentes. La phase « Initiation » a commence depuis Janvier 2016 jusqu'à Mars 2016. La phase suivante « préparation » a duré 3 mois et se termine en début Juin 2016. La phase « production » se déroule pendant l'été pour un début des travaux « phase Exécution et suivi » en Septembre 2016.

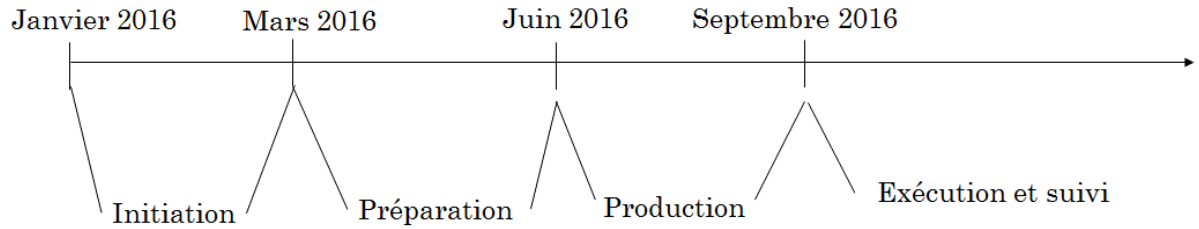


Figure 88. Planning global du Kitting pour le chantier test#2

D'après le retour d'expérience (Etude de cas « Flers » et « Schramm »), le temps de préparation pour le Kitting est de 3 mois. Ceci est en concordance avec le temps fixé pour la phase « préparation » de cette expérimentation.

Un rétro planning est primordial pour le succès de l'opération en Kitting. La raison est que le Kitting implique un approvisionnement maîtrisé, et donc un dérapage du planning peut causer le dysfonctionnement du système. Le Kitting permet de détecter les incohérences du planning des travaux et de s'affranchir des potentiels problèmes sur chantier grâce à une planification détaillée.

On remarque un phénomène de transition des tâches depuis l'étape « construction » vers l'étape de la « conception ». Le Kitting invite à passer du temps dans les détails avant la construction effectif. Ainsi, moins de stress est présent en travaux.

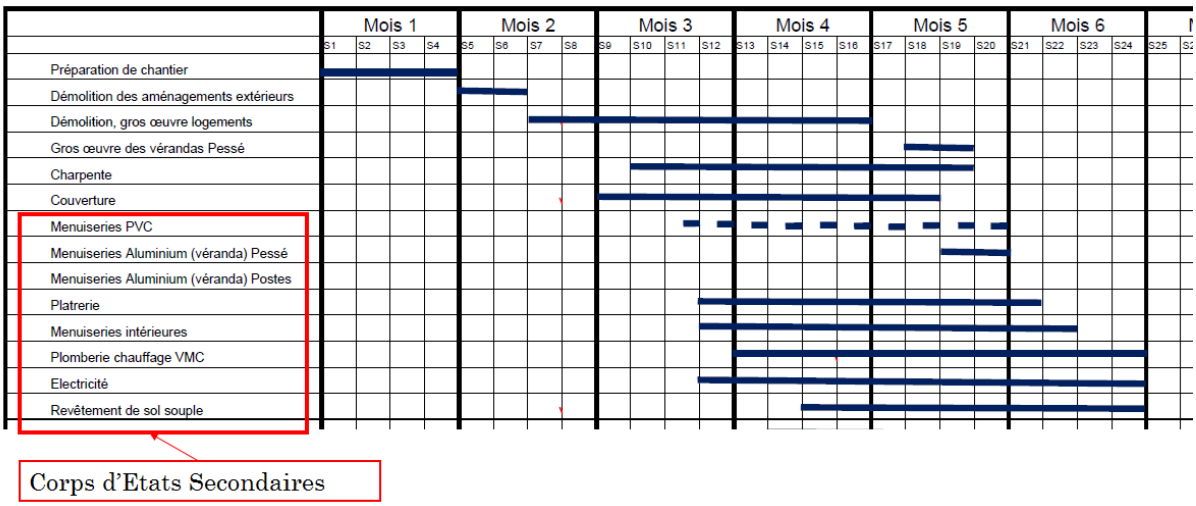


Figure 89. Planning initial des travaux du chantier test#2: gros-œuvre et corps d'états secondaire

La Figure 89 montre le planning des travaux initial. Le planning commence par le gros-œuvre (démolition, réalisation de la charpente et couverture) et ensuite les corps d'états secondaires, CES (menuiserie PVC jusqu'au revêtement de sol souple). Les corps d'états secondaires prennent environ 3 mois et demi de réalisation.

L'entreprise de construction a ensuite suggéré le Kitting comme mode d'organisation pour les corps d'états secondaires. Le planning des CES (avec le Kitting) requiert que 6 semaines (1 mois et demi). Une diminution du temps des travaux de 2 mois.

3.1.2. Implication rapide du logisticien

Le logisticien a été impliqué très tôt lors du projet (avant Mars 2016 en phase gros-œuvre). Ceci a permis de bien préparer le Kitting mais aussi d'avoir son avis/expérience et de prendre en compte ses besoins. Le logisticien avait également un réseau de fournisseur qui connaît le système Kitting. L'entreprise de construction a eu le temps de consulter ses fournisseurs mais aussi d'autres fournisseurs pour une comparaison des prestations.

3.2. Phase « préparation »

3.2.1. Identification des produits pour le Kitting

Les produits assujettis au Kitting ont été identifiés dans cette phase grâce à une segmentation des produits. Pour plus de détails (voir Figure 43) :

Tableau 41. Typologie des produits pour le chantier test #2

Type de produits	Nomenclature bibliographique	Description	Exemple

A	MTO	Fabrication sur mesure	Châssis / tableau électrique/ préfabriqué
B	MTO	Produits standards avec préparation sur mesure	Plaques de BA13 prédécoupées
C	MTS	Produits standards sans préparation.	Plinthes / faïence
D	MTS	Consommables	Vis / joint, clous

Le Tableau 41 résume la typologie de produits établis pour le chantier test#2. 4 types de produits ont été identifiés. Le type « A » concerne les MTO (Make-to-order) qui sont fabriqués sur mesure. Par exemple, les châssis des fenêtres et les tableaux électriques. Le type « B » inclus les produits standards avec préparation sur mesure comme les plaques de BA13 prédécoupés. Le type « C » est catégorisé comme du MTS (Make-to-Stock) sans préparation préalables (plinthes/faïences). Enfin, la catégorie D concerne les MTS consommables (Vis, joint, etc.).

Le Tableau 42 présente un extrait des détails sur la typologie des produits en Kitting réalisée pour le chantier test#2. Les détails concernent la référence sur le CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières), le type de produit, la tâche et la sous-tâche. Dans le tableau, l'exemple de la menuiserie extérieure PVC est fourni.

Tableau 42. Extrait des détails des produits en Kitting pour le chantier test#2

CCTP	Type		Tâche	Sous-tâche
LOT 6 - 2.10	A	MTO	Menuiseries extérieures PVC	Achat menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.10	A	MTO	Menuiseries extérieures PVC	Achat menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.10	A	MTO	Menuiseries extérieures PVC	Achat menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.10	A	MTO	Menuiseries extérieures PVC	Achat menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.10	A	MTO	Menuiseries extérieures PVC	Achat menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.4	C	MTS	Menuiseries extérieures PVC	Fixation menuiseries extérieures PVC sur support brique
LOT 6 - 2.4	C	MTS	Menuiseries extérieures PVC	Fixation menuiseries extérieures PVC sur support bois
LOT 6 - 2.3	C	MTS	Menuiseries extérieures PVC	Pose menuiseries extérieures PVC
LOT 6 - 2.9	C	MTS	Menuiseries extérieures PVC	Pose menuiseries extérieures PVC

Le Tableau 43 présente les lots des CES et leur produits correspondants. La lettre « K » signifie que le produit est assujetti au Kitting.

Tableau 43. Lots et produits correspondants: Kitting et Sans Kitting

FAIENCE		**PLATRERIE**	
	Primaire d'étanchéité	*R+2*	
K	Pose faïence	**K**	Pose ossature plafond R+2
	Joint	**K**	Pose doublage R+2
		K	Pose Isolant + BA13 plafond / rampants R+2
CHARPENTE		**K**	Pose ossature et BA13 placard R+2
	Dépose du brisis	**K**	Ebrasement velux
	Chevêtre pour fenêtre de toit	**K**	Pose BA13 collé R+2

	Réfection du brisis		Enduit R+2
	Réfection de la lucarne	K	Habillage de garde-corps palier
	Réfection du chéneau	*R+1*	
	Fermeture trémie cheminée	K	Pose doublage R+1
	Fermeture trémie escalier	K	Pose ossature plafond chambre 1 R+1
	Ouverture de trémie pour monte matériaux R+2/R+1	K	Pose BA13 collé et plafond chambre 1 au R+1
	Ouverture de trémie R+2	K	Pose ossature et BA13 placard R+2
	Ouverture de trémie R+1	K	Pose BA13 collé SDB/WC/DGT
COUVERTURE		K	Pose ossature plafond + BA13 R1 SDB/WC/DGT
		K	Pose ossature cloison + bâti porte R+1 SDB/WC/DGT
	Pose échafaudage		Enduit R+1
	Dépose de la couverture	*RDC*	
	Couverture cis accessoires	K	Pose doublage RDC
	Chéneau	K	Pose ossature + BA 13 plafond cuisine
	Fenêtre de toit	K	Doublage BA13 cuisine
	Lucarne	K	Pose ossature + BA13 plafond salon
	Descente EP + Dauphin fonte	K	Doublage BA13 collé salon
MENUISERIES ALUMINIUM			Enduit RDC
		MENUISERIES BOIS	
K	Porte extérieure		
	Barre d'appui	K	Pose des portes
SERRURERIE		K	Plinthes
		K	Habillage tableau électrique
	Escalier hélicoïdal RDC	K	Trappe accès groupe VMC
	Escalier hélicoïdal R+1	**PLOMBERIE - CVC**	
	Garde-corps palier		
MENUISERIES PVC			Liaison PE depuis comptage
			Fourreaux EF/ECS en dalle RDC
K	Pose des 7 châssis PVC	K	Passage PE + Distribution cuivre EF
DIVERS		K	Passage PE + Distribution cuivre ECS
		K	Réseau vertical d'évacuation EU/EV
K	Gaine d'habillage	K	Vidanges
	Enduit sur gaine	K	Evier
ELECTRICITE		K	Lavabo
		K	WC
	Fourreaux en dalle RDC	K	Baignoire
K	Distribution Elec./Tel/TV		Distribution gaz depuis coffret
K	GTL	K	Chaudière cis raccordements
K	Appareillage	K	Ventouse verticale cis percement
K	Antenne + raccordement	K	Réseaux de chauffage
		K	Radiateurs
		K	Régulation

	K	VMC

Lors de la sélection des produits en Kitting, une attention particulière devrait être mise sur les produits de types MTO. En effet, ce type de produit un délai d'approvisionnement (*Lead Time)* assez important vu que ces produits requièrent un certain niveau de personnalisation dans la fabrication. Par exemple, les châssis requièrent un temps de fabrication de 4 à 6 semaines. La commande devrait ainsi ^être réalisée avant minimum 8 semaines des travaux. Le Kitting permet de détecter les produits qui requièrent une attention parti. Pour une planification maitrisée.

Pour notre cas, 72 tâches sont à réaliser pour les CES. 44 tâches sont intégrées dans le Kitting. Ce qui fait un ratio de 61% des tâches CES en Kitting.

3.2.2. Planning Kitting

Le Planning complet CES du chantier test se trouve dans « Annexe 2: Planning chantier test#2 ». Les travaux en mode Kitting se déroule sur 6 semaines comparé à 2 mois et demie en mode traditionnel (voir Figure 89).

La réalisation de ce planning requiert un savoir-faire dans les CES pour pouvoir établir les enclenchements des tâches. Dans le planning figure également le nombre de personnes nécessaires pour réaliser chacune des tâches. Notons par ailleurs que ce planning est réalisé dans la phase « préparation » et qu'un planning d'approvisionnement des Kits est également à établir par la suite en parfaite synchronisation avec le planning des travaux en annexe. Ce planning d'approvisionnement est un parmi les livrables de la phase « fabrication » (prochaine phase du Kitting après « préparation).

3.3. Considération pour la mise en place du Kitting

3.3.2. Partie SAV et définition des responsabilités

L'objectif de cette partie est d'identifier les points d'attention en mode Kitting par rapport au Service Après-Vente (SAV). Les résultats de cette partie proviennent d'une interview réalisée avec le responsable SAV de l'entreprise de construction.

En moyenne, le SAV chez Rabot Dutilleul Construction, c'est environ 260 expertises par an. Pour chaque chantier, 0.5% du chiffre d'affaire est dédié au SAV.

Disposer de l'historique du Kit permet d'identifier plus facilement la personne responsable en cas d'incident. En SAV, c'est la pose généralement qui pose problème et rarement le matériau en soi-même (la fourniture).

- <u>Corps d'états :</u>

Les corps d'états les plus assujettis au SAV sont :

- La menuiserie extérieure (environ 30% du SAV) à cause de la pose qui est mal faite, des infiltrations, etc.
- Ensuite, on trouve l'étanchéité (pas inclus dans le Kitting pour ce projet de recherche)
- et la menuiserie bois (problèmes de fixation).

Pour la faïence, carrelage et parquet : le principal souci est le décollement, cependant, cet incident est très rare. Pour la serrurerie, en général, l'entreprise n'a pas connu de réclamations si c'est la fourniture en elle-même. Pour la plâtrerie, en général pas de problème de SAV particulier (Si existe, ce serait en phase de Parfait achèvement). Enfin, les SAV liés aux plinthes sont rares et sans risque financier conséquent.

Alors que les problèmes en lot électricité sont rares, les conséquences d'un incident (exemple : incendie) sont très lourdes.

- **Les garanties :**

La garantie ne dépend pas du corps d'état mais de la nature du dommage :

- La garantie 10 ans après la réception de l'ouvrage : elle concerne la dégradation de tous les éléments qui entravent l'utilisation fonctionnelle de l'ouvrage : infiltration eau, air, grosse fissure (petites non incluses), soulèvement du parquet, décollement faïence, etc. ou bien des dégradations qui présentent un risque pour l'utilisateur.
- La garantie biennale obligatoire ou de bon fonctionnement sur tout le matériel électrique et produits posés qui servent au quotidien.

- **Fourniture/pose ou sous-traitance :**

Il est très important d'avoir une traçabilité pour chaque logement (ou groupe de logements) des fournitures et poses et de disposer à chaque fois de l'historique des commandes et attestations d'assurances pour les poseurs car 80 % des convocations pour les réunions d'expertise concernent les poses réalisés par les sous-traitants.

La sous-traitance génère plus de complication au niveau de la SAV car il faut chercher à chaque fois le responsable (qui a fait quoi) et l'entreprise de construction doit se substituer au sous-traitant et supporter sa franchise si le sous-traitant n'existe plus (faillite par exemple). Ainsi, le choix et la garantie financière d'un sous-traitant est primordiale, or le constat est que les entreprises de construction (en général) partent dans la course a qui fait le moins cher pour un travail qui n'est pas forcément contrôlé.

Un point d'attention est donc nécessaire pour les entreprises qui doivent fournir les garanties en mode Kitting. Exemple : Kitting du lot électricité : fourniture et étude par un sous-traitant et pose par Rabot Dutilleul Construction.

Dans ce cas de figure, une claire définition des responsabilités entre Rabot Dutilleul Construction et le sous-traitant est nécessaire.

- **Résumé**

En résumé, c'est la pose qui pose problème en cas de dommage après-vente.

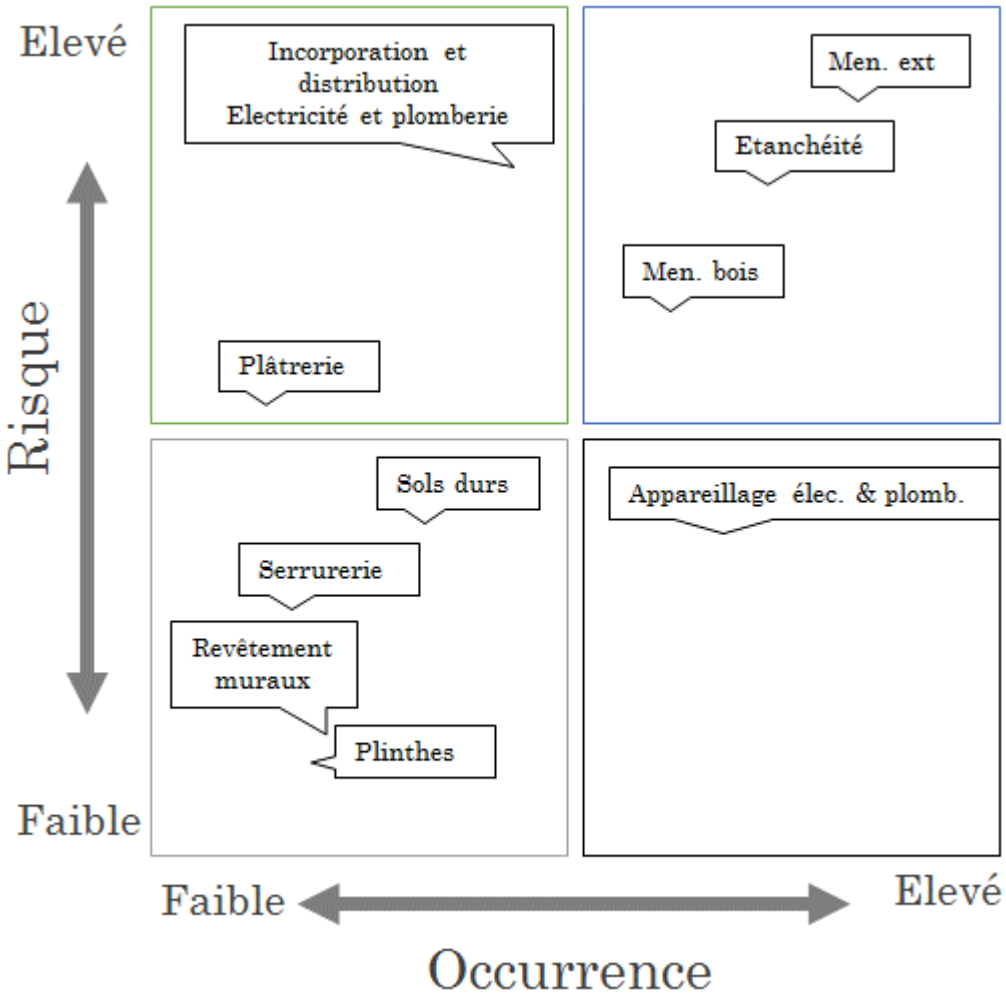


Figure 90. Matrice Risque – Occurrence des CES suivant le SAV

La Figure 90 montre la matrice « Risque – Occurrence » des CES suivant le SAV. La matrice est composée de 4 compartiments. Le risque peut être soit faible ou bien élevée (cas d'un incendie ou bien perte financière importante). L'occurrence peut être également soit faible (le SAV du lot en question est rare) ou bien élevée (des problèmes sont récurrents). On voit que les précautions concernent la menuiserie extérieure et la menuiserie bois pour une opération Kitting en CES (Etanchéité étant hors Kitting).

3.3.3. Analyse transversale du Kitting

- **Service achat:**

La structure du Kitting requiert l'achat anticipé des produits et un passage (si nécessaire) par un centre de consolidation. Une logique de fourniture/pose est nécessaire pour avancer les frais de la fourniture pour les fournisseurs avant la pose/installation (construction) effective.

- **Service CES (corps d'états secondaires)**

A l'heure actuelle, le Kitting concerne une partie des corps d'états architecturaux et les lots techniques. Le service de Etude CES connaîtra un changement au niveau de la préparation des CES.

- **Service EDP**

Des tâches sont à avancer en termes d'appel d'offre. Le service EDP a besoin d'une bibliothèque de prix pour pouvoir quantifier les produits à mettre en Kitting (et donc donner un prix fourniture/pose au lieu d'un prix global). A l'heure actuelle, les CES sont sous-traités par l'EDP.

- **Service méthode**

Le Kitting requiert un planning détaillé des corps d'états architecturaux/techniques. De plus, un planning d'approvisionnement est également nécessaire.

4. Chantier test#3 : Kitting sur du neuf

4.1. Phase « Alignement »

Le projet comporte 3 bâtiments : « A, B et C ». Le bâtiment C sera réalisé avec une livraison en mode traditionnelle et es bâtiments A et B seront réalisés en mode Kitting. La séquence des travaux est comme suit : C -> B -> A.

Pour ce projet, la décision de réaliser le Kitting était prise courant la fin du gros-œuvre. Cela dit, les sous-traitants pour les CES étaient déjà sélectionnés. En conséquence, la mise en place du Kitting comprenait des variantes fixées d'avance (comme les sous-traitants et le choix des produits à mettre en Kitting régi par l'avancement des travaux).

4.2. Phase « préparation »

4.2.1. Zone de stockage

La Figure 91 montre le Plan d'Installation du Chantier (PIC) en phase Corps d'Etat Secondaire (CES). Un PIC a été réalisé en phase gros-œuvre : la différence

est que la zone de stockage temporaire était dédiée à la préfabrication en phase gros-œuvre. Dans notre étude sur le Kitting, on s'intéresse à la phase CES (Vu qu'on applique le Kitting au cours de cette phase).

Dans un PIC, on retrouve : la (les) zone (s) de stockage (s), la (les) zone (s) de préfabrication, l'emplacement de la base vie et de la grue. On peut également identifier l'emplacement des camions qui viennent desservir le chantier.

La mise en place d'un PIC se doit d'être en concordance avec l'approvisionnement en mode Kitting. Le processus de livraison des Kits sur chantier pour le chantier test#3 est prévu comme suit :

1- La livraison se fait par des camions à l'entrée du chantier.
2- Les Kits sont posés dans une zone de stockage temporaire.
3- Les Kits sont ensuite déplacés à l'intérieur de chaque logement.

De ce fait, on a énoncé une liste de prérequis pour la mise en place du PIC pour le Kitting en immeuble neuf:

- Une zone de stockage temporaire proche de la desserte des camions.
- Un moyen de levage disponible et opérationnel pour déplacer les Kits.

Par ailleurs, la mise à disposition d'un ascenseur peut également être envisagée pour les produits qui peuvent s'y insérer. En revanche, la mise à disposition de l'ascenseur se fait sous réserve d'avoir de l'électricité et de commander l'ascenseur bien en amont. En effet, l'ascenseur est considéré comme un produit « MTO » (Make-to-order) avec un long délai d'approvisionnement *(lead time).*

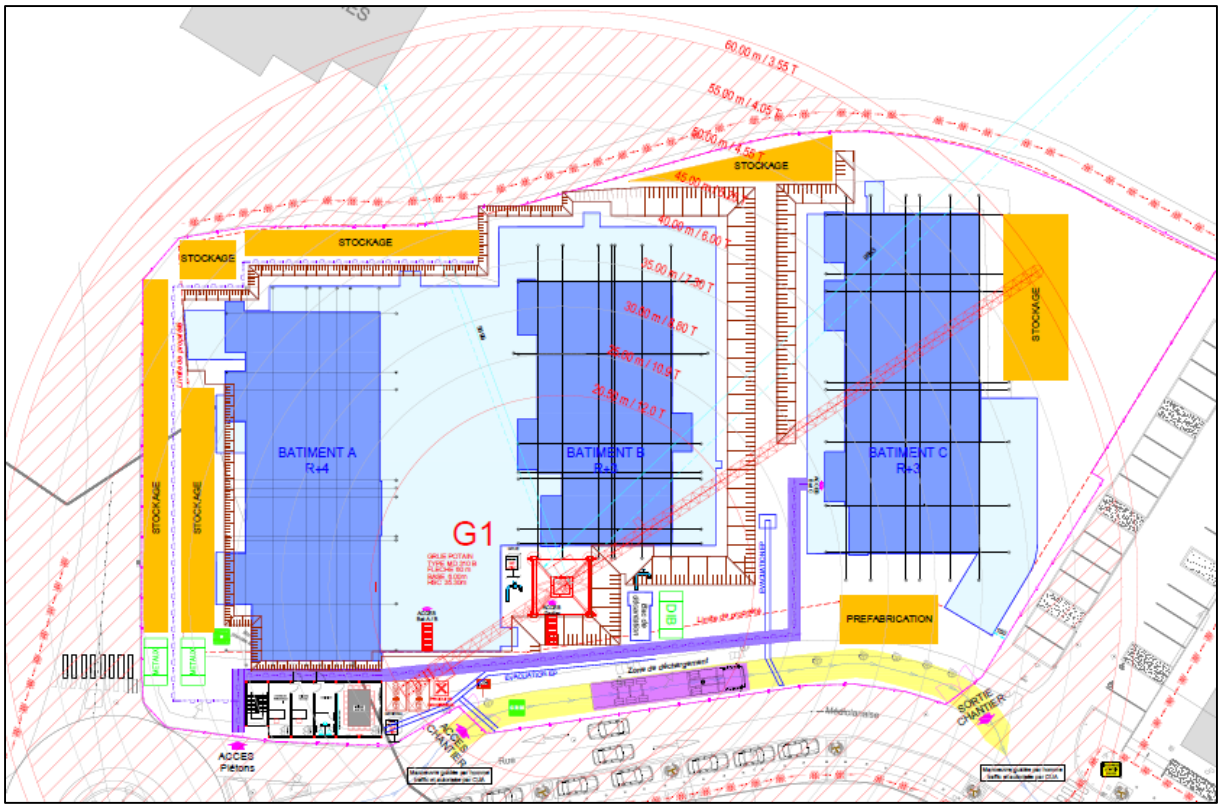


Figure 91. Plan d'installation chantier test #3 en phase CES

4.2.2. Identification des lots et des produits en Kitting

Les lots assujettis au Kitting en CES concernent :

- La menuiserie intérieure.
- La plomberie.

Chaque lot comporte une multitude de produits qui sont utilisés tout au long de l'acte de construire (en phase gros-œuvre et en CES). La prochaine étape était de déterminer les produits potentiels pour le Kitting. Ce travail a été mené en collaboration avec les sous-traitants.

La liste complète des produits en Kitting est représentée dans le Tableau 44.

Tableau 44. Liste complète des produits en Kitting

ART.	DESIGNATION	U	Qté
	MENUISERIES INTERIEURES		
8.3.1	BLOCS PORTES		
8.3.1.1	Portes palières appartements compris seuil à la suisse, habillage et suivant devis descriptif		
	* B.Porte de 93 x 2,04 Ht. cpris quincailleries - huisseries à peindre portes laqué	**U**	**55**
	Cadres moulurés		
8.3.1.2	Bloc-portes accès cage escaliers		
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,20 cpris plaque de protection alu sur 1 face Ht 0,30		
	. Bloc-portes niveau sous-sol	**U**	**3**
	. Bloc-portes accès étages	**U**	**13**
	. Bloc-portes accès sous sol, Bât A	**U**	**1**
	. Bloc-portes accès sous sol, Bât B et C - Porte stratifiée	**U**	**2**
	Bloc-portes accès SAS parkings		
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,20		
	. Bloc-portes accès SAS depuis parking	**U**	**3**
	. Bloc-portes accès SAS depuis hall ascenseur	**U**	**3**
	- Bloc-portes accès SAS depuis parking de 1,10 pp sur VBA de 0,20	**U**	**1**
	Bloc-portes accès Locaux vélos / poussettes - Gache electrique pour lecteur de badge		
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,20 - Porte stratifiée	**U**	**2**
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,18 - Porte stratifiée	**U**	**1**
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur Cloison de 0,10 - Porte stratifiée	**U**	**1**
	Bloc-portes accès Locaux Entretien		
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,15	**U**	**1**
	- Bloc-portes de 0,90 pp sur VBA de 0,20 - Porte stratifiée	**U**	**1**
	Bloc-portes accès Locaux technique sous sol sur VBA de 0,20		

	- Bloc-portes à 1 vantail de 0,90 pp sur VBA de 0,20 (sas local 44)	U	1
	- Bloc-portes à 1 vantail de 0,90 pp sur VBA de 0,20 (local 44)	U	1
	Bloc-portes accès Dgt Locaux RDC, de 0,90 pp sur VBA de 0,20 - Porte stratifiée	U	1
	PV pour compatibilité avec cylindre A2P2* des portes palières	U	8
8.3.1.3	Bloc-portes de distribution cpris quincailleries et suivant devis descriptif finition laqué		
	* Bloc-portes de 83 de passage		
	- Sur VBA de 200mm	U	11
	- Sur cloisons de 70mm	U	339
	- Sur cloisons de 50mm	U	3
	* Bloc-portes "tiercé" de 80+30 de passage (porte vitrée, accès séjours)		
	- Sur cloisons de 70mm	U	48
	- Sur cloisons de 50mm	U	7
	* Plus value pour bec de canes à condamnations (SDB, SDE, WC)	U	139
	Bloc-portes accès sanitaires Loge service de 0,83 pp sur Cloison de 0,07	U	1
8.3.2.1	Fourniture et Pose de façades de gaines tte hauteur avec imposte fixe finition à peindre		
	- Ensemble 3,65 de large		
	(EDF de 0,73 / SG de 0,30 / FIBRE de 0,40 / PTT de 0,40 / EFS de 0,50 / CHAUFFAGE de 1,32)	Ens	1
	- Ensemble 3,59 de large		
	(EDF de 0,73 / SG de 0,30 / FIBRE de 0,40 / PTT de 0,40 / EFS de 0,50 / CHAUFFAGE de 1,26)	Ens	4
	- Ensemble 3,52 de large		
	(EDF de 0,73 / SG de 0,30 / FIBRE de 0,40 / PTT de 0,40 / EFS de 0,50 / CHAUFFAGE de 1,19)	Ens	1
	- Ensemble 2,96 de large		
	(EDF de 0,73 / SG de 0,30 / FIBRE de 0,40 / PTT de 0,40 / EFS de 0,50 / CHAUFFAGE de 0,63)	Ens	7
		M2	99
	Façade gaines sous station sur circulations communes tte hauteur		
	- Ensemble 0,90 de large	U	4
	- Ensemble 0,80 / 0,85 de large	U	15
	- Ensemble 0,75 de large	U	13
	- Ensemble 0,70 de large	U	23
		M2	99

8.3.3.2	Placards coulissants toute hauteur et suivant devis descriptif			
	(Façade miroir avec aménagement intérieur: Tablette Horizontale+Penderie avec séparatif pour L>1,20) -			
8.3.3.3	zone Entrée logements			
	- Profondeur 0,70m environ			
	* Placard largeur de 1,46	**U**	**4**	
	* Placard largeur de 1,40	**U**	**7**	
	* Placard largeur de 1,36	**U**	**8**	
	* Placard largeur de 1,34	**U**	**12**	
	* Placard largeur de 1,27	**U**	**5**	
	* Placard largeur de 1,25 / 1,24	**U**	**10**	
	* Placard largeur de 1,20	**U**	**4**	
	* Placard largeur de 1,16	**U**	**5**	
	* Aménagement de placard L>1,20	**U**	**50**	
	* Aménagement de placard L<1,20	**U**	**5**	
	(Façade mélaminé avec aménagement intérieur: 1 tablette horizontale+penderie+rangement 5 tablettes+séparatif) - zone Chambres			
	- Profondeur 0,70m environ			
	* Placard largeur de 1,80	**U**	**8**	
	* Placard largeur de 1,78	**U**	**2**	
	* Placard largeur de 1,50	**U**	**4**	
	* Placard largeur de 1,37	**U**	**4**	
	* Placard largeur de 1,35	**U**	**4**	
	* Placard largeur de 1,24 / 1,23	**U**	**16**	
	* Placard largeur de 1,20	**U**	**36**	
	- Profondeurs variables 0,60+0,30m environ contre GT			
	* Placard largeur de 1,90	**U**	**21**	
	* Placard largeur de 1,66	**U**	**8**	
	* Placard largeur de 1,57	**U**	**3**	
	* Aménagement de placard L>1,70	**U**	**31**	
	* Aménagement de placard L<1,70	**U**	**75**	
8.3.3.4	Equipement dressing tablettes sur crémaillères et penderie			
	* Suivant logement type A02/A12/A22/A32 et C02/C12/C22/C32 Larg 1,21	**Ens**	**8**	
	* Suivant logement type A15/A25 et C15/C25/C35 Larg 1,20	**Ens**	**5**	
	* Suivant logement type A35/A45 Larg 1,03	**Ens**	**2**	

8.3.3.6	Plinthes bois en medium de 70 x 10 mm à peindre		
	- Parties courantes (Zone pièces recevant du parquets)	**ML**	**3373**
	DESCRIPTION DES OUVRAGES : PARTIE CHAUFFAGE VMC		
	Emetteurs de chaleur	**U**	**257**
	Type panneaux acier	**U**	**74**
	Type Sèche serviette		
	Robinneterie des émetteurs statiques	**U**	**110**
	Tête simple sur chaque radiateur	**U**	**147**
	Tête thermostatique	**U**	**257**
	Module de réglage	**U**	**74**
	Robinet thermostatique sur sèche serviette		
	VMC logts	**u**	**203**
	Bouches d'extraction hygro		
	Appareils sanitaires	u	55
	Evier	u	55,00
	Douche et robinetterie	u	31,00
	Meuble simple vasque	u	43
	Meuble double vasque	u	55
	Lave mains	u	1
	Lavabo loge	u	74,00
	WC	u	3
	Vidoir	**u**	
	Modules CIC		

Le choix des produits s'est basé sur plusieurs critères :

- Les produits uniques ne sont pas inclus dans le Kitting puisque livré directement depuis le fournisseur.
- Les produits chers ne sont pas inclus.
- Les produits répétitifs, lourds et volumineux sont inclus dans le Kitting.

Une fois les produits déterminés, la prochaine étape était de renseigner les détails des quantités par logement.

4.3. Phase « fabrication »

4.3.1. Planning d'approvisionnement

Les livraisons sur chantiers se fait par étage. Chaque étage est livré deux fois. La première livraison est notée « Kit 1 ». La deuxième livraison est notée « Kit 2 ». Par ailleurs, une livraison unique spéciale a été prévue dans ce cas pour les gaines techniques du lot « menuiserie intérieure » vu que les travaux liés commencent tôt.

Les travaux dans les différents étages des bâtiments étant les mêmes (séquence répétitif), nous considérons pour cette étude l'étage R+3 du bâtiment B. La Figure 92 présente le planning travaux CES de l'étage R+3 du bâtiment B. le Tableau 45 présente les dates de chaque tâche du planning.

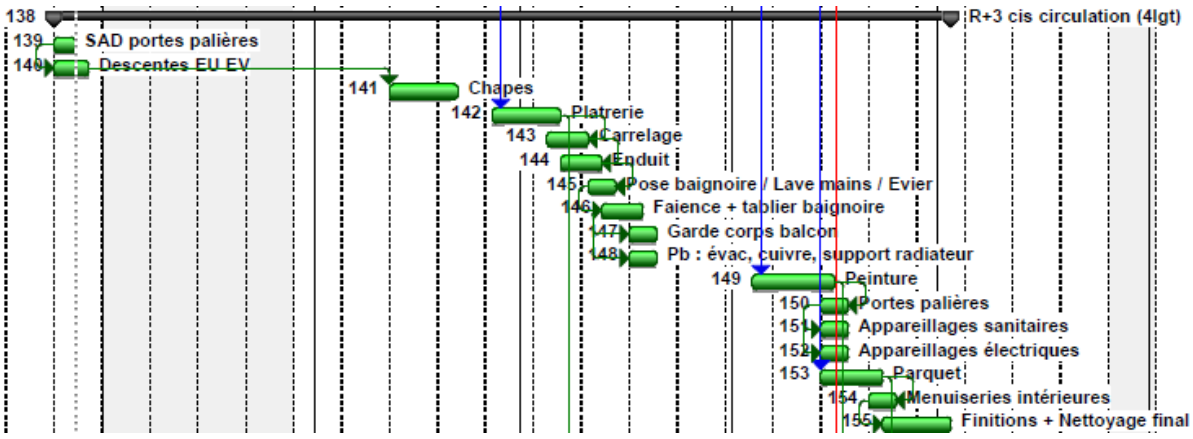


Figure 92. Planning GANTT CES du R+3 du bâtiment B

Tableau 45. Planning avec dates CES du R+3 du bâtiment B

BAT B = 15 logements	107 jours	Lun 25/07/16	Mer 01/02/17
R+3 cis circulation (4lgt)	72 jours	Lun 25/07/16	Ven 02/12/16
SAD portes palières	3 jours	Lun 25/07/16	Mer 27/07/16
Descentes EU EV	5 jours	Lun 25/07/16	Ven 29/07/16
Chapes	8 jours	Lun 12/09/16	Mer 21/09/16
Platrerie	8 jours	Mar 27/09/16	Jeu 06/10/16
Carrelage	4 jours	Mer 05/10/16	Lun 10/10/16
Enduit	4 jours	Ven 07/10/16	Mer 12/10/16
Pose baignoire / Lave mains / Evier	4 jours	Mar 11/10/16	Ven 14/10/16
Faience + tablier baignoire	4 jours	Jeu 13/10/16	Mar 18/10/16
Garde corps balcon	4 jours	Lun 17/10/16	Jeu 20/10/16
Pb : évac, cuivre, support radiateur	4 jours	Lun 17/10/16	Jeu 20/10/16
Peinture	7 jours	Ven 04/11/16	Mar 15/11/16
Portes palières	4 jours	Lun 14/11/16	Jeu 17/11/16
Appareillages sanitaires	4 jours	Lun 14/11/16	Jeu 17/11/16
Appareillages électriques	4 jours	Lun 14/11/16	Jeu 17/11/16
Parquet	7 jours	Lun 14/11/16	Mar 22/11/16
Menuiseries intérieures	4 jours	Lun 21/11/16	Jeu 24/11/16
Finitions + Nettoyage final	8 jours	Mer 23/11/16	Ven 02/12/16

Les produits assujettis au Kitting concerne les portes palières, les baignoires/ lave mains/évier, appareillage sanitaires et menuiseries intérieures. La prochaine étape pour nous était de déterminer quels produits vont être livrés dans le Kit 1 et le Kit 2. Ainsi, l'accompagnement des sous-traitants a permis de compléter le Tableau 44 en ajoutant pour chaque produit s'il fait partie du Kit 1 ou bien du Kit 2 (voir Tableau 46).

Tableau 46. Extrait détails des quantités par logement et affectation Kit 1 et 2 pour le lot plomberie

DESIGNATION	U	Qté	Qté Bât B Total	B R+3					B R+2				
					B31	B32	B33	B34		B21	B22	B23	B24
DESCRIPTION DES OUVRAGES : PARTIE CHAUFFAGE VMC													
Emetteurs de chaleur													
Radson E.FLOW INTEGRA HT900/LG900 + console	U												
Radson E.FLOW INTEGRA HT900/LG750 + console	U	10			2	3	2	3					
Radson E.FLOW INTEGRA HT900/LG600 + console	U	10			1					2	3	2	2
Radson E.FLOW INTEGRA HT900/LG450 + console	U	12				2	2	1		1	2	2	2
Radson E.FLOW INTEGRA HT600/LG450 + console	U	3						1			1		1
fixations de console paroie pleine radiateur HT900/LG900	U												
fixations de console paroie pleine radiateur HT900/LG750	U	10			2	3	2	3					
fixations de console paroie pleine radiateur HT900/LG600	U	10			1					2	3	2	2
fixations de console paroie pleine radiateur HT900/LG450	U	12				2	2	1		1	2	2	2
fixations de console paroie pleine radiateur HT600/LG450	U	3						1			1		1

Ensuite, une date de livraison sur chantier du Kit 1 et 2 a été fixée. Ce travail étant le même pour les différents étages et pour le bâtiment B et A. Enfin, une date de livraison des produits au centre de consolidation a été considérée (environ 10 jours avant la livraison sur chantier). La Figure 93 montre les dates nécessaires pour établir le planning d'approvisionnement Kitting. Notons que les dates sont fixées

selon un ordre chronologique inversé : la date de livraison sur chantier en premier et ensuite la date de livraison au centre de consolidation.

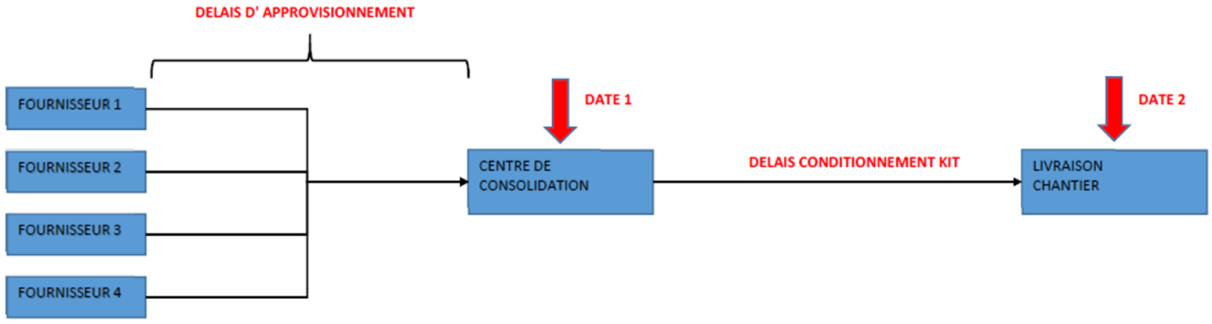


Figure 93. Date de livraison des Kits au centre de consolidation et sur chantier

4.4. Analyse des coûts

Le modèle appliqué pour ce chantier test #3 intègre un centre de consolidation externe comme prestataire qui gère la logistique liée au Kitting.

Le coût du Kitting est de 180€/logement pour deux livraisons. Le Kitting se faisant sur les bâtiments A et B (36 logements), le coût total de la prestation Kitting est de :

180 x 36 = 6.480 €

L'idée pour ce modèle du Kitting est de répartir le coût du Kitting selon le prorata du marché des sous-traitants. Ainsi, le sous-traitant du lot « menuiserie intérieure » lui couterait : 3 807,23 € et le sous-traitant du lot « plomberie » 3320,77€. Notons que la répartition des coûts du Kitting est à affiner avec le temps pour prendre en compte d'autres paramètres comme « le volume des produits » et la difficulté d'approvisionnement en pied d'œuvre.

Une analyse du coût de l'approvisionnement en mode traditionnelle pour le sous-traitant du lot « menuiserie intérieure » est comme suit :

L'approvisionnement des produits des bâtiments A et B (voir Tableau 44. Liste complète des produits en Kitting) pour le sous-traitants menuiserie intérieure prendra environ 10 jours (5 x 2 jours) pour le déplacement du camion jusqu'à chaque logement. Ce travail nécessite au moins deux personnes avec un taux horaires arbitraire de 40€/heure. Le calcul se fait ainsi comme suit :

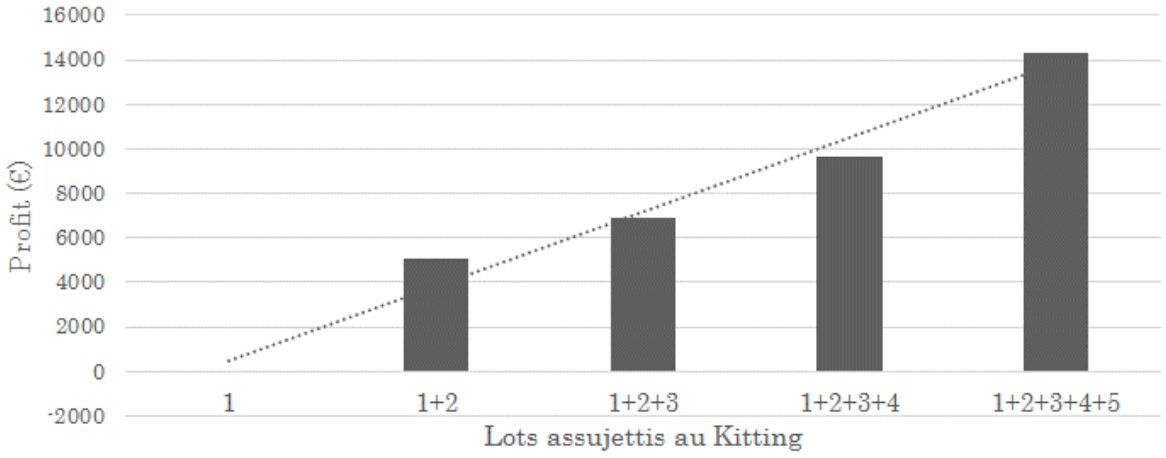
2 x 40 x 8 x 10 = 6.400 €

On voit très bien que le Kitting permet (théoriquement) de gagner en efficacité. Le même calcul peut se faire pour le sous-traitant « plomberie ». (En

revanche, le temps d'approvisionnement en traditionnelle est moindre : environ 4 jours par bâtiment).

2 x 40 x 8 x 8 = 5.120 €

La Figure 94 présente la courbe « profitabilité en fonction du nombre des lots assujettis au Kitting. Le Kitting pour un seul lot pour le chantier test #3 n'est pas rentable. Ceci peut en effet se justifier par le fait que le nombre de livraison s'ajoute sans que ce cout ne soit réparti. On remarque une profitabilité à partir de deux lots en Kitting. C'est d'ailleurs le cas pour ce chantier test #3 ou le Kitting est appliqué aux lots « menuiserie intérieure » et « plomberie ». La profitabilité augmente encore si les lots assujettis au Kitting augmentent. En effet, alors que le coût du Kitting augmente (légèrement), ce coût est réparti sur plusieurs lots d'où cette profitabilité.



Numéro	Lot correspondant
1	Menuiserie intérieure
2	Plomberie
3	Electricité
4	Menuiserie extérieure
5	Plâtrerie

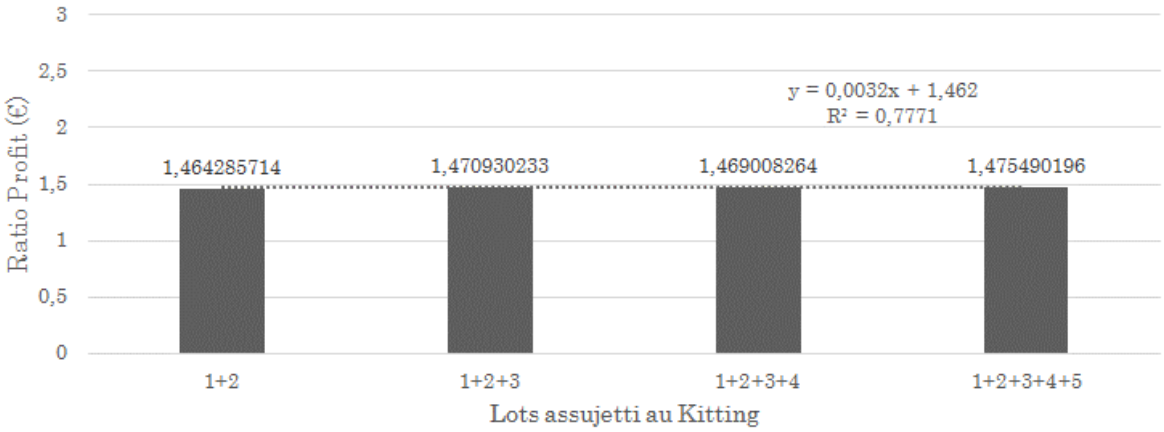
Lots en Kitting	Profit
1	-80
1+2	5040
1+2+3	6880
1+2+3+4	9680
1+2+3+4+5	14280

Figure 94. Variation du profit en fonction du nombre de lots assujettis au Kitting

Ceci justifie l'intérêt des sous-traitants pour la démarche du Kitting dans notre expérimentation #3. En effet, les sous-traitants ont eu droit à un temps de réflexion (1 mois) avant de donner leur accord/refus pour tester le Kitting.

L'analyse suivante concerne la rentabilité si le Kitting a été effectué pour tous les bâtiments du projet (bâtiment C inclus). L'idée est de quantifier l'impact du volume sur la rentabilité d'une démarche Kitting.

Pour cela, on a considéré le profit du Kitting en prenant en compte les produits de tout le projet. Ensuite, le ratio du profit entre un Kitting sur tous les bâtiments (A, B, C) et le un Kitting sur les bâtiments (A, B) a été tracé en fonction du nombre de lots. Cette courbe est représentée dans la Figure 95.



Numéro	Lot correspondant
1	Menuiserie intérieure
2	Plomberie
3	Electricité
4	Menuiserie extérieure
5	Plâtrerie

Nbre lots Kitting	Ratio profit
1+2	1,46428571
1+2+3	1,47093023
1+2+3+4	1,46900826
1+2+3+4+5	1,4754902

Figure 95. Ratio du profit pour Kitting bâtiment A, B et bâtiment A,B,C en fonction du nmbre des lots.

Le ratio du profit pour un Kitting de deux lots est de 1.46. Ce qui veut dire que le profit est multiplié par 1.46 si le bâtiment C est intégré au Kitting (avec les bâtiments A, B). Le ratio du profit pour un Kitting de 3 lots est de 1.47, 4 lots 1.469 et pour 5 lots 1.47. La courbe de tendance est linéaire avec un coefficient de corrélation de 0.771, ce qui est élevé. Ce résultat implique que le volume affecte positivement la rentabilité du Kitting. Plus de produits assujettis au Kitting se traduit par une augmentation de la profitabilité d'une démarche Kitting.

5. Synthèse et analyse globale du Kitting

5.1. Phases du Kitting

La réussite d'une démarche Kitting dépend de la préparation en amont. Ceci est approuvé non seulement par les études de cas dans le chapitre 4 mais aussi dans les expérimentations menées dans le chapitre 6. Par ailleurs, une bonne préparation en amont requiert à son tour une définition précise des tâches à réaliser avec les dates jalons. Pour cela, notre proposition de phases

d'implémentation du Kitting permet une application systémique du Kitting. Chaque phase « Initiation », « préparation », « fabrication, « Exécution et suivi » lui est associé un certain nombre de tâches. Le non-respect de ces phases crée des difficultés à maîtriser la démarche et des incidents en phase travaux. Par exemple, l'étude de cas #3 a requis un effort conséquent de mise en place (certainement non rentable vu le nombre d'heure requis pour l'implémentation) parce que la phase « initiation » n'a pas été effectué.

5.2. Sous-traitance et part propre

D'après le retour d'expérience du chantier test #3 menée en sous-traitance, le Kitting s'avère plus difficile à mettre en place. Cela n'est pas le cas pour la part propre. En effet, l'étude de cas de "Schramm » ou le Kitting a été menée en part propre s'est avéré moins compliqué.

Pour que le Kitting puisse être optimal, le bon choix de sous-traitants est primordial. La Figure 96 présente la Risque/gain pour le choix des sous-traitants.

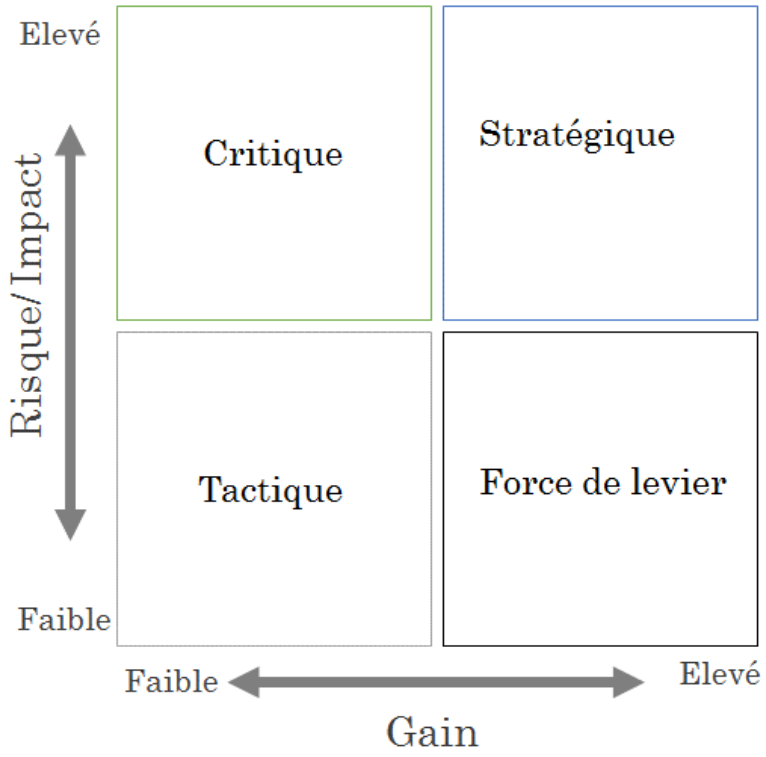


Figure 96. Matrice Risque/gain pour le choix des sous-traitants

Le Kitting de lots spécifiés permet de gagner en rentabilité comme vu précédemment. Ceci ne peut se faire si le sous-traitant n'est pas prêt à collaborer et à mettre les moyens pour développer cette activité. Par exemple, l'achat de

moyens de levage adéquat est un investissement à long terme que seuls les sous-traitants se situant dans le quadrant « stratégique » dans la matrice sont prêt à entamer. De ce fait, le choix stratégique de sous-traitants est une nécessité à l'heure actuelle pour les lots porteurs en Kitting.

5.3. Fournisseurs

Le sous-traitant du lot menuiserie intérieure du chantier test #3 possède plus de 7 fournisseurs. Une démarche Kitting est donc pour lui rentable vu qu'elle permet de rationaliser ses livraisons sur chantier.

La multiplicité des fournisseurs est un bon indicateur de la rentabilité d'une démarche Kitting.

La contractualisation du Kitting en phase de conception est également une idée suggérée à plusieurs reprises lors des expérimentations menées. Le fait d'imposer une livraison Kitting dans le cahier des charges du projet permet de penser efficacité logistique dès le début. Un travail de proximité avec les fournisseurs s'imposent.

5.4. Planning Kitting

Le Kitting nécessite un planning travaux CES bien détaillé, ce qui n'est pas le cas pour un système traditionnel. Le Kitting requiert également un planning d'approvisionnement lors de la phase « fabrication » qui est en synchronisation avec le planning travaux.

L'expérimentation du chantier test#3 suggère que la disponibilité des moyens de levages est essentielle pour une démarche Kitting. D'ailleurs, le lot « plâtrerie » n'a pas été inclus dans le Kitting parce que le démontage de la grue était prévu avant la livraison de ce lot. De ce fait, l'utilisation de la grue en fin gros-œuvre peut être optimisée en déplaçant les produits en Kitting pour le début de la phase CES.

5.5. Choix des produits et lots en Kitting

Le choix des produits en Kitting suit un certain nombre de critères qui changent selon la typologie du projet. Par exemple, pour l'étude de cas « Schramm », le parquet n'a pas été considéré pour le Kitting parce que le sous-traitant vient avec son camion qui contient les éléments nécessaires approximatifs pour la journée.

Pour le chantier test#3, on a vu que le lot plâtrerie n'a pas été inclus dans le Kitting vu le manque de moyen de levage efficace (grue démontée).

Par ailleurs, les produits uniques et personnalisés ont été livrés directement depuis le fournisseur (sans passage par un centre de consolidation). Par exemple, un ascenseur ou bien le tableau électrique (coûte cher et unique : une seul produit par bâtiment).

5.6. Les effets secondaires du Kitting

Accroître la transparence des dépenses par le biais des détails. Le Kitting permet également de suivre une logique de fourniture/pose lors du chiffrage et de la construction, ce qui veut dire plus de visibilité sur la répartition des coûts.

Enfin, le Kitting requiert un travail conséquent en amont du projet. Ce travail en doit sera difficilement réalisé par le conducteur de travaux vu les responsabilités déjà entamés. Ce souci a été suscité à plusieurs reprises lors des études de cas « Flers » et « Schramm ». Les conducteurs travaux n'ont pas le temps pour effectuer les détails des quantités et pour gérer le Kitting en amont. Pour « Schramm », un stagiaire a été appointé pour effectuer ce travail.

5.7. Rentabilité du Kitting

A partir de certain nombre de lot, le Kitting devient rentable (En d'autres mots à partir d'un certain nombre d'intervenants impliqués dans la démarche, ce qui permet de répartir le cout du Kitting dans le cas d'un centre de consolidation)

Par ailleurs, plus le nombre de lots assujettis au Kitting augmente, plus la profitabilité du système s'accrue. Un ratio peut être défini pour chaque opération Kitting qui reflète l'effet de l'augmentation des produits sur la rentabilité.

Enfin, le Kitting permet également des gains non financiers (non pris en compte dans le calcul de rentabilité) comme la réduction des produits cassés/volés, la maîtrise du CES et donc la réduction du temps du chantier, moins de réserves (les réserves proviennent essentiellement du CES).

6. Conclusion

Ce chapitre résume 3 expérimentations Kitting menées chacune avec un objectif différent. La première expérimentation explore le potentiel de la maquette numérique BIM dans une démarche de Kitting. La maquette numérique est un moyen efficace pour l'établissement de la liste des détails des quantités ainsi que dans la génération des plannings d'approvisionnement des Kits. Le résultat de cette expérimentation est la proposition d'un schéma de réalisation et de modification de planning d'approvisionnement Kitting avec une modélisation BIM en 4D.

La deuxième expérimentation investigue l'implémentation du Kitting sur un chantier de rénovation de 5 maisons de courée. Les deux premières phases « Initiation » et « préparation » ont été investigué. Le modèle du Kitting a été sélectionné (en se basant sur des critères tels que la condition du site). Le planning Kitting a été réalisé en choisissant les produits à mettre en Kitting. Finalement, Le vécu est résumé et analysé. Par ailleurs, des considérations SAV ont été présentées ainsi qu'une analyse de l'impact du Kitting sur les différents services d'une entreprise de construction.

La troisième expérimentation concerne un chantier neuf de 3 bâtiments (au total 55 logements) ou le Kitting est en cours d'application sur deux bâtiments. Pour ce projet, la décision de réaliser le Kitting était prise courant la fin du gros-œuvre. Cela dit, les sous-traitants pour les CES étaient déjà sélectionnés. En conséquence, la mise en place du Kitting comprenait des variantes fixées d'avance (comme les sous-traitants et le choix des produits à mettre en Kitting régi par l'avancement des travaux). La phase « préparation » et « fabrication » ont été résumé. Cette expérimentation a permis de montrer la profitabilité du Kitting suivant les paramètres : volume et nombre de lot.

Dans ce chapitre, le déploiement de la théorie du Lean s'est effectué au travers le Kitting. Les liens entre cette pratique et les principes de la théorie du Lean sont démontrés dans le chapitre 5.

Conclusion générale

Le secteur de la construction est l'un des secteurs importants de l'économie française, ce qui représente environ 5% de son PIB et 25% de l'investissement total français. Il engage 1,3 million de personnes qui comptent pour environ 5% de l'emploi. Cependant, le domaine de la construction fait face à des difficultés importantes: les projets de construction souffrent d'un manque de qualité, de non-respect des délais de livraison et des coûts supplémentaires. Sur le marché français, le coût de la construction est de plus en plus l'année après année.

Ce travail de thèse de doctorat a démarré par le constat suivant : la réalisation d'un bâtiment se révèle très souvent problématique : beaucoup de difficultés sont gérés au fur et à mesure de l'avancement du projet et l'improvisation prend une place bien plus importante qu'elle ne doit dans le métier de construction (Ballard 2000).

Fort de ces observations, plusieurs acteurs tentent maintenant de révolutionner le métier en utilisant tous les moyens modernes que nous avons à notre disposition (Aranda - Mena et al. 2009). Dans cette démarche de moderniser la construction, les moyens numériques modernes, avec notamment l'introduction de la maquette numérique BIM « Building Information Modeling » constituent un bon début. Mais, il existe d'autres manières d'innover dans le domaine de la construction. En effet, une autre manière serait par exemple de s'inspirer d'autres secteurs (comme l'industrie automobile, la aéronautique, …) et ce qui s'y fait en matière d'optimisation de la chaine logistique/fabrication, et de chercher à adapter ces méthodes d'organisation aux processus de construction (L. Koskela 1992).

C'est dans cette optique d'application de ces modes d'organisation sur les chantiers qu'il s'est apparu important d'adapter ces moyens d'industrialisation (ces concepts) et de faire ressortir à travers l'expérimentation des recommandations. La nécessité d'innover est maintenant une nécessité pour le secteur de la construction et ceci est possible au travers la R&D.

Au travers ce travail de recherche, une adaptation de la théorie du Lean dans les principales phases de construction a été réalisée, en commençant par le développement immobilier (avec Nacarat), en passant par l'appel d'offre (RDC) jusqu'à la phase construction (RDC).

Chaque chapitre trace le résultat du déploiement d'un volet de la théorie du Lean sur la chaîne de construction.

Le premier chapitre a investigué la mise en œuvre du Lean Six Sigma dans la construction résidentielle dans le but de résoudre les problèmes d'insatisfaction des clients. Nous nous sommes intéressés au problème des « retards de livraison » des appartements, exprimés par les clients finaux (occupants et investisseurs). En utilisant l'approche DMAIC et la philosophie « Lean », le processus défectueux a été identifié et amélioré.

Pendant la phase "Définir ", nous avons établi la «voix du client» et l'énoncé du problème. La «Phase de mesure" a suivi le processus suivi par les clients et les actionnaires liés à l'expérience client. Le problème a ensuite été quantifiée: 57% des clients ne sont pas satisfaits des délais de livraison de leurs appartements. Nous avons ensuite évalué 16 projets de construction typiques et avons trouvé que le délai moyen est de 1,64 mois de retard de livraison et la médiane est de 1,65 mois. En ce qui concerne la phase "Analyser", l'accent a été mis sur une analyse avancée d'un projet. Les résultats de cette phase ont révélé les causes profondes du problème élaboré au cours de la précédente phase: les problèmes des sous-traitants, des problèmes inattendus tels que la qualité des sols, le manque de compétences, une mauvaise coordination de l'équipe et la météo. Nous avons ensuite établi des recommandations claires pour chaque cause pendant la phase « Innover ». Enfin, la phase « contrôler » suggère des indicateurs *Leading*, indicateurs *Lagging* et des indicateurs *Perspective* pour une amélioration continue.

Cette recherche est une première proposition d'introduire la méthodologie Lean Six Sigma dans le secteur de la construction par l'intermédiaire d'une mise en œuvre dans une entreprise de promotion immobilière spécialisée dans l'acquisition, le développement et la gestion, entre autres, des propriétés. Le processus suivi par le client dans un projet de construction est très long (en moyenne plus d'une année) et compliqué par rapport à d'autres industries (quelques jours à quelques semaines). Ainsi, la détection des causes d'insatisfaction des clients est plus complexe. La méthodologie LSS s'avère être également une approche efficace et structurée pour identifier les causes profondes en construction. Cependant, le défi principal de son implémentation réside en la collecte des données nécessaires pour établir un argumentaire et analyse critique. De ce fait, la recherche doit se concentrer sur les moyens d'exploiter l'information tout au long du processus de construction.

Le chapitre 2 déploie la théorie du Lean au travers des indicateurs et de l'outil PDRI pour bien cerner les gaspillages tout au long de l'acte de construire.

Nous nous sommes donc attaché à essayer de cibler les éléments qui pouvaient être à l'origine de ces écarts, nous les avons ensuite quantifiés grâce à notre étude sur 56 projets de promotions immobilière de type logement chez Nacarat dans toutes les régions en France. A la suite de cela, nous avons tenté de proposer un certain nombre de statistiques et d'analyses afin de pouvoir expliquer ces différents écarts constatés. L'analyse de 56 projets atteste que l'écart global du coût est de 2.59%, tel que 0.89% provient des travaux et 1.72 % de la phase de commercialisation. La région « OSE » (Ouest-Sud-Est) connaît le plus d'écart (7.92%) comparé au Nord (2.3%) et en Ile-de-France (0.13%). La représentation du nombre de lots des projets (taille) en fonction de l'écart illustre que ce dernier commence à se sentir à partir des projets de 466 lots. Un fois cette limite dépassée, les écarts s'intensifient et la prédiction devient difficile à cerner. La représentation du budget des projets en fonction de l'écart des couts montre que l'écart s'intensifie pour les projets à valeurs dépassant les 9 M€ et pour les projets à moins de 4 M€.

Enfin dans un second temps nous avons essayé de proposer une solution qui pourrait permettre à l'entreprise d'analyser au mieux les différents projets qu'elle développe. Nous avons donc choisi de présenter l'outil PDRI du CII qui permet de balayer tous les aspects d'un projet de construction. Nous avons ensuite étudié le fonctionnement au sein du promoteur immobilier et l'avons comparé à ce qui était proposé par l'outil de définition PDRI (communément utilisé dans la construction industrielle) afin de pouvoir amener à l'entreprise des possibilités d'utilisation et d'appropriation de ce dernier.

Pour l'entreprise, cela se traduit par une différence organisationnelle et managériale au niveau de chaque entité dans la France. En effet, l'écart des couts est significatif entre les régions. Par ailleurs, la différence du coût entre la conception et la réalisation se doit d'être mitigée. Pour cela, le PDRI semble un outil adéquat pour s'assurer du respect des étapes de l'acte de construire.

Le chapitre 3 illustre le déploiement de la théorie du Lean dans la phase de l'étude de prix dans une entreprise de construction. Des indicateurs de performance ont été mis en place pour évaluer l'effet de l'implémentation du Lean après 6 mois de l'évènement Kaizen. Les indicateurs de performance sont liés aux: temps, impact économique, la qualité et les facteurs de durabilité

Concrètement, l'implémentation du Lean a permis de :

- Réduire le nombre de tâches dans le processus de l'appel d'offre de 150 à 72 tâches, en éliminant celles à non-valeur ajoutée.

- Une diminution de la variance entre le coût prévu au lancement de l'appel
- d'offre et le coût réel de l'appel d'offre est observée. L'écart se situe entre «-7% « +0,78% » après 6 mois de mise en œuvre (avec pour objectif 2% d'écart).
- Augmentation de la productivité avec comme moyenne : une moyenne de 1,3 hommes mobilisés (au lieu de plus de 2 hommes mobilisés).

Le chapitre 4 s'intéresse à la phase « construction » et introduit la logistique comme élément clé pour gagner en performance. La logistique en construction n'est pas vue comme un levier de performance mais plutôt comme une contrainte nécessaire au déroulement du chantier. Par ailleurs, une enquête sur l'évaluation de la gestion logistique des chantiers de construction supporte la nécessité d'adopter des méthodes innovantes pour gagner de la performance via la logistique chantier. Le Kitting pourrait être envisagé comme solution surtout que cette pratique est en phase de « prototype » en construction. Le chapitre présente 2 études de cas de chantiers réalisés en Kitting pour ensuite poser les questions de recherche et pour présenter 3 chantiers-tests expérimentaux (qui vont être analysés dans le chapitre 6).

Le chapitre 5 introduit le concept du Kitting en construction. Alors que le Kitting est monnaie courante en industrie, son introduction en construction est relativement nouvelle et les bases d'applications ne sont pas encore mise en place. Une définition du Kitting a été formulée ainsi que le modèle économique associée à cette pratique. Enfin, des études de cas de l'application du Kitting dans un chantier de rénovation sont présentées et qui servent pour poser les questions de recherche et les limitations dans la littérature à l'égard de la logistique en construction.

Le chapitre 6 résume 3 expérimentations Kitting menées chacune avec un objectif différent. La première expérimentation explore le potentiel de la maquette numérique BIM dans une démarche de Kitting. La maquette numérique est un moyen efficace pour l'établissement de la liste des détails des quantités ainsi que dans la génération des plannings d'approvisionnement des Kits. Le résultat de cette expérimentation est la proposition d'un schéma de réalisation et de modification de planning d'approvisionnement Kitting avec une modélisation BIM en 4D.

La deuxième expérimentation investigue l'implémentation du Kitting sur un chantier de rénovation de 5 maisons de courée. Les deux premières phases « Initiation » et « préparation » ont été investigué. Le modèle du Kitting a été sélectionné (en se basant sur des critères tels que la condition du site). Le planning Kitting a été réalisé en choisissant les produits à mettre en Kitting. Finalement,

Le vécu est résumé et analysé. Par ailleurs, des considérations SAV ont été présentées ainsi qu'une analyse de l'impact du Kitting sur les différents services d'une entreprise de construction.

La troisième expérimentation concerne un chantier neuf de 3 bâtiments (au total 55 logements) ou le Kitting est en cours d'application sur deux bâtiments. Pour ce projet, la décision de réaliser le Kitting était prise courant la fin du gros-œuvre. Cela dit, les sous-traitants pour les CES étaient déjà sélectionnés. En conséquence, la mise en place du Kitting comprenait des variantes fixées d'avance (comme les sous-traitants et le choix des produits à mettre en Kitting régi par l'avancement des travaux). La phase « préparation » et « fabrication » ont été résumé. Cette expérimentation a permis de montrer la profitabilité du Kitting suivant les paramètres : volume et nombre de lot.

Dans ce chapitre, le déploiement de la théorie du Lean s'est effectué au travers le Kitting. Les liens entre cette pratique et les principes de la théorie du Lean sont démontrés dans le chapitre 5.

Les expérimentations ont fourni un aperçu de l'approvisionnement en Kitting, et ont identifié des méthodes pour surmonter les contraintes du système d'approvisionnement traditionnel. Ainsi, nous avons fourni à la construction une nouvelle façon de gérer la logistique.

Grâce aux études de cas et expérimentations, nous avons clarifié et expérimenté le concept du Lean dans la construction et mis en évidence la façon dont il pourrait être utilisé dans les différentes phases de construction. Les premiers et deuxièmes chapitres concernent le début de la chaîne (promotion immobilière) avec l'application du Lean Six Sigma et l'utilisation des indicateurs de performances pour détecter les écarts des coûts dans un projet de construction. Le troisième concerne l'application du Lean dans l'appel d'offre. Le quatrième, cinquième et sixième traitent de la phase « construction » et révèlent des opportunités supplémentaires pour la logistique Lean en construction.

Ce rapport de thèse est le résultat d'une réflexion menée de déploiement de la théorie du Lean dans la chaîne de valeur de la construction

Bibliographie

Abbasianjahromi, H., Rajaie, H. & Shakeri, E., 2013. A FRAMEWORK FOR SUBCONTRACTOR SELECTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(2), pp.158–168. Available at: http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2012.743922 [Accessed January 28, 2014].

Abdul-Rahman, H., Wang, C. & Malay, S.B., 2012. Structured project learning model toward improved competitiveness in bidding for large construction firms. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(4), pp.546–556. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/13923730.2012.703006#.Vnz_ARUrKUk [Accessed September 16, 2015].

Aik Jin Victor, L., 2008. *Lean construction: knowledge and barriers in implementing into Malaysia construction industry*, Available at: http://eprints.utm.my/9590/1/VictorLimAikMFKA2008.pdf [Accessed October 7, 2015].

Al- Aomar, R., 2012. A lean construction framework with Six Sigma rating D. Setijono, ed. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(4), pp.299–314. Available at: http://www.emeraldinsight.com.ezproxy.aub.edu.lb/doi/full/10.1108/20401461211284761 [Accessed April 24, 2015].

Alarcón, L.F. et al., 2005. Assessing the impacts of implementing lean construction. *13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings*, pp.387–393.

Alinaitwe, H., Mwakali, J.A. & Hansson, B., 2009. Organizational effectiveness of Ugandan building firms as viewed by craftsmen. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(3), pp.281–288. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/1392-3730.2009.15.281-288 [Accessed February 20, 2014].

Ampère, J.-J., 1862. *L'histoire romaine à Rome. Tome 1 / par J.-J. Ampère,...*, M. Lévy frères (Paris). Available at: http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30709m.

André-Salvini, B.A.-S., 2008. *Le Code de Hammurabi*, RMN. Available at: http://www.decitre.fr/livres/le-code-de-hammurabi-9782711855544.html.

Anon, L'Europe ruinée à la fin de la Seconde Guerre mondiale - Événements historiques de la construction européenne (1945-2009). Available at: http://www.cvce.eu/recherche/unit-content/-/unit/02bb76df-d066-4c08-a58a-

d4686a3e68ff/02b30e6f-19d0-4317-9ee1-a58c85aa13e0#eaa76e5b-ab77-4f18-997d-3e0380d02c96_fr&overlay.

Aranda- Mena, G. et al., 2009. Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM? *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(3), pp.419–434. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/17538370910971063 [Accessed December 1, 2015].

Arbulu, R. & Ballard, G., 2004. Lean Supply Systems in Construction. In *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Available at: http://iglc.net/Papers/Details/291 [Accessed April 11, 2016].

Arnheiter, E.D. & Maleyeff, J., 2005. The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, 17(1), pp.5–18. Available at: http://www.emeraldinsight.com.ezproxy.aub.edu.lb/doi/full/10.1108/09544780510573020 [Accessed November 3, 2014].

Aziz, R. & Hafez, S., 2013. Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), pp.679–695. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681300046X [Accessed July 7, 2014].

Balbontin, A.A., 2006. Chapter 9 – Application of Six Sigma in the banking industry. In *World Class Applications of Six Sigma*. pp. 157–172. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750664592500135.

Ballard, G., 2000. *The Last Planner System of Production Control*. Available at: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.107.4520&rep=rep1&type=pdf.

Ballard, G., 2008. The Lean Project Delivery System: An Update. *www.leanconstructionjournal.org*, pp.1–19.

Baloyi, L. & Bekker, M., 2011. Causes of construction cost and time overruns: the 2010 FIFA World Cup stadia in South Africa. *Acta Structilia*, pp.51–67. Available at: http://137.215.9.22/bitstream/handle/2263/17196/Baloyi_Causes(2011).pdf?sequence=1.

Bashir, A.M. et al., 2011. A critical, theoretical, review of the impacts of lean construction tools in reducing accidents on construction sites. *Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2011 - Proceedings of the 27th Annual Conference*, 1(September), pp.249–258. Available at: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861031228&partnerID=tZOtx3y1.

Bashir, M. et al., 2008. Reliability and Validity of Qualitative and Operational Research Paradigm. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 4(1), p.35. Available at: http://www.pjsor.com/index.php/pjsor/article/view/59 [Accessed August 6, 2016].

Basu, P. & K. Dan, P., 2014. Capacity augmentation with VSM methodology for lean manufacturing. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), pp.279–292. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJLSS-07-2013-0036 [Accessed August 5, 2016].

Beary, T.M. & Abdelhamid, T.S., 2005. Production Planning Process in Residential Construction Using Lean Construction and Six Sigma Principles. In *Construction Research Congress 2005*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, pp. 1–10. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40754(183)16 [Accessed October 6, 2015].

Beatham, S. et al., 2005. An integrated business improvement system (IBIS) for construction. *Measuring Business Excellence*, 9(2), pp.42–55. Available at: http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1368-3047&volume=9&issue=2&articleid=1502648&show=html [Accessed March 4, 2014].

Beatham, S. et al., 2004. KPIs: a critical appraisal of their use in construction. *Benchmarking: An International Journal*, 11(1), pp.93–117. Available at: http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1463-5771&volume=11&issue=1&articleid=843104&show=html [Accessed February 25, 2014].

Belekoukias, I., Garza-Reyes, J.A. & Kumar, V., 2014. The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), pp.5346–5366. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2014.903348?src=recsys [Accessed October 22, 2015].

Bhamu, J. & Singh Sangwan, K., 2014. Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), pp.876–940.

Bock, T., 2015a. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, 59, pp.113–121.

Bock, T., 2015b. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, 59, pp.113–121. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051500165X [Accessed October 5, 2015].

Bortolotti, T., Boscari, S. & Danese, P., 2014. Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices. *International Journal of Production Economics*, 160, pp.182–201. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527314003508 [Accessed December 11, 2014].

Bresnen, M., Goussevskaia, A. and Swan, J., 2005. Organizational routines, situated learning and processes of change in project-based organizations. *Project Management Journal*, 3(36), pp.27–41. Available at: https://www.escholar.manchester.ac.uk/uk-ac-man-scw:62271 [Accessed September 28, 2015].

Buggie, F.D., 2000. Beyond "Six Sigma." *Journal of Management in Engineering*, 16(4), pp.28–31. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0742-597X(2000)16:4(28) [Accessed October 6, 2015].

Caldas, C.H. et al., 2014. Materials Management Practices in the Construction Industry. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*.

Castillo, G., Alarcón, L.F. & González, V.A., 2014. *Implementing Lean Production in Copper Mining Development Projects: Case Study*, American Society of Civil Engineers. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000917 [Accessed October 26, 2015].

Cha, H.S. & O'Connor, J.T., 2005. Optimizing Implementation of Value Management Processes for Capital Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(2), pp.239–251. Available at: http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?145256 [Accessed October 6, 2015].

Choudhry, R.M. et al., 2012. Subcontracting Practices in the Construction Industry of Pakistan. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), pp.1353–1359.

Chua, D.K.H., Li, D.Z. & Chan, W.T., 2001. Case-Based Reasoning Approach in Bid Decision Making. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(1), pp.35–45. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282001%29127%3A1%2835%29 [Accessed August 5, 2016].

Construction Industry Institute, 2016. Construction Industry Institute. *The University of Texas at Austin*. Available at: https://www.construction-institute.org/scriptcontent/index.cfm [Accessed September 1, 2016].

Construction Industry Institute, 2013. *Development of a Project Definition Rating Index (PDRI) for Building Projects*, Austin. Available at: https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/rr155_11_more.cfm.

Crema, M. & Verbano, C., 2015. How to combine lean and safety management in health care processes: A case from Spain. *Safety Science*, 79, pp.63–71. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753515001289 [Accessed June 15, 2015].

Dakhli, Z. & Lafhaj, Z., 2015. Development strategies for the French construction

sector. *The Journal of Macro Trends in Technology and Innovation*, 3(1), pp.113–129. Available at: http://macrojournals.com/yahoo_site_admin/assets/docs/11TI31Fa.34212326.pdf.

Dakhli, Z., LAFHAJ, Z. & BENRARD, M., 2016. Application of Lean to the bidding phase in building construction: a French contractor's experience. *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(2).

DAKHLI, Z., LAFHAJ, Z. & BOS, A., 2016. Experiencing lean six sigma in the French residential construction: setting effective performance indicators to address client satisfaction. *International Journal of*. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJLSS-10-2015-0038 [Accessed October 10, 2016].

Daou, E. et al., 2015. Instantask : Designing a Visual Application for Enabling Agile Planning Response. In *23rd Annual Confernce of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia, pp. 23–32. Available at: http://www.iglc.net/Papers/Details/1199.

Delrue, J., 1976. Rationalisation de la planification et de la construction des installations des soins médicaux dans les pays en développement.

Domingos, B.S.M. et al., 2014. Process Improvement and Reorganization of Kanban Inventory in an Industry of Machinery and Equipment: A Case Study. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 4(2), pp.49–54. Available at: The purpose of this research is the reduction of losses due to excess inventory and unnecessary movement in the Kanban inventory in a multinational industry manufacturer of machinery and equipment, located in the State of S�o Paulo, Brazil. The justificat [Accessed August 27, 2015].

Dupin, P., 2014. *Le Lean appliqué à la construction* EYROLLES, ed., Available at: http://www.amazon.fr/Le-Lean-appliqué-construction-optimiser/dp/2212138326 [Accessed March 4, 2014].

Eadie, R. et al., 2013. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, pp.145–151. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513001507.

Ebbesen, J.B. & Hope, A., 2013. Re-imagining the Iron Triangle: Embedding Sustainability into Project Constraints. *PM World Journal*. Available at: http://nrl.northumbria.ac.uk/11311/1/pmwj8%2Dmar2013%2Debbesen%2Dhope%2Dreimagining%2Diron%2Dtriangle%2DFeaturedPaper.pdf [Accessed March 10, 2015].

Edwards, D. & Thomas, J.C., 2005. Developing a Municipal Performance-Measurement System: Reflections on the Atlanta Dashboard. *Public Administration Review*, 65(3), pp.369–376. Available at: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1540-6210.2005.00461.x [Accessed March 5, 2014].

Egan, J., 1998. *Rethinking Construction: Report of the Construction Task Force on the Scope for Improving the Quality and Efficiency of UK Construction*, London.

Errasti, A. et al., 2007. A process for developing partnerships with subcontractors in the construction industry: An empirical study. *International Journal of Project Management*, 25(3), pp.250–256. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786306001499.

Fellows, R.F. & Liu, A.M.M., 2009. *Research Methods for Construction* 4th ed., Wiley Blackwell.

Forbes, L.H., 2001. Continuous Improvement in the Construction Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 1(1), pp.54–55. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291532-6748%282001%291%3A1%2854%29 [Accessed August 5, 2016].

Foster, J.., 2000. *Structure and Fabric Part I* Longman 5t.,

Francom, T., Ariaratnam, S.T. & El Asmar, M., 2015. Industry Perceptions of Alternative Project Delivery Methods Applied to Trenchless Pipeline Projects. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, p.4015020. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29PS.1949-1204.0000220 [Accessed October 26, 2015].

Fulford, R. & Standing, C., 2014. Construction industry productivity and the potential for collaborative practice. *International Journal of Project Management*, 32(2), pp.315–326. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786313000641.

GALBRAITH, L., MILLER, W.A. & GREENE, T.J., 1991. Pull system performance measures: a review of approaches for system design and control. *Production Planning & Control*, 2(1), pp.24–35. Available at: http://www.tandfonline.com.ezproxy.aub.edu.lb/doi/abs/10.1080/09537289108919327#.U7rDHpR_sVw [Accessed July 7, 2014].

Goulding, J.S. et al., 2014. New offsite production and business models in construction: priorities for the future research agenda. *Architectural Engineering and Design Management*, 11(3), pp.163–184. Available at: http://www-tandfonline-com.libproxy.ucl.ac.uk/doi/abs/10.1080/17452007.2014.891501\nhttp://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452007.2014.891501.

Gregory A. Howell, 1999. What is Lean Construction. In *International Group of Lean Construction*. pp. 1–10. Available at: http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/IGLC-7/PDF/Howell.pdf [Accessed August 7, 2015].

Grevelman, L. & Kluiwstra, M., 2010. Sustainability in project management: A case study on enexis. *PM World Today*. Available at: /citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Dfr%26as_sdt

%3D0,5%26scilib%3D1%26scioq%3Dsustainability%2Bin%2Bproject%2Bmanagement%2Bcase%2Bstudy%2Bon%2BEnexis&citilm=1&citation_for_view=aewZHJMAAAAJ:u5HHmVD_uO8C&hl=fr&oi=p [Accessed March 10, 2015].

Gurcanli, G.E., Bilir, S. & Sevim, M., 2015. Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, 80, pp.1–12. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753515001666 [Accessed October 26, 2015].

Han, S.H. et al., 2008. Six Sigma-Based Approach to Improve Performance in Construction Operations. *Journal of Management in Engineering*, 24(1), pp.21–31. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282008%2924%3A1%2821%29?journalCode=jmenea [Accessed February 28, 2014].

Henry, E., 2000. Quality management standardization in the French construction industry: singularities and internationalization prospects. *Construction Management and Economics*, 18(6), pp.667–677. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014461900414727 [Accessed March 10, 2015].

Hermes, M., 2015. Prefabrication & Modularization As a Part of Lean Construction – Status Quo in Germany. *Proceedings for the 23th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp.235–245. Available at: http://www.iglc.net/Papers/Details/1215.

Hiang Liow, K. & Ooi, J.T.L., 2004. Does corporate real estate create wealth for shareholders? *Journal of Property Investment & Finance*, 22(5), pp.386–400. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/14635780410556870 [Accessed February 13, 2016].

Hicks, C. et al., 2015. Applying lean principles to the design of healthcare facilities. *International Journal of Production Economics*. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527315001814 [Accessed May 29, 2015].

Hoekstra, S. & Romme, J., 1992. *Integral Logistic Structures: Developing Customer-oriented Goods Flow*, Industrial Press Inc. Available at: https://books.google.com/books?id=DQQoB4T2kGEC&pgis=1 [Accessed April 24, 2016].

Horstman, A. & Witteveen, W., 2013. Performance Indicators in the Best Value Approach. *Journal for the Advancement of Performance Information & Value*, 5(2). Available at: http://cibw117.com/journal/index.php/performance-info-and-value/article/view/125 [Accessed June 11, 2014].

Howell, G. & Ballard, G., 1994. Lean production theory: Moving beyond "Can-Do." *Proceending Conference on Lean Construction*, September(2014).

Hubbard, D.W., 2014. *How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business*, Available at: http://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=SCPwAgAAQBAJ&pgis=1 [Accessed August 7, 2014].

Ikuma, L.H., Nahmens, I. & James, J., 2011. Use of Safety and Lean Integrated Kaizen to Improve Performance in Modular Homebuilding. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(7), pp.551–560. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000330 [Accessed August 5, 2016].

INSEE, 2015. Insee - Bulletin statistique - Indice du coût de la construction des immeubles à usage d'habitation (ICC). Available at: http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/bsweb/graph.asp?idbank=000008630 [Accessed October 7, 2015].

Issa, U.H., 2013a. Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), pp.697–704. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016813000641 [Accessed May 25, 2014].

Issa, U.H., 2013b. Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), pp.697–704. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016813000641.

Jasti, N.V.K. & Kodali, R., 2014. Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), pp.867–885. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2014.937508?src=recsys [Accessed October 22, 2015].

Jina, J., Bhattacharya, A.K. & Walton, A.D., 1997. Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics Information Management*, 10(1), pp.5–13. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/09576059710159655 [Accessed December 23, 2015].

Johnson, R., 1997. Examining the validity structure of qualitative research. *Education*. Available at: http://search.proquest.com/openview/3f3af9cbd432a23c7bb1af745cd251f9/1?pq-origsite=gscholar [Accessed August 6, 2016].

Kale, S. & Karaman, A.E., 2012. Benchmarking the Knowledge Management Practices of Construction Firms. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(3), pp.335–344. Available at: http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2012.698910 [Accessed March 5, 2014].

Kalsaas, B.T., Skaar, J. & Thorstensen, R.T., 2015. Pull vs. Push in Construction Work Informed by Last Planner. *Proceedings for the 23th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp.103–112.

Kang, Y., O'Brien, W.J. & O'Connor, J.T., 2012. Analysis of information integration benefit drivers and implementation hindrances. *Automation in Construction*, 22, pp.277–289. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511001646 [Accessed June 10, 2015].

Kaplan, R.S. & Norton, D.P., 2000. Harvard Business Review - Having Trouble With Your Strategy Then Map It - Kaplan & Norton - 2000.pdf. *Focusing Your Organization on Strategy—with the Balanced Scorecard*, 78, p.49. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11143152.

Khanchanapong, T. et al., 2014. The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*, 153, pp.191–203. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092552731400070X [Accessed May 11, 2015].

Khisty, C.J. & Khisty, L.L., 1992. Reflection in Problem Solving and Design. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 118(3), pp.234–239. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291052-3928%281992%29118%3A3%28234%29 [Accessed August 5, 2016].

Knapp, S., 2015. Lean Six Sigma implementation and organizational culture. *International journal of health care quality assurance*, 28(8), pp.855–63. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJHCQA-06-2015-0079 [Accessed October 26, 2015].

Knechtges, P. & Decker, M.C., 2014. Application of Kaizen Methodology to Foster Departmental Engagement in Quality Improvement. *Journal of the American College of Radiology*, 11(12), pp.1126–1130.

Koskela, L., 1992. *Application of new production philosophy to construction* CIFE, ed., Stanford university. Available at: http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR072.pdf [Accessed June 11, 2014].

Koskela, L., 1992. Application of the new production philosophy to construction. Tech. Report. , pp.37–62.

Laryea, S. & Hughes, W., 2011. Risk and price in the bidding process of contractors. Available at: http://centaur.reading.ac.uk/8158/.

LePatner, B., 2007. *Broken Buildings, Busted Budgets: How to Fix America's Trillion-Dollar Construction Industry*, Chicago: The University of Chicago Press.

Liker, J.K. & Meier, D., 2005. *The Toyota Way*, McGraw-Hill Companies. Available at: https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=gaWCsozQpPIC&pgis=1 [Accessed March 8, 2015].

Lin, Y.-C., Cheung, W.-F. & Siao, F.-C., 2014. Developing mobile 2D barcode/RFID-based maintenance management system. *Automation in Construction*, 37, pp.110–121. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513001611.

Lindholm, A. & Leväinen, K.I., 2006. A framework for identifying and measuring value added by corporate real estate. *Journal of Corporate Real Estate*, 8(1), pp.38–46. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/14630010610664796 [Accessed February 13, 2016].

Ling, F.Y.Y. et al., 2004. Predicting Performance of Design-Build and Design-Bid-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(1), pp.75–83. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(75) [Accessed October 26, 2015].

Linters, A., Bastin, C. & Evrard, J., 1986. *Industria: architecture industrielle en Belgique*, Liège: P. Mardaga. Available at: http://www.amazon.ca/INDUSTRIA-ARCHITECTURE-INDUSTRIELLE-EN-BELGIQUE/dp/2870092849.

Losonci, D., Demeter, K. & Jenei, I., 2011. Factors influencing employee perceptions in lean transformations. *International Journal of Production Economics*, 131(1), pp.30–43. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310004913 [Accessed October 22, 2015].

Maiga, A.S. & Jacobs, F.A., 2009. JIT performance effects: A research note. *Advances in Accounting*, 25(2), pp.183–189. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0882611009000273 [Accessed October 22, 2015].

Mao, X., Zhang, X. & AbouRizk, S.M., 2009. Enhancing Value Engineering Process by Incorporating Inventive Problem-Solving Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(5), pp.416–424. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000001 [Accessed August 5, 2016].

Marhani, M.A., Jaapar, A. & Bari, N.A.A., 2012. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, pp.87–98. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812056923 [Accessed May 26, 2014].

Marksberry, P., 2011. The Toyota Way – a quantitative approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(2), pp.132–150. Available at:

http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/20401461111135028 [Accessed August 14, 2016].

Mason, S.E., Nicolay, C.R. & Darzi, A., 2015. The use of Lean and Six Sigma methodologies in surgery: a systematic review. *The surgeon : journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*, 13(2), pp.91–100. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1479666X14001024 [Accessed June 15, 2015].

McCutcheon, R.T., 1992. Science, Technology and the State in the Provision of Low-Income Accommodation: The Case of Industrialized House-Building, 1955-77. *Social Studies of Science*, 22(2), pp.353–371. Available at: http://sss.sagepub.com.docproxy.univ-lille1.fr/content/22/2/353.full.pdf+html.

Memon, A.H., Abdul Rahman, I. & Abdul Azis, A.A., 2011. Preliminary study on causative factors leading toconstruction cost overrun. *International Journal of Sustainable Construction*. Available at: http://eprints.uthm.edu.my/2105/1/IJSCETv2n1p5.pdf [Accessed October 6, 2015].

Le Moigne, R., 2013. *Supply chain management*, Dunod. Available at: http://www.dunod.com/entreprise-economie/entreprise-et-management/gestion-industrielle/ouvrages-professionnels/supply-chain-management-1.

Nakhai, B. & Neves, J.S., 2009. The challenges of six sigma in improving service quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(7), pp.663–684. Available at: http://www.emeraldinsight.com.ezproxy.aub.edu.lb/doi/full/10.1108/02656710910975741 [Accessed February 18, 2015].

O'Brien, W.J., 1998. *Capacity costing approaches for construction supply chain management*. Stanford University.

O'Brien, W.J. et al., 2008. *Construction Supply Chain Management Handbook*, Available at: http://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=XFF75B-vzl4C&pgis=1 [Accessed March 6, 2014].

O'Connor, J.T., 1985. Impacts of Constructability Improvement. *Journal of Construction Engineering and Management*, 111(4), pp.404–410. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9364(1985)111%3A4(404) [Accessed August 11, 2015].

Ortiz, C.A., 2009. *Kaizen and kaizen event implementation*, Prentice Hall.

Parvan, K., Rahmandad, H. & Haghani, A., 2015. Inter-phase feedbacks in construction projects. *Journal of Operations Management*. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696315000637 [Accessed August 24, 2015].

Pekuri, A., Pekuri, L. & Haapasalo, H., 2014. Lean as a Business Model. In *IGLC*. Oslo, pp. 51–60.

Pheng, L.S. & Chuan, C.J., 2001. Just-in-Time Management of Precast Concrete Components. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(6), pp.494–501. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282001%29127%3A6%28494%29 [Accessed October 26, 2015].

Ponz-Tienda, J.L., Pellicer, E. & Yepes, V., 2012. Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 13(1), pp.56–68. Available at: http://www.springerlink.com/index/10.1631/jzus.A1100160 [Accessed September 28, 2015].

Reichheld, F., 2013. The One Number You Need to Grow. *Harvard Business Review*. Available at: https://hbr.org/2003/12/the-one-number-you-need-to-grow [Accessed February 13, 2016].

Resendiz-Vazquez, A., 2010. *L'industrialisation du bâtiment : le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973)*. Available at: http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00554230.

Sarkar, A., Ranjan Mukhopadhyay, A. & Kumar Ghosh, S., 2014. An outline of the "Control Phase" for implementing Lean Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), pp.230–252. Available at: http://www.emeraldinsight.com.ezproxy.aub.edu.lb/doi/full/10.1108/IJLSS-08-2013-0044 [Accessed August 22, 2015].

Sattineni, A. & Bradford, R., 2011. Estimating with bim: a survey of US construction companies. *BIM-cost estimating*, pp.564–569.

Simonetti, J.-O., 1977. Réflexions sur l'industrialisation de la construction et la production du bâti. *Norois*, 96(1), pp.561–572. Available at: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/noroi_0029-182x_1977_num_96_1_3664.

Skjelbred, S., Fossheim, M.E. & Drevland, F., 2015. Comparing Different Approaches to Site Organization and Logistics: Multiple Case Studies. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp.13–22. Available at: http://www.iglc.net/papers/details/1178.

Slack, N., 2015. *Runners, Repeaters, and Strangers* C. L. Cooper, ed., Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

Slaughter, E.S., 2000. Implementation of construction innovations. *Building Research & Information*, 28(1), pp.2–17. Available at: http://dx.doi.org/10.1080/096132100369055 [Accessed January 31, 2014].

Snee, R.D., 2010. Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), pp.9–29. Available at:

http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/20401461011033130 [Accessed August 14, 2016].

Suárez-Barraza, M.F., Ramis-Pujol, J. & Kerbache, L., 2011. Thoughts on kaizen and its evolution: Three different perspectives and guiding principles. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), pp.288–308. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/20401461111189407 [Accessed August 5, 2016].

Suárez-Barraza, M.F. & Rodríguez-González, F.G., 2015. Bringing Kaizen to the classroom: lessons learned in an Operations Management course. *Total Quality Management & Business Excellence*. Available at: http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14783363.2015.1068594#.Vi5WP9IveM8 [Accessed October 26, 2015].

Summerfield, A.J. & Lowe, R., 2012. Challenges and future directions for energy and buildings research. *Building Research & Information*, 40(4), pp.391–400. Available at: http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2012.693839 [Accessed January 21, 2014].

Tam, V.W.Y. & Zeng, S.X., 2013. Sustainable Performance Indicators for Australian Residential Buildings. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 5(4), pp.168–179. Available at: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29LA.1943-4170.0000123 [Accessed August 5, 2016].

Tjahjono, B. et al., 2010. Six Sigma: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), pp.216–233. Available at: http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/20401461011075017 [Accessed February 8, 2016].

Vaha, P. et al., 2004. *Construction logistics*,

Vukomanović, M., Radujković, M. & Nahod, M.M., 2010. Leading, lagging and perceptive performance measures in the construction industry. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal*, 2(1), pp.103–111. Available at: http://hrcak.srce.hr/65030 [Accessed April 14, 2014].

Warszawski, A., 2003. *Industrialized and Automated Building Systems: A Managerial Approach*, Available at: https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=1puRAgAAQBAJ&pgis=1 [Accessed February 18, 2015].

Whang, S.-W. & Min, S., 2016. Building Information Modeling (BIM) for Project Value: Quantity Take-Off of Building Frame Approach. *International Journal of Applied Engineering Research ISSN*, 11(12), pp.973–4562.

Winters-Miner, L.A. et al., 2015. *Practical Predictive Analytics and Decisioning Systems for Medicine*, Elsevier. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124116436000740 [Accessed October 6, 2015].

Womack, J.P. & Jones, D.T., 1996. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, Available at: https://books.google.fr/books/about/Lean_thinking.html?id=DJwoAQAAMAAJ&pgis=1 [Accessed October 6, 2015].

Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D., 1990. *The Machine That Changed the World*, Simon and Schuster. Available at: https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=dP_c3EZwUusC&pgis=1 [Accessed March 8, 2015].

Yasin, M.M., Small, M.H. & Wafa, M.A., 2003. Organizational modifications to support JIT implementation in manufacturing and service operations. *Omega*, 31(3), pp.213–226. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048303000240 [Accessed October 22, 2015].

Yeung, J.F.Y. et al., 2013. Developing a Benchmarking Model for Construction Projects in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(6), pp.705–716. Available at: http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/handle/10397/5746 [Accessed April 14, 2014].

Yu, H. et al., 2013a. Lean Transformation in a Modular Building Company: A Case for Implementation. *Journal of Management in Engineering*, 29(1), pp.103–111. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000115 [Accessed March 17, 2015].

Yu, H. et al., 2013b. Lean Transformation in a Modular Building Company: A Case for Implementation. *Journal of Management in Engineering*, 29(1), pp.103–111. Available at: http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000115 [Accessed October 11, 2015].

Annexe 1: Schéma de l'outil PDRI

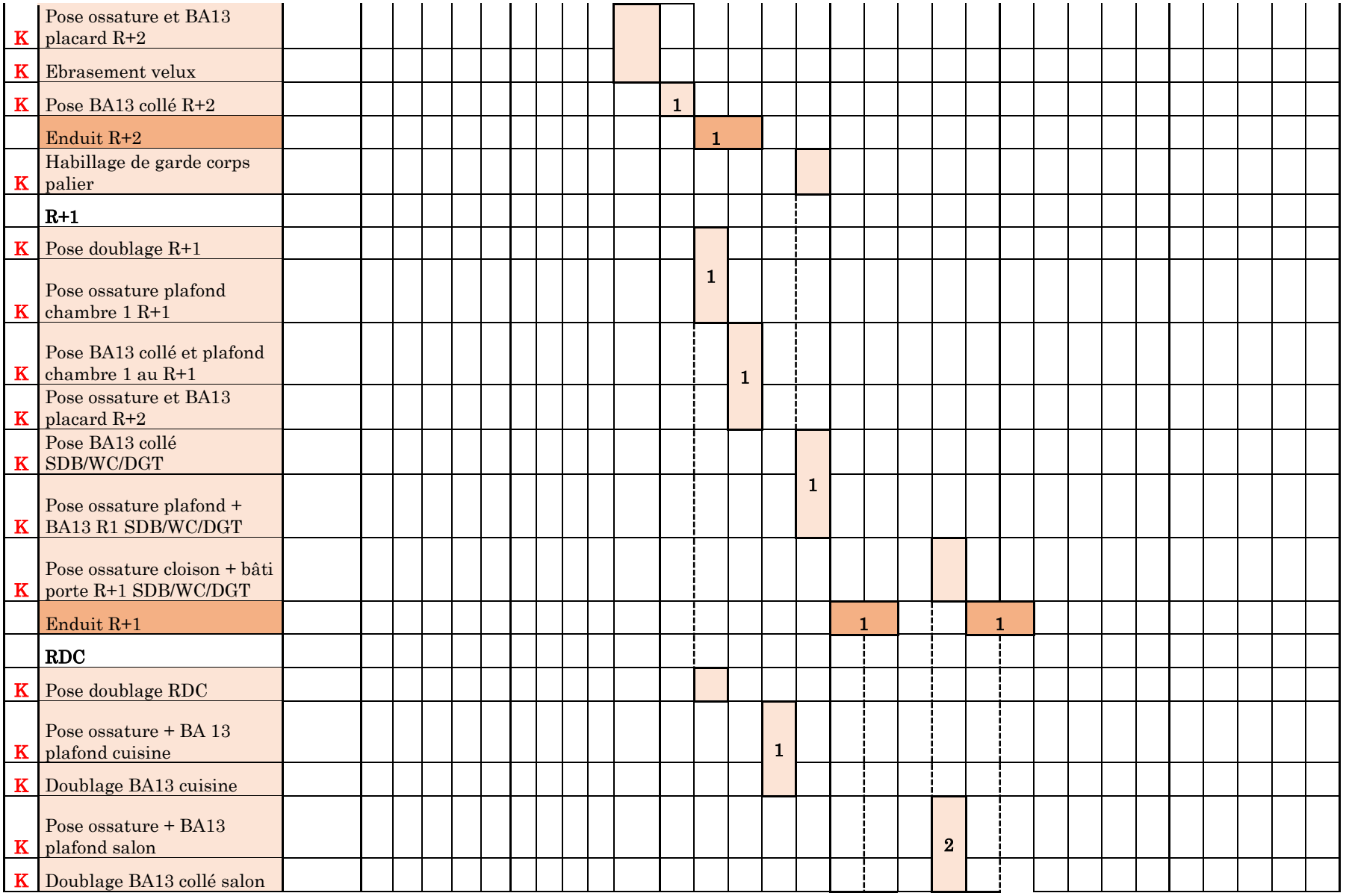
			Niveau de définition						
Sections		**Pondérations**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Score**
I. Définition		**413**							
	A. Business stratégie	**214**							
	Fonction du bâtiment	44							
	Motif commercial	27							
	Business plan	26							
	Analyse économique	21							
	Besoins du projet	31							
	Expansion future	22							
	Choix de l'emplacement	28							
	Objectifs du projet	15							
	B. Philosophie d'entreprise	**68**							
	Vision de fiabilité	18							
	Vision de maintenance	16							
	Vision de fonctionnalités	15							
	Vision de conception	19							
	C. Exigences du projet	**131**							
	Analyse de valeur	19							
	Critères de conception	24							
	Installations existantes	24							
	Scope du projet	17							
	Planning du projet	20							
	Etude de prix	27							
II. Conception		**429**							
	D. Informations sur le terrain	**109**							
	Plan du site	14							
	Etude des sols	14							
	Informations géotechniques	19							
	Exigences réglementaires	14							
	Evaluation environnementale	16							
	Approvisionnement des services publics	13							
	Système de sécurité	8							
	Traitement de l'eau et des déchets	11							
	E. Planification de chantier	**162**							
	Performance	16							
	Espaces du bâtiment	21							

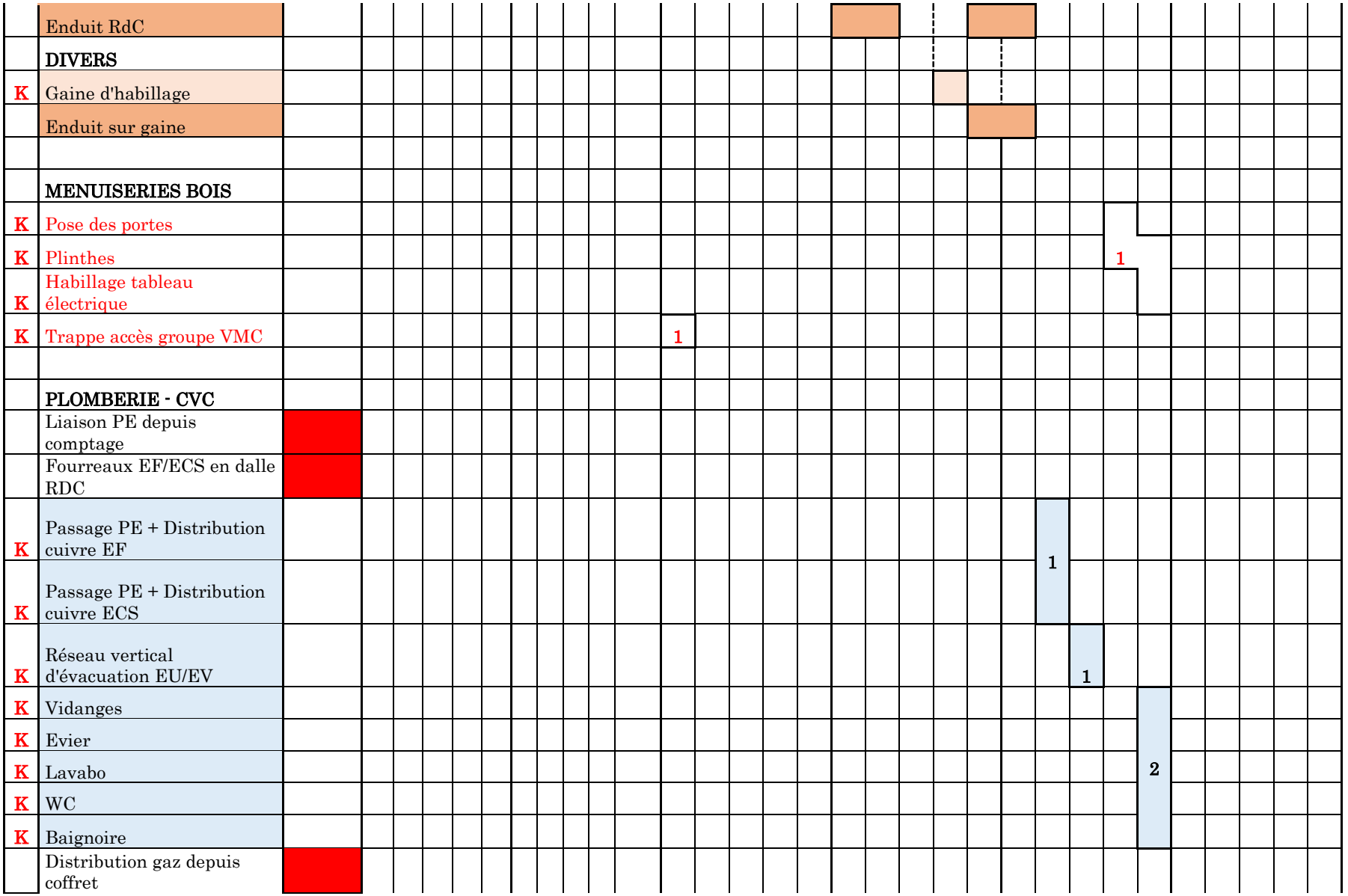
	Co activité	10							
	Découpage du projet	13							
	Phasage	15							
	Base vie et accès	13							
	Relations fonctionnelle des espaces	10							
	Chargement / déchargement / Stockage	8							
	Transports	9							
	Finitions intérieures	15							
	Caractéristiques des espaces	13							
	Equipements et ameublements	14							
	Fenêtres et ouvertures	5							
	F. Paramètres de conception	**122**							
	Génie Civil	14							
	Conception architectural	22							
	Conception structurel	18							
	Conception mécanique	20							
	Conception électrique	15							
	Système de sécurité du bâtiment	10							
	Analyse de la constructibilité	14							
	Spécifications technologiques	9							
	G. Equipements	**36**							
	Liste des équipements	15							
	Localisation des équipements	10							
	Besoins pour les équipements	11							
III. Exécution		**158**							
	H. Approvisionnements	**25**							
	Identification des points critiques	14							
	Procédures	11							
	J. Livrables	**11**							
	Numériques	4							
	Documents	7							
	K. Contrôle	**62**							
	Contrôle de qualité	8							
	Contrôle de gestion	13							
	Gestion du planning	14							
	Management des risques	18							
	Procédures de sécurité	9							
	L. Plans d'exécution	**60**							
	Organigramme	10							
	Approbation du client	11							
	Mode d'attribution du marché	15							
	Stratégie de conception / construction	15							

Annexe 2: Planning chantier test#2

		PHASE GO	Sem-1					Sem-2					Sem-3					Sem-4					Sem-5					Sem-6				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	FAIENCE																															
	Primaire d'étanchéité																															
K	Pose faïence																							1								
	Joint																									1						
	CHARPENTE																															
	Dépose du brisis																															
	Chevêtre pour fenêtre de toit																															
	Réfection du brisis				2																											
	Réfection de la lucarne																															
	Réfection du chéneau																															
	Fermeture trémie cheminée		3																													
	Fermeture trémie escalier																															
	Ouverture de trémie pour monte matériaux R+2/R+1			2																												
	Ouverture de trémie R+2															2																
	Ouverture de trémie R+1																			2												

	COUVERTURE																															
	Pose échaffaudage		X																													
	Dépose de la couverture			2																												
	Couverture cis accessoires							2																								
	Chéneau																															
	Fenêtre de toit																															
	Lucarne									2																						
	Descente EP + Dauphin fonte																															
	MENUISERIES ALUMINIUM																															
K	Porte extérieure																				1											
	Barre d'appui				1																											
	SERRURERIE																															
	Escalier hélocoïdal RDC																								1							
	Escalier hélocoïdal R+1																									1						
	Garde-corps palier																	1														
	MENUISERIES PVC																															
K	Pose des 7 châssis PVC											2																				
	PLATRERIE																															
	R+2																															
K	Pose ossature plafond R+2										2																					
K	Pose doublage R+2																															
K	Pose Isolant + BA13 plafond / rampants R+2											2																				


K Pose ossature et BA13 placard R+2
K Ebrasement velux
K Pose BA13 collé R+2
Enduit R+2
K Habillage de garde corps palier
R+1
K Pose doublage R+1
K Pose ossature plafond chambre 1 R+1
K Pose BA13 collé et plafond chambre 1 au R+1
K Pose ossature et BA13 placard R+2
K Pose BA13 collé SDB/WC/DGT
K Pose ossature plafond + BA13 R1 SDB/WC/DGT
K Pose ossature cloison + bâti porte R+1 SDB/WC/DGT
Enduit R+1
RDC
K Pose doublage RDC
K Pose ossature + BA 13 plafond cuisine
K Doublage BA13 cuisine
K Pose ossature + BA13 plafond salon
K Doublage BA13 collé salon
1
1
1
1
1
1
1
1
2


Enduit RdC
DIVERS
K Gaine d'habillage
Enduit sur gaine
MENUISERIES BOIS
K Pose des portes
K Plinthes
K Habillage tableau électrique
K Trappe accès groupe VMC
PLOMBERIE - CVC
Liaison PE depuis comptage
Fourreaux EF/ECS en dalle RDC
K Passage PE + Distribution cuivre EF
K Passage PE + Distribution cuivre ECS
K Réseau vertical d'évacuation EU/EV
K Vidanges
K Evier
K Lavabo
K WC
K Baignoire
Distribution gaz depuis coffret
1
1
1
1
2

K	Chaudière cis raccordements																															
K	Ventouse verticale cis percement																															
K	Réseaux de chauffage																								1							
K	Radiateurs																										2						
K	Régulation																															
K	VMC																									1							
	ELECTRICITE																															
	Fourreaux en dalle RDC																															
K	Distribution Elec/Tel/TV								2																							
K	GTL																										2						
K	Appareillage																															
K	Antenne + raccordement											2																				

Déploiement de la théorie du Lean dans la chaîne de valeur de la construction

La théorie du Lean est une forme d'organisation et de management communément adoptée dans l'industrie manufacturière et qui a fait ses preuves depuis plusieurs décennies. Le Lean apporte une philosophie basée sur la chasse aux gaspillages et supportée par des principes traduits en méthodes opérationnelles à appliquer pour gagner en efficacité. Alors que la recherche de l'efficacité a toujours été d'actualité chez les constructeurs, le Lean Construction apporte une nouvelle forme d'organisation opérationnelle et managériale. La littérature sur le Lean Construction fournit et explique les principes du « Lean en industrie » pour gagner en performance. En revanche, un gap existe encore entre ces principes et leur application effective en construction. On explorera l'adaptabilité des principes du Lean tout au long de la chaîne de construction avec des cas d'application concrets. Le premier et le deuxième chapitre introduisent le Lean en promotion immobilière en mettant en évidence le combat que mènent la plupart des entreprises de construction pour assurer la livraison en temps et en budget de leurs projets et ainsi assurer la satisfaction du client. Le troisième chapitre illustre un cadre structuré d'application du Lean en Etude de Prix. Les chapitres 4, 5 et 6 investiguent le Lean en phase de « Construction » et en particulier la logistique chantier au travers la pratique du Kitting. Cette pratique émergente en construction sera liée à la théorie du Lean et le chapitre proposera un modèle d'implémentation du Kitting avec une application sur 3 chantiers-tests expérimentaux.

Mots clés : Lean, chaîne de valeur de la construction, application, adaptabilité, promotion immobilière, appel d'offre, construction, Kitting, logistique, Lean Construction, performance, indicateurs

Deploying Lean theory in the construction value chain

Lean theory (also referred to as Lean Management or Lean) is a systematic way of thinking, first developed in the manufacturing industry, to eliminate waste. Concrete and practical by nature, this new "way of managing the production" affects the day-to-day practices and eventually aims at rationalizing the processes through the application of operational methods. While construction practitioners and researchers have always been concerned with the issue of efficiency, Lean theory applied to construction offers new alternative forms of organizing the production in the construction industry. However, more research is required to fill the existing gap between these principles and their actual application in construction. Using infield case studies, we explore the adaptation of lean principles throughout the construction value chain. The first and second chapters introduce lean manufacturing in real estate development and highlight the struggle of majority of construction companies to complete projects on time and within budgets, thus ensuring customer satisfaction. The third chapter presents a structured framework for the application of Lean in the "Bidding phase". Chapters 4, 5 and 6 explore the "Construction" phase and particularly site logistics through Kitting; we'll see how this new emerging practice in construction falls within the Lean theory. Finally, we wrap up with an implementation model that was tested in 3 experimental pilot projects.

Keywords: Lean, construction value chain, application, adaptability, real estate, bid, construction, Kitting, logistics, Lean Construction, performance, indicators