



Titre: Gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 au sein
d'entreprises manufacturières

Auteur: Sophie Richard

Date: 2019

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Richard, S. (2019). Gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 au sein
d'entreprises manufacturières [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal].
Citation: PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/3948/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/3948/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Robert Pellerin, & Jocelyn Bellemare
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 au sein d'entreprises
manufacturières**

SOPHIE RICHARD

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Juin 2019

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 au sein d'entreprises manufacturières

présenté par **Sophie RICHARD**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Fabiano ARMELLINI, président

Robert PELLERIN, membre et directeur de recherche

Jocelyn BELLEMARE, membre et codirecteur de recherche

Laurent JOBLOT, membre

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux directeurs de recherche, M. Robert PELLERIN, professeur à Polytechnique Montréal, et M. Jocelyn BELLEMARE, professeur à l'UQAM. L'encadrement qu'ils m'ont offert tout au long de ce projet de recherche fut d'une grande aide, surtout lors des moments plus difficiles où la motivation semblait s'être dissipée. De plus, leur support a facilité ma transition vers un projet de recherche.

Mes remerciements vont également aux membres du jury, M. Fabiano ARMELLINI, professeur à Polytechnique Montréal, et M. Laurent JOBLLOT, professeur des Arts et Métiers à Cluny, pour l'intérêt porté à ce travail de recherche en acceptant d'examiner ce mémoire.

J'aimerais aussi remercier ma famille qui m'a appuyée et encouragée lorsque j'ai pris la décision de changer de programme de maîtrise afin d'effectuer une maîtrise recherche et de sortir de ma zone de confort.

Finalement, j'ai une pensée particulière pour mon amoureux qui m'a encouragée à me dépasser et qui a été compréhensif lors des périodes plus stressantes et difficiles. Ses attentions, son aide et sa confiance en moi m'ont permis de surmonter les défis survenus au cours de ce projet.

RÉSUMÉ

L'arrivée d'une quatrième révolution industrielle, mieux connue sous le nom d'Industrie 4.0 (I4.0), promet des améliorations de la productivité, de la flexibilité et de l'intégration des systèmes de production. Pour répondre à ce défi, les entreprises doivent numériser leurs processus en implantant divers leviers technologiques, ce qui devrait favoriser les décisions décentralisées grâce à la connectivité des systèmes et la communication en temps réel.

Malgré l'intérêt croissant des communautés scientifiques et industrielles à propos d'I4.0, il semble qu'aucune méthode ne permet aux entreprises manufacturières de sélectionner et de prioriser les différents leviers technologiques nécessaires lors d'une implantation. De ce fait, nous constatons que le nombre d'opportunités et de solutions potentielles est innombrable et que peu d'auteurs ont abordé la question du choix et de la planification d'un grand nombre de projets d'amélioration dans la littérature. D'ailleurs, les études ont plutôt tendance à se concentrer sur l'évaluation et l'implantation d'une seule technologie alors que la transformation d'une usine intelligente nécessite une consolidation et une coordination de maintes initiatives afin d'atteindre l'objectif recherché.

Nos recherches, basées sur la littérature scientifique et sur les observations faites en entreprise, nous ont donc permis de mieux comprendre comment cette composante devient primordiale. Sans une méthode claire et structurée, les entreprises manufacturières ne sont pas en mesure d'initier de manière efficace la numérisation de leur processus via un déploiement des leviers technologiques d'I4.0. Lors de ce projet de recherche, une entreprise manufacturière de l'industrie textile et de produits textiles a clairement démontré la nécessité de concevoir une méthode simple pour organiser sa transformation d'une usine traditionnelle vers une usine intelligente, puisqu'elle est sensibilisée aux difficultés que ce changement apporte. La méthodologie DRM (*Design Research Methodology*) a été employée afin de répondre à cette problématique. Cette méthodologie de recherche appliquée mixte, jumelant des études empiriques et des approches scientifiques, nous a permis de développer et de valider une méthodologie de planification d'une transformation 4.0.

Dans ce contexte, nous proposons une approche combinant les méthodes et techniques existantes propres aux projets de mise en œuvre d'Industrie 4.0 et aux pratiques courantes de gestion du portefeuille de projets. Par conséquent, la méthode de gestion de portefeuille proposée permet de structurer et de planifier plusieurs projets liés à la transformation d'Industrie 4.0. Elle est donc

mieux adaptée pour les entreprises manufacturières désirant numériser leurs processus en implantant divers leviers technologiques d'Industrie 4.0. De plus, l'approche de gestion de portefeuille proposée est conforme à la définition formelle d'une méthode en proposant à la fois une séquence d'activités définies et en déterminant clairement les techniques et livrables attendus pour chacune d'elle.

Cette méthode fut appliquée à un contexte réel d'entreprise manufacturière désirant s'intégrer à Industrie 4.0, ce qui nous a permis de définir un portefeuille de projets d'Industrie 4.0 pour cette entreprise de l'industrie du vêtement et, par le fait même, de confirmer la faisabilité de la méthode. Par conséquent, elle constitue un premier pas dans la sélection et priorisation de différents leviers technologiques d'I4.0 pour les entreprises manufacturières, grâce à une méthode claire et structurée, qui peut facilement être adaptée au contexte de chaque entreprise.

ABSTRACT

The arrival of a fourth industrial revolution, better known as Industry 4.0 (I4.0), promises improvements in productivity, flexibility and integration of production systems. To meet this challenge, companies must digitize their processes by implementing various technological levers, which should in fact encourage decentralized decision-making through system connectivity and real-time communication.

Despite the growing interest of the scientific and industrial communities in I4.0, it seems that there is no method by which manufacturing companies can select and prioritize the various technological levers required during implementation. As a result, we find that the number of opportunities and potential solutions is countless and that few authors have addressed the issue of selecting and planning a large number of improvement projects in the literature. Moreover, studies tend to focus on the evaluation and implementation of a single technology, while the transformation of an intelligent plant requires the consolidation and coordination of many initiatives to achieve the desired objective.

Our research, based on the scientific literature and on observations made in a company, has therefore allowed us to better understand how this component becomes essential. Without a clear and structured method, manufacturing companies are not able to effectively initiate the digitization of their processes through the deployment of I4.0 technology levers. During this research project, a manufacturing company in textile industry clearly demonstrated the need to design a simple method to organize its transformation from a traditional to an intelligent plant, since it is aware of the difficulties that this change brings. The Design Research Methodology (DRM) was used to address this issue. This mixed applied research methodology, combining empirical studies and scientific approaches, has allowed us to develop and validate a method for planning a 4.0 transformation.

In this context, we propose a method that combines existing methods and techniques specific to Industry 4.0 implementation projects and to current project portfolio management practices. As a result, the proposed portfolio management method allows for the structuring and planning of several projects related to Industry 4.0 transformation. It is therefore better suited for manufacturing companies wishing to digitize their processes by implementing various technological levers of Industry 4.0. In addition, the proposed portfolio management approach is

consistent with the formal definition of a method by proposing both a sequence of defined activities and a clear definition of the techniques and deliverables expected for each method.

This method was applied to a real manufacturing company context wishing to integrate with Industry 4.0, which allowed us to define a portfolio of Industry 4.0 projects for this company in apparel industry and therefore, to confirm the feasibility of the method. Consequently, it represents a first step in the selection and prioritization of different I4.0 technological levers for manufacturing companies, through a clear and structured method, which can easily be adapted to the context of each company.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIV
LISTE DES ANNEXES.....	XV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1 Introduction	4
2.2 Stratégie de recherche de la revue de littérature	4
2.3 Méthodes d’implantation d’Industrie 4.0	7
2.4 Revue critique	15
2.5 Conclusion.....	19
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	20
3.1 Introduction	20
3.2 Objectifs de recherche	20
3.3 Méthodologie de recherche	22
3.4 Conclusion.....	24
CHAPITRE 4 PREMIÈRE ÉTUDE DESCRIPTIVE	26
4.1 Introduction	26
4.2 Mise en contexte.....	26

4.3	Description du cas étudié	27
4.4	Diagnostic et observations	28
4.5	Analyse.....	32
4.6	Conclusion.....	32
CHAPITRE 5 ÉTUDE NORMATIVE.....		34
5.1	Introduction	34
5.2	Développement de la méthode	34
5.2.1	Analyse et sélection des méthodes	34
5.2.2	Description des méthodes sélectionnées	37
5.2.3	Combinaison des modèles.....	45
5.2.4	Amélioration de la méthode initiale	46
5.3	Méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0.....	47
5.3.1	Identification	49
5.3.2	Catégorisation.....	50
5.3.3	Évaluation.....	50
5.3.4	Sélection et priorisation.....	51
5.3.5	Balancement	51
5.3.6	Communication	51
5.4	Conclusion.....	52
CHAPITRE 6 SECONDE ÉTUDE DESCRIPTIVE.....		53
6.1	Introduction	53
6.2	Données recueillies lors de l'application de la méthode	53
6.2.1	Identification	53
6.2.2	Catégorisation.....	57

6.2.3	Évaluation.....	57
6.2.4	Sélection et priorisation.....	58
6.2.5	Balancement.....	59
6.2.6	Communication.....	60
6.3	Discussion	60
6.4	Conclusion.....	61
CHAPITRE 7	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	62
RÉFÉRENCES.....		65
ANNEXES		70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Mots-clés de la revue de littérature	5
Tableau 2.2	Publications et étape de sélection	7
Tableau 2.3	Modèles existants pour la gestion de projets d'Industrie 4.0	8
Tableau 2.4	Classification des modèles existants	16
Tableau 4.1	Liste des processus de l'entreprise XYZ	29
Tableau 5.1	Processus d'alignement stratégique.....	35
Tableau 5.2	Classification des méthodes existantes d'implantation d'I4.0	36
Tableau 5.3	Comparaison des forces et faiblesses des types de méthodes	45
Tableau 5.4	Groupes technologiques	50
Tableau 6.1	Causes transformées en objectifs	54
Tableau 6.2	Exemples de description clé des projets proposés.....	55
Tableau 6.3	Projets catégorisés	57
Tableau 6.4	Grille d'évaluation multicritères pondérés	58
Tableau 6.5	Enveloppe stratégique	58
Tableau 6.6	Matrice de dépendance	59
Tableau 6.7	Changements des priorités.....	59
Tableau E.1	Processus, activités, techniques, intrants et extrants de la méthode	88

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Méthodologie de recherche.....	6
Figure 3.1 Méthodologie de recherche utilisée	23
Figure 4.1 Diagramme d'arborescence des problèmes	31
Figure 5.1 Processus, activités et techniques du canevas de digitalisation d'Heberle et al. (2017)	38
Figure 5.2 Processus, activités et techniques du modèle conceptuel pour initier la numérisation et maintenir la compétitivité de Von Leipzig et al. (2017)	40
Figure 5.3 Processus, activités et techniques de la gestion de portefeuille du Project Management Institute (2008)	41
Figure 5.4 Modèle de procédure de la méthode proposée.....	48
Figure 6.1 Cartographie des initiatives et objectifs.....	56
Figure A.1 Cartographie du processus traiter une demande	70
Figure A.2 Cartographie du processus faire la gamme de montage.....	70
Figure A.3 Cartographie du processus estimer les temps de production	71
Figure A.4 Cartographie du processus définir le prix de vente.....	71
Figure A.5 Cartographie du processus évaluer la demande d'un client.....	72
Figure A.6 Cartographie du processus négocier le prix et les conditions	72
Figure A.7 Cartographie des processus approvisionner et planifier la production	73
Figure A.8 Cartographie du processus commander les garnitures.....	73
Figure A.9 Cartographie du processus créer une fiche technique.....	74
Figure A.10 Cartographie du processus trier et séparer les lots reçus	74
Figure A.11 Cartographie du processus créer la commande.....	74
Figure A.12 Cartographie du processus imprimer les coupons	75
Figure A.13 Cartographie du processus faire les paquets	75

Figure A.14	Cartographie du processus effectuer les échantillons	76
Figure A.15	Cartographie du processus effectuer l'ordonnancement.....	76
Figure A.16	Cartographie du processus exécuter la commande	77
Figure A.17	Cartographie du processus gérer l'expédition.....	77
Figure A.18	Cartographie du processus facturer le client	78
Figure A.19	Cartographie du processus analyser les données de production	78
Figure A.20	Cartographie du processus prospector de nouveaux clients.....	79
Figure B.1	Sélection des processus	80
Figure C.1	Sélection des activités	82
Figure D.1	Sélection des techniques	85
Figure F.1	Diagramme d'interrelations des intrants et extrants	93

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

BCG	<i>Boston Consulting Group</i>
CPS	<i>Cyberphysical systems</i>
DRM	<i>Design Research Methodology</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
I4.0	Industrie 4.0
IA	Intelligence artificielle
IdO	Internet des objets
IoT	<i>Internet of Things</i>
M2M	<i>Machine-to-machine</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MEM	<i>Mandatory Elements of a Method</i>
PME	Petite et moyenne entreprise
PMI	Institut de gestion de projet (<i>Project Management Institute</i>)

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Cartographie des processus.....	70
Annexe B	Sélection des processus	80
Annexe C	Sélection des activités	82
Annexe D	Sélection des techniques	85
Annexe E	Processus, activités, techniques, intrants et extrants de la méthode.....	88
Annexe F	Diagramme d'interrelations des intrants et des extrants.....	93

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

La concurrence mondiale croissante entre des entreprises de différentes régions ayant des conditions économiques distinctes entraîne les entreprises à augmenter la variété de leurs produits (Weyer et al., 2015) afin de mieux répondre aux besoins de leurs clients, et ce, en ayant recours à la personnalisation de masse (Luder et al., 2018). En outre, elles doivent augmenter la flexibilité de leurs systèmes de production, que ce soit au niveau de la capacité des ressources, des quantités produites et des technologies utilisées (Luder et al., 2018; Weyer et al., 2015) dans le but de mieux répondre à un marché volatil et hypercompétitif (Ghobakhloo, 2018). Les entreprises manufacturières désirent également réduire le cycle de vie des produits et de leurs systèmes de production dans le but de répondre rapidement aux demandes de leurs clients (Luder et al., 2018; Weyer et al., 2015).

Ces trois tendances mènent alors à une complexité accrue des systèmes de production devant être considérée tout au long du cycle de vie de ces systèmes (Luder et al., 2018). De plus, les entreprises doivent être en mesure de répondre rapidement aux besoins changeants des consommateurs afin de rester concurrentiel dans un marché dynamique (Sanders et al., 2017). Par conséquent, ce contexte industriel fortement compétitif engendre des besoins de progrès technologiques en vue d'augmenter la productivité des entreprises manufacturières, de réduire leurs risques, de protéger leur environnement et de produire des produits de qualité (Kolberg & Zuhlke, 2015; Lu, 2017; Stock & Seliger, 2016; Varghese & Tandur, 2014 cités par Moktadir et al., 2018), et ce, tout en considérant les tendances de la gestion de production.

Les progrès technologiques étant à l'origine des améliorations de la productivité ainsi qu'au début des révolutions industrielles (Rübmann et al., 2015; Strozzi et al., 2017), il est possible de comprendre l'arrivée d'une quatrième révolution industrielle ayant pour but de mieux répondre au marché fortement compétitif et volatil (Moica et al., 2018). Ainsi, le terme Industrie 4.0, a été utilisé pour la première fois publiquement lors de la foire Hanovre en 2011 (Kagermann et al., 2011). Il découle d'une initiative du gouvernement allemand se concentrant sur la complexité croissante des systèmes de production et de leurs cycles de vie en améliorant l'intégration verticale et horizontale de ces systèmes (OPC Foundation, 2018). Industrie 4.0 a donc pour but d'augmenter la flexibilité des systèmes de production, permettant la personnalisation des produits et services (Kannengiesser & Muller, 2018). Cette quatrième révolution industrielle (Drath & Horch, 2014)

réfère à un ensemble de technologies, tels les données massives, l'intelligence artificielle, l'internet des objets, les systèmes cyberphysiques, les machines autonomes et les communications intermachines (Danjou et al., 2017). Ces leviers technologiques permettent les décisions décentralisées basées sur la connectivité et la communication en temps réel entre les systèmes et les machines afin de développer et améliorer les processus, les produits et les services (Danjou et al., 2017).

Industrie 4.0 étant un concept nouveau incluant diverses technologies, les entreprises manufacturières n'ont actuellement pas de méthode concrète leur permettant de sélectionner et prioriser les technologies contribuant à la création de systèmes et d'usines intelligents (Heberle et al., 2017; Jung et al., 2016). En outre, les études se concentrent généralement sur l'évaluation d'une seule technologie, ce qui n'est pas représentatif de la réalité (Jung et al., 2016), car le processus de transformation de la fabrication au sein de ce nouveau contexte requiert habituellement l'implantation de plusieurs technologies (Danjou et al., 2017; De Carolis et al., 2018; Rübmman et al., 2015). De plus, chacune de ces technologies entraîne différentes initiatives de transformation ayant un impact sur la stratégie de l'entreprise. Ces initiatives, constituant chacun un projet, doivent donc être gérées au sein d'un ensemble de projets d'implantation technologique dans l'optique d'augmenter le taux de réussite, d'améliorer l'alignement stratégique et d'optimiser l'utilisation des ressources de l'entreprise. La gestion de portefeuille de projets semble particulièrement adéquate pour combler les lacunes des méthodes existantes puisqu'elle se concentre sur la gestion de plusieurs projets en tant que groupe afin d'atteindre des objectifs stratégiques, alors que les projets se font concurrence pour obtenir une part des ressources limitées de l'entreprise (Project Management Institute, 2017b). Reconnaisant cette problématique, les principes de gestion de portefeuille de projets seront combinés aux méthodes d'implantation d'Industrie 4.0 existantes, dans la perspective de proposer une méthode d'implantation sélectionnant et priorisant plusieurs projets d'Industrie 4.0 au sein d'entreprises manufacturières, soit une méthode de gestion de portefeuille de projets d'I4.0.

Le présent document est structuré en sept chapitres. Le premier chapitre fait état du contexte de recherche en présentant les spécificités de l'environnement de l'industrie manufacturière actuel. Le chapitre 2 présente une revue de littérature scientifique sur les méthodes d'implantation des technologies d'Industrie 4.0, tout en introduisant les méthodes jugées comme étant les plus complètes à ce jour, ainsi qu'une analyse critique identifiant leurs limitations. Puis, les objectifs de

recherche et la méthodologie de recherche de ce projet sont exposés au sein du chapitre 3. Le chapitre 4 décrit le contexte d'une entreprise manufacturière ayant manifesté le désir de transformer son usine traditionnelle en une usine intelligente. Découlant de la revue de littérature et des observations faites en entreprise, le chapitre 5 propose une méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0. Puis, dans un effort de vérification de la faisabilité, cette méthode est appliquée à une entreprise manufacturière au chapitre 6. Pour finir, le chapitre 7 énonce les contributions, les implications et les limitations de ce projet, tout en proposant de nouvelles opportunités de recherche.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Introduction

Ce chapitre analyse les méthodes d'implantation d'Industrie 4.0 adaptées au contexte de sélection et de priorisation de plusieurs technologies. Pour ce faire, une stratégie de recherche est déterminée. Puis, une revue des travaux scientifiques résultant de cette stratégie est présentée. Par la suite, une analyse critique identifie les limitations et faiblesses des méthodes existantes en les comparant aux éléments obligatoires d'une méthode selon Zellner (2011).

2.2 Stratégie de recherche de la revue de littérature

Une revue de littérature systématique (Tranfield et al., 2003) concernant les articles publiés sur les méthodes de sélection et de déploiement de projets d'Industrie 4.0 a été effectuée dans la base de données Scopus. Celle-ci a permis d'identifier les articles proposant une méthode d'implantation de projets d'I4.0 se référant aux divers groupes technologiques et ayant pour but l'amélioration des processus de l'entreprise. Toutefois, il semble justifier de mentionner que de brèves revues de littérature non systématiques ont d'abord été effectuées afin de déterminer les thèmes et mots-clés permettant d'obtenir la sélection de publications la plus appropriée pour ce travail de recherche. De ce fait, cette revue de littérature se concentre sur des publications traitant trois thèmes, soit : Industrie 4.0, méthode de sélection et projet d'amélioration. Les mots-clés utilisés pour chaque thème sont présentés dans le tableau 2.1 et ils ont été appliqués lors de la recherche au sein des résumés, mots-clés et titres des publications publiées depuis 2011, soit l'année d'apparition du concept Industrie 4.0 (Kagermann et al., 2011).

Ensuite, des critères d'inclusion et d'exclusion, tels que la langue, les domaines d'application et le type de document, ont été appliqués à la recherche effectuée au sein de la base de données Scopus. Les publications exclues ont été analysées brièvement afin de confirmer la sélection de ces critères. En raison de la nouveauté du phénomène étudié, la stratégie de recherche a été établie de façon à recueillir toutes les publications se rapprochant des trois thèmes génériques de ce projet de recherche, de manière à éviter qu'une référence pertinente ne soit pas incluse lors de cette recherche. Alors, la quantité des références analysée est importante. Par conséquent, une analyse méthodique des titres et résumés a été effectuée et a permis d'éliminer un grand nombre de

publications se concentrant sur une seule technologie et donc ne pouvant pas intégrer le volet de sélection et priorisation visé lors de cette revue de littérature. Une relecture des résumés a ensuite été faite afin de cibler les publications pertinentes à la problématique de recherche nécessitant une lecture complète. Un grand nombre de publications a été exclu à nouveau lors de cette analyse puisqu'ils ne proposaient pas de pistes de solution pour l'implantation d'Industrie 4.0. Puis, non seulement lors de la période de revue de littérature, soit de mars à octobre 2018, mais tout au long de ce projet de recherche, soit jusqu'en juin 2019, des alertes sur diverses stratégies de recherche dans les bases de données Scopus et Engineering Village ont permis de faire un suivi efficace sur les plus récentes parutions. De plus, suite à la lecture des articles retenus, les méthodes mentionnées au sein de leurs revues de littérature ont également été considérées si elles n'étaient pas ressorties lors de la stratégie de recherche initiale, en raison de leur absence sur la base de données Scopus. La figure 2.1 présente ainsi le processus de sélection des publications alors que le tableau 2.2 expose les publications et l'étape à laquelle elles ont été sélectionnées.

Tableau 2.1 Mots-clés de la revue de littérature

Industrie 4.0	Projet d'amélioration	Méthode de sélection
<i>"industrie 4.0" OR "industry 4.0" OR "industrial 4.0" OR "industrial internet" OR "smart production" OR "smart manufacturing" OR "smart manufactory" OR "smart manufactories" OR "smart factory" OR "smart factories" OR "smartfactory" OR "factory of the future" OR "factories of the future" OR "advanced manufactory" OR "advanced manufactories" OR "intelligent manufacturing" OR "intelligent manufactory" OR "intelligent manufactories" OR "industry of the future" OR "industries of the future" OR "high value manufacturing" OR "smart industry" OR "smart industries" OR "smartindustry" OR "manufacturing 4.0" OR "integrated industry" OR "digital factory" OR "digital factories"</i>	<i>project* OR initiative* OR portfolio* OR "lean management" OR "lean manufacturing" OR "business process improvement" OR "BPI" OR "continuous improvement" OR reengineering OR "BPR"</i>	<i>Selection OR identification OR opportunity OR opportunities OR alternative OR alternatives OR option OR options OR decision OR decisions OR method* OR roadmap OR "guiding framework" OR "maturity model"</i>

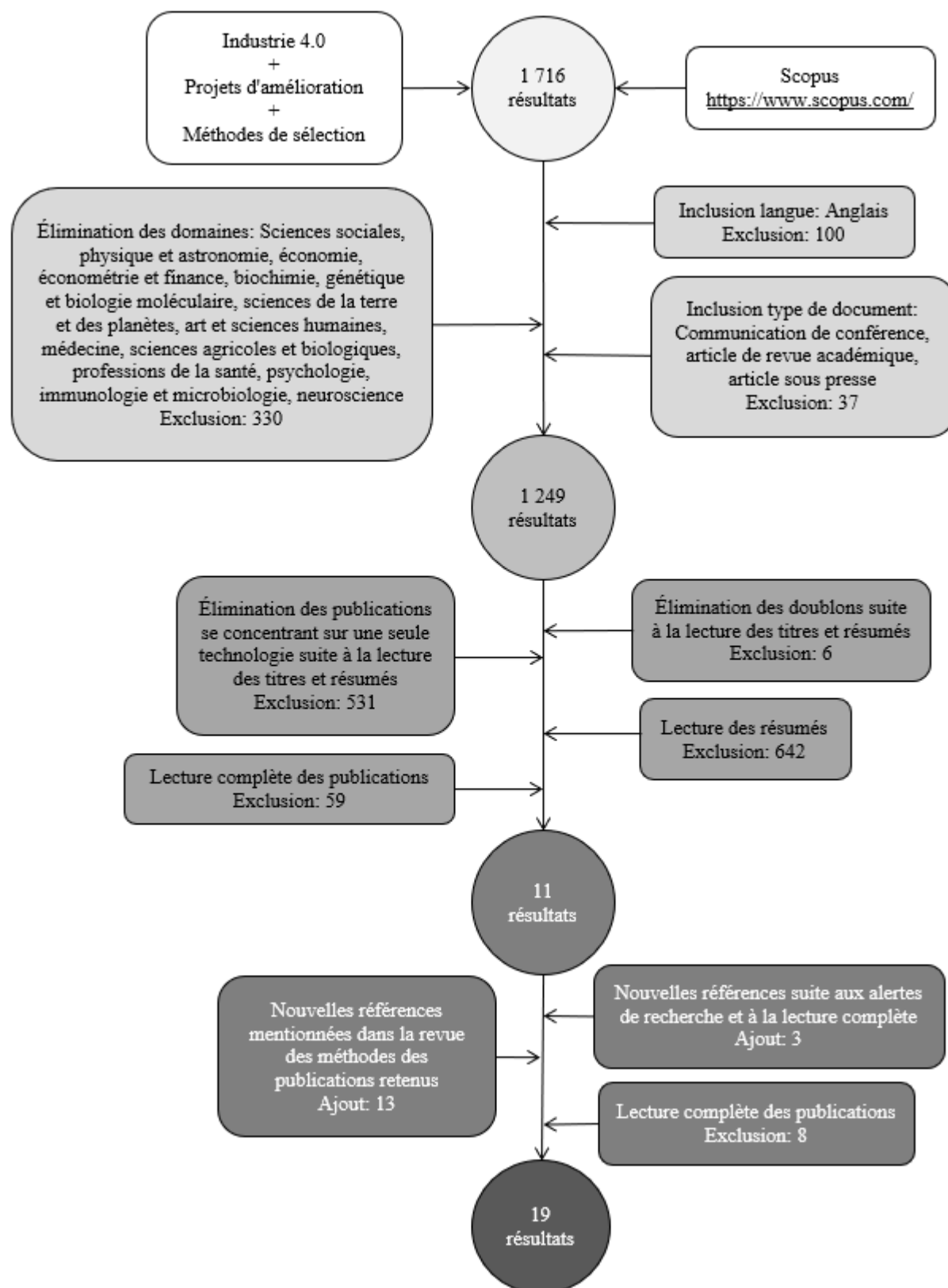


Figure 2.1 Méthodologie de recherche

Tableau 2.2 Publications et étape de sélection

	Auteurs	Étape de sélection
1	De Carolis et al. (2018)	Stratégie de recherche initiale
2	Ganzarain et Errasti (2016)	Stratégie de recherche initiale
3	Geissbauer et al. (2016)	Référence au sein des publications
4	Ghobakhloo (2018)	Stratégie de recherche initiale
5	Gokalp et al. (2017)	Alerte de recherche
6	Hamzeh et al. (2018a)	Stratégie de recherche initiale
7	Hamzeh et al. (2018b)	Alerte de recherche
8	Heberle et al. (2017)	Stratégie de recherche initiale
9	Leyh et al. (2017a)	Stratégie de recherche initiale
10	Leyh et al. (2017b)	Stratégie de recherche initiale
11	Lichtblau et al. (2015)	Référence au sein des publications
12	Mittal et al. (2018)	Alerte de recherche
13	Moica et al. (2018)	Référence au sein des publications
14	Rockwell Automation (2014)	Référence au sein des publications
15	Schuh et al. (2017)	Référence au sein des publications
16	Stich et al. (2018)	Stratégie de recherche initiale
17	Tonelli et al. (2016)	Stratégie de recherche initiale
18	Von Leipzig et al. (2017)	Stratégie de recherche initiale
19	Zeller et al. (2018)	Stratégie de recherche initiale

De ce fait, la majorité des publications retenues lors de cette revue de littérature a été sélectionnée suite à la recherche initiale au sein de la base de données Scopus. Quelques autres publications ont également été ajoutées suite aux alertes de recherche et à la lecture approfondie des revues de littérature des publications sélectionnées précédemment.

2.3 Méthodes d'implantation d'Industrie 4.0

Malgré la croissance des publications portant sur Industrie 4.0 au sein de la littérature lors de ces dernières années (Danjou et al., 2017), seulement quelques méthodes d'implantation de technologies de cette quatrième révolution industrielle ont été développées. Cependant, une grande portion de ces méthodes cible une seule technologie (Jung et al., 2016). Ainsi, lorsqu'une publication ne se concentre pas sur un seul groupe technologique, les volets de sélection et priorisation de projets apparaissent et ce sont ces publications qui ont été recensées et analysées lors de la revue de littérature. De cette recherche, dix-neuf publications formant quinze méthodes sont présentées dans cette section et sont identifiées au sein du tableau 2.3.

Tableau 2.3 Modèles existants pour la gestion de projets d'Industrie 4.0

	Auteurs	Nom du modèle	Type de publication	Type de modèle	Méthode de développement	Type de validation
1	De Carolis et al. (2018)	DREAMY (<i>Digital REadiness Assessment Maturity Model</i>)	Article de conférence	Modèle de maturité et feuille de route	Principes CMMI (cmmiinstitute.com/cmmi)	Trois études de cas
2	Ganzarain et Errasti (2016) et Moica et al. (2018)	<i>Methodology for Industry 4.0 Collaborative Diversification</i>	Article de revue académique et article de conférence	Modélisation des processus	Modèle d'Erol et al. (2016)	Une étude de cas
3	Geissbauer et al. (2016)	<i>Blueprint for digital success</i>	Rapport	Feuille de route	Analyse d'une centaine de projets de transformation	Non validé
4	Ghobakhloo (2018)	<i>Strategic roadmap for Industry 4.0 transition</i>	Article de revue académique	Feuille de route	Revue de littérature	Non validé
5	Gokalp et al. (2017)	<i>Industry 4.0-MM</i>	Article de conférence	Modèle de maturité	Revue de littérature	Une étude de cas sera effectuée
6	Hamzeh et al. (2018a)	ARPPAD (<i>Awareness, Readiness, Planning, Pilot project, Analysis, Digitalization</i>)	Article de conférence	Feuille de route	Revue de littérature et sondage de quarante-trois entreprises manufacturières	Des études de cas seront effectuées
7	Hamzeh et al. (2018b)	<i>A technology selection framework in the context of Industry 4.0</i>	Article de conférence	Cadre pour feuille de route	Revue de littérature	Une étude de cas sera effectuée
8	Heberle et al. (2017)	<i>Digitalization canvas</i>	Article de revue académique	Feuille de route et canevas	Analyse des processus de l'étude de cas et ateliers d'experts en entreprise et universitaires	Une étude de cas
9	Leyh et al. (2017a) et Leyh et al. (2017b)	SIMMI 4.0 (<i>System Integration Maturity Model Industry 4.0</i>)	Articles de conférence	Modèle de maturité	Principes de Becker et al. (2009) (intègre revue de littérature)	Six études de cas
10	Lichtblau et al. (2015)	IMPULS <i>Industry 4.0 readiness</i>	Rapport	Modèle de maturité	Ateliers d'experts en entreprise, sondage de 289 entreprises et revue de littérature	Statistique de sondage
11	Mittal et al. (2018)	<i>SM³E maturity model</i>	Article de conférence	Modèle de maturité	Entrevue en entreprise et revue de littérature	Une validation sera effectuée
12	Rockwell Automation (2014)	<i>Connected Enterprise Maturity Model</i>	Rapport	Modèle de maturité	Non expliqué	Appliqué en entreprises (nombre inconnu)
13	Schuh et al. (2017), Stich et al. (2018) et Zeller et al. (2018)	<i>Acatech Industrie 4.0 Maturity Index</i>	Rapport et articles de conférence	Modèle de maturité et feuille de route	Ateliers avec des membres de l'association Acatech et études de cas	Études de cas (nombre inconnu)
14	Tonelli et al. (2016)	MVMM (<i>Manufacturing Value Modeling Methodology</i>)	Article de conférence	Feuille de route et modèle de valeur	Revue de littérature	Une étude de cas
15	Von Leipzig et al. (2017)	<i>Conceptual model for initialising digitisation and sustaining competitiveness</i>	Article de revue académique	Feuille de route et modèle conceptuel	Revue de littérature	Une étude de cas

Il est d'abord important de noter que le modèle de maturité représente près de la moitié des divers types de modèles recensés. En outre, d'autres méthodes intègrent également un modèle de maturité au sein de leur processus. Les méthodes se définissant comme une feuille de route représentent aussi une grande proportion des modèles retenus lors de la revue de littérature. Par conséquent, nous observons la forte représentation de ces deux types de modèles au sein de la littérature d'Industrie 4.0. De plus, la grande majorité des modèles recensés ont été publiés lors des trois dernières années et ce sont, pour la plupart, des articles de conférences. L'intérêt pour le développement d'une méthode pour effectuer un transfert vers Industrie 4.0 au sein des entreprises manufacturières semble alors très récent et peu approfondi. D'ailleurs, certaines publications représentent des travaux en cours et mentionnent que des efforts de validation sont effectués actuellement afin d'améliorer et de renforcer leur méthode.

La première méthode sélectionnée est DREAMY de De Carolis et al. (2018). Elle supporte les entreprises manufacturières vers la définition d'une feuille de route pour la numérisation et propose d'abord un modèle de maturité afin de déterminer les capacités digitales, et donc la situation actuelle de l'entreprise. Les forces et les faiblesses sont identifiées, selon les niveaux de maturité des dimensions processus, contrôle et surveillance, technologie et organisation. Puis, les opportunités sont déterminées dans le but d'améliorer la maturité des processus de l'entreprise. Suite à un filtre de faisabilité, les opportunités retenues sont classées selon les bénéfices, la logique de classification des bénéfices devant être clarifiée, comme mentionné par les auteurs de cette méthode.

Pour leur part, Ganzarain et Errasti (2016) ont développé un modèle de processus à trois étapes permettant aux entreprises de déterminer leur vision d'Industrie 4.0 ainsi que leur processus d'identification stratégique, qui a été appliqué en entreprise par Moica et al. (2018). Ce modèle s'inspire fortement de celui d'Erol et al. (2016). La première étape est la vision qui est basée sur la compréhension d'I4.0 et l'analyse des ressources et capacités. Puis, une feuille de route et un portefeuille des technologies sont établis selon l'identification des exigences, des capacités et des technologies associées à la numérisation que l'entreprise désire exploiter. Cela permet de faciliter la planification stratégique. Cette feuille de route sous-entend un effort de sélection et priorisation. Cependant, ces processus ne sont pas expliqués par les auteurs. La dernière étape de cette méthode est l'implantation de ces projets, découlant des formations, de la gestion du risque et des projets d'I4.0. Les trois processus sont ensuite représentés par les auteurs sous forme de modèle de

maturité dans le but de montrer la profondeur de chacun de ses processus ainsi que leurs implications au sein de l'entreprise.

La feuille de route pour un succès digital développée par Geissbauer et al. (2016) comporte six étapes. La première étape consiste à l'établissement de la stratégie I4.0. Pour ce faire, l'entreprise doit évaluer son niveau de maturité et identifier des objectifs pour les prochaines années. Puis, des projets pilotes sont instaurés de manière à obtenir un aperçu sur la façon de fonctionner et d'identifier les changements à effectuer pour se préparer adéquatement à la transformation digitale de l'entreprise. Découlant de cet apprentissage, les capacités nécessaires pour cette transformation sont identifiées au niveau des ressources organisationnelles, humaines, processus et technologiques. La gestion des données étant essentielle à Industrie 4.0, Geissbauer et al. (2016) proposent comme étape de devenir un virtuose des données et développer une stratégie efficace d'analyse de données. La cinquième étape consiste en la transformation digitale de l'entreprise. Il faut alors développer les compétences digitales et instaurer une culture du changement. Les auteurs mentionnent des facteurs de sélection des projets de transformation, tels l'amélioration des produits et processus, l'ajout de valeur et l'implantation de nouvelles technologies. Ils signalent aussi l'importance de prioriser les différents projets, sans pour autant expliquer comment cette sélection et priorisation doit être faite. Pour finir, les auteurs recommandent une planification active d'une approche écosystémique dans le but d'évoluer au sein de leur marché.

Ghobakhloo (2018) présente également une feuille de route. Le volet stratégique est mis de l'avant afin de guider les entreprises manufacturières lors de leur transition vers Industrie 4.0. Cette feuille de route est divisée en six sphères, soit la gestion stratégique et les stratégies de marketing, les ressources humaines, la maturité des technologies de l'information, la production et la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Chaque dimension stratégique possède sa propre feuille de route, intégrant des analyses de besoins, de priorités, de coûts, de bénéfices et de temps, et vise un haut niveau d'intégration. L'objectif final d'intégration est défini par l'auteur de cette méthode; c'est donc un état spécifique à atteindre pour toutes les entreprises ne laissant pas place à la flexibilité et l'analyse de leurs besoins spécifiques.

Puis, le modèle de Gokalp et al. (2017) est une structure pour l'évaluation de la maturité des entreprises au niveau d'Industrie 4.0. Il a pour but d'aider les entreprises à identifier les ressources à acquérir pour l'introduction d'I4.0. Les auteurs ont déterminé six niveaux de maturité, allant de

la capacité incomplète à optimale, et cette dimension de capacité est mise en lien avec celle de cinq aspects, soit la gestion des actifs technologiques, la gestion des données, la gestion des applications technologiques au sein de la production, le processus de transformation et l'alignement organisationnel. Chaque niveau de capacité, étant des niveaux de maturité, possède une courte description présentant les interactions et implications des aspects. Toutefois, la méthode permettant d'attribuer le niveau de maturité n'est pas expliquée par les auteurs au sein de cette communication de conférence.

Quant à Hamzeh et al. (2018a), ils proposent un modèle d'implantation, ARPPAD, pouvant être défini comme une feuille de route ayant six phases. La première de ces phases est la compréhension du concept d'I4.0, afin de s'assurer que les entreprises possèdent les connaissances, les compétences ainsi que la confiance rendant possible la gestion adéquate des situations découlant des nouvelles technologies au sein d'un marché compétitif. Dans l'intention d'évaluer son état actuel et son niveau de maturité, l'entreprise doit développer ou sélectionner un outil évaluant la performance organisationnelle. Cependant, aucun outil n'est suggéré par les auteurs. Découlant de cette analyse, la troisième phase prend lieu avec la planification. Une feuille de route est alors présentée à la direction après avoir identifié et analysé les technologies clés d'I4.0. La méthode d'évaluation, de sélection et de priorisation des technologies, basée sur les critères et objectifs de l'entreprise établissant la feuille de route, n'est pas expliquée par les auteurs. Ces processus sont donc implicites. Un projet pilote est ensuite implanté afin de résoudre les problèmes initiaux à la numérisation et définir la meilleure approche d'implantation, ce qui valide la méthode développée lors de la planification. La cinquième étape est l'analyse des facteurs clés de succès pour une mise en œuvre d'Industrie 4.0. Pour conclure cette méthode, le déploiement de la numérisation permet enfin de comprendre les besoins des clients en utilisant des technologies ajoutant de la valeur aux produits et services de l'entreprise.

Hamzeh et al. (2018b), trois des auteurs de la méthode précédente, ont également développé un cadre se concentrant sur la sélection des technologies dans un contexte d'Industrie 4.0. Celui-ci possède six étapes. Il débute avec l'analyse de la situation actuelle de l'entreprise manufacturière, au niveau de la performance, des problèmes opérationnels et des besoins du marché. La matrice d'importance des indicateurs de performance de Slack (1994) est recommandée comme outil d'évaluation. Les facteurs clés de succès sont par la suite identifiés. En analysant les forces et faiblesses, l'entreprise sélectionne les éléments sur lesquels elle désire compétitionner et adapte sa

stratégie en conséquence. Comme troisième étape, l'horizon temporel est défini selon la stratégie de l'atteinte des facteurs de concurrence ciblée précédemment. Les technologies pouvant répondre aux objectifs découlant de la stratégie sont ensuite identifiées, puis évaluées. Plusieurs méthodes sont énumérées pour l'évaluation des stratégies. L'importance des opportunités et menaces est mentionnée lors de cette étape. D'ailleurs, la sixième et dernière étape se concentre sur l'identification et l'analyse du risque des différentes alternatives possibles. La stratégie technologique doit alors être adaptée à cette analyse.

Ensuite, le canevas de digitalisation de Heberle et al. (2017) est identifié lors de cette revue de littérature. Il est séparé en trois grandes parties, soit la vision numérique de l'entreprise, l'amélioration via la numérisation et le portefeuille de projet. Pour la réalisation de ce canevas, les auteurs proposent différentes activités. Il faut d'abord déterminer la stratégie et la vision de l'entreprise ainsi que définir et analyser la chaîne de valeur. En interviewant les experts des différentes activités stratégiques, une proposition de valeur jumelée aux faiblesses et aux menaces permet de soutenir la vision de l'entreprise. Des solutions d'amélioration grâce à la numérisation sont également identifiées par les experts interviewés et permettent d'estimer qualitativement la valeur et l'effort de l'implantation de ces idées de façon ad hoc. Ces solutions sont catégorisées selon leur nature, soit l'implantation, le modèle d'affaires, l'autonomisation et l'optimisation ou la gestion de données, et les sources de données pour réaliser ces améliorations sont identifiées. Puis, les différents projets sont priorisés selon la ligne du temps, soit court, moyen ou long terme, et les bénéfices estimés. Les projets courts avec de petits bénéfices, étant considérés comme des gains rapides, sont priorisés tandis que les projets à moyen et long terme doivent être décomposés pour faciliter la gestion et l'évaluation des résultats afin de balancer les efforts d'implantation. Le canevas est par la suite révisé par des experts internes et externes lors d'un atelier dans le but de le finaliser, de créer un portefeuille de projet et de définir les équipes responsables de diriger lesdits projets. Pour terminer, un rapport final est créé avec les différentes actions nécessaires à effectuer pour le déploiement de ces projets.

Pour ce qui est des travaux de Leyh et al. (2017a); (2017b), ils présentent le développement et l'application d'un modèle de maturité. Grâce à un questionnaire bâti par les auteurs, les entreprises peuvent évaluer elles-mêmes leur niveau de maturité technologique actuel afin de s'assurer qu'elles ont une base stable pour les activités d'I4.0. Le modèle de maturité SIMMI 4.0 comporte cinq niveaux, allant de la numérisation de base à la numérisation optimisée, et quatre dimensions, soit

l'intégration verticale, l'intégration horizontale, le développement de produits numériques et le critère d'intégration technologique. Le questionnaire s'assure alors de traiter chaque dimension et une pondération est attribuée afin de déterminer la note et donc, le niveau de maturité pour chaque dimension et de façon générale. Les auteurs proposent aussi des activités à effectuer selon le niveau de maturité dans le but d'augmenter la maturité de l'entreprise.

Le modèle de maturité de Lichtblau et al. (2015) vise également l'évaluation de la maturité de l'entreprise, tout en offrant des pistes de solutions pour son évolution. Il présente un modèle de maturité possédant six niveaux, commençant avec étranger comme niveau zéro et finissant avec performeur au niveau cinq. Les six niveaux sont regroupés en trois catégories, soit les nouveaux venus, les apprenants et les leaders. Le modèle d'IMPULS comprend six dimensions; les employés, la stratégie et l'organisation, l'usine, les opérations, les produits et les services, ayant à leur tour deux à quatre domaines, pour un total de dix-huit domaines. Une note est attribuée pour chaque domaine de chaque dimension et la note la plus basse représente le niveau de maturité de cette dimension. Puis, une moyenne pondérée est calculée pour la maturité de chaque dimension en vue d'obtenir un niveau de maturité global, la pondération étant établie selon l'importance de chaque dimension qui est déterminée par l'entreprise. Les auteurs suggèrent ensuite des actions au sein de chaque dimension, pour chaque catégorie de maturité, dans le but de faciliter la transition vers un niveau supérieur.

En ce qui concerne le modèle de maturité SM³E de Mittal et al. (2018), il cible spécifiquement les entreprises manufacturières de type PME afin d'offrir un outil que ces entreprises pourront facilement utiliser sans avoir recours à des experts externes. Il comprend cinq niveaux de maturité, allant de novice à expert, et cinq dimensions, soit les finances, les ressources humaines, la stratégie, les processus et les produits. Les auteurs suggèrent également sept boîtes à outils ayant pour sujet la production, les capteurs et la connectivité, l'infonuagique, le design et la simulation, les robots et l'automation, l'analyse de données et la gestion d'affaires. Cependant, une seule boîte à outils, celle portant sur l'infonuagique, est présentée lors de cette communication de conférence. De plus, aucun questionnaire ou système de pondération n'est mentionné au sein de cet article de conférence alors, la méthode d'évaluation du niveau de maturité n'est pas démontrée.

Puis, l'entreprise Rockwell Automation (2014) a développé un modèle de maturité pour les entreprises connectées et l'a appliqué au sein de plusieurs entreprises au fil des années. Il possède

cinq niveaux, soit évaluation, sécurité et mise à niveau du réseau, définition et organisation des données, analyse et collaboration. Ce modèle ne présente pas spécifiquement de dimensions. La première phase permet d'identifier les problèmes et de créer une liste d'améliorations souhaitées. Suite à l'identification de ces faiblesses, la deuxième phase commence et l'amélioration des technologies de l'information est mise en œuvre. Lors de la troisième phase de maturité, l'entreprise est maintenant en mesure d'améliorer, de définir et d'organiser les données. L'amélioration continue commence ensuite afin de mieux utiliser les diverses technologies et pouvoir faire des analyses en temps réel. Le plus haut niveau de maturité comprend alors un environnement qui anticipe les activités et réactions grâce à une grande intégration et collaboration.

En ce qui a trait aux travaux de Schuh et al. (2017); Stich et al. (2018); Zeller et al. (2018), ils présentent l'index de maturité de l'association Acatech. La méthodologie consiste d'abord en la détermination de la stratégie de l'entreprise ainsi que des systèmes et technologies que l'entreprise désire implanter. Pour ce faire, le niveau de maturité est établi en se basant sur le modèle de maturité développé par les auteurs et en répondant à un questionnaire. Le modèle comporte six niveaux, soit l'informatisation, la connectivité, la visibilité, la transparence, la capacité prédictive et l'adaptabilité, et considère les ressources, les systèmes d'information, la structure organisationnelle et la culture comme ses quatre domaines d'analyse. L'entreprise détermine une cible de maturité à atteindre à la fin du processus de transformation selon l'analyse des bénéfices désirés. La comparaison de la situation actuelle et celle visée permet l'identification des capacités manquantes et actions concrètes à effectuer afin d'intégrer les opportunités au sein de leur feuille de route. Les auteurs mentionnent également qu'il faut évaluer les actions, selon les coûts et bénéfices, tout en considérant les risques, sans pour autant expliquer comment cette évaluation est considérée au sein de leur modèle. Cependant, Schuh et al. (2017); Stich et al. (2018); Zeller et al. (2018) précisent que la priorité d'action est d'uniformiser la maturité à travers les quatre domaines d'analyse, puis de viser un niveau de maturité plus élevé.

En ce qui concerne Tonelli et al. (2016), ils présentent une méthode basée sur l'analyse de valeur structurée par cinq étapes. D'abord, les informations pertinentes d'une analyse de la stratégie de l'entreprise et de la situation du marché sont intégrées au sein d'une chaîne de valeur. Ensuite, l'analyse de la maturité permet de mesurer l'état actuel de l'entreprise. Les auteurs n'ont pas développé leur propre modèle et proposent l'utilisation du modèle de maturité Gartner, un modèle créé pour la chaîne d'approvisionnement (www.gartner.com/). Suite à l'identification préalable des

processus à valeur ajoutée de la situation actuelle, une analyse des processus et des écarts définit les activités et processus nécessitant une amélioration, basée sur la stratégie de l'entreprise et les opportunités du marché. Les informations collectées et les solutions d'améliorations proposées sont par la suite validées qualitativement et quantitativement auprès d'une équipe de validation afin de soutenir les prises de décisions de l'entreprise. Pour finir, une feuille de route est créée suite à la détermination des solutions d'amélioration et le potentiel de risque et de valeur est analysé. Cette feuille de route propose ainsi une priorisation des initiatives, mais les auteurs ne définissent pas comment cette priorisation doit s'effectuer.

La dernière méthode sélectionnée pour cette revue de littérature est une méthode orientée client développée par Von Leipzig et al. (2017). Elle débute avec l'analyse de la concurrence, du marché et des clients. Suite à ces analyses, une liste d'idées est construite et ces idées sont classifiées de manière à considérer les commentaires des clients. Les auteurs recommandent la classification du diagramme de Kano, ce qui permet d'intégrer la satisfaction du client lors de l'évaluation. Puis, chaque solution est évaluée selon les coûts, les bénéfices, les risques et les influences sur le modèle d'affaires et les processus. Cette évaluation est utilisée afin de prioriser et sélectionner les solutions viables pour l'implantation. Un plan d'implantation est ensuite développé et des itérations peuvent être appliquées tout au long de l'implantation dans le but d'intégrer les commentaires des clients. Les projets sélectionnés sont alors priorisés au sein de chaque catégorie, ce qui permet de balancer les initiatives. La méthode de priorisation n'est pas expliquée lors de la présentation de la méthode, mais le ratio risque-bénéfice, tout en considérant la stratégie de l'entreprise, a été privilégié lors de l'étude de cas.

2.4 Revue critique

Les initiatives d'Industrie 4.0 créant des opportunités d'amélioration et de changement des processus d'affaires des entreprises (Moeuf et al., 2017), les constatations de Zellner (2011) en ce qui a trait à l'évaluation des méthodes de transformation semblent particulièrement pertinentes pour l'évaluation critique de celles identifiées lors de cette revue de littérature. Ainsi, Zellner (2011) note que les approches d'amélioration de processus d'affaires ne supportent pas l'action d'amélioration en soi. Découlant de ces observations, il a développé le modèle d'évaluation *Mandatory Elements of a Method* (MEM) identifiant cinq éléments obligatoires à une méthode, soit :

- Un modèle de procédure : Ordre d'activités à effectuer pour exécuter la méthode;
- Des techniques : Façons de générer des résultats, supporte une activité;
- Des résultats : Artéfact créé par une activité;
- Des rôles : Personne responsable de l'activité; et
- Un modèle d'information : Schéma des quatre éléments et leurs relations utilisé pour représenter les résultats (Zellner, 2011).

Par conséquent, la classification des modèles existants se base sur ce modèle d'évaluation afin de mettre de l'avant leurs limitations. Le tableau 2.4 synthétise alors cette revue critique.

Tableau 2.4 Classification des modèles existants

Auteurs	Éléments obligatoires d'une méthode				
	Modèle de procédure	Techniques	Résultats	Rôles	Modèle d'information
De Carolis et al. (2018)	✓	✓	✓	✓	
Ganzarain et Errasti (2016); Moica et al. (2018)	✓	✓	✓		
Geissbauer et al. (2016)	✓	✓			
Ghobakhloo (2018)	✓			✓	
Gokalp et al. (2017)		✓			
Hamzeh et al. (2018a)	✓	✓		✓	
Hamzeh et al. (2018b)	✓	✓			
Heberle et al. (2017)	✓	✓	✓	✓	
Leyh et al. (2017a); (2017b)	✓	✓			
Lichtblau et al. (2015)	✓	✓			
Mittal et al. (2018)		✓			
Rockwell Automation (2014)	✓	✓			
Schuh et al. (2017); Stich et al. (2018); Zeller et al. (2018)	✓	✓	✓		
Tonelli et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	
Von Leipzig et al. (2017)	✓	✓			

Ainsi, au niveau du modèle de procédure, il est présent parmi treize méthodes recensées. Pouvant être considéré comme la base d'une méthode, ce résultat n'est pas surprenant. Par contre, les modèles de maturité de Gokalp et al. (2017) et Mittal et al. (2018) en font abstraction. Cependant, les autres modèles de maturité (Leyh et al., 2017a; Lichtblau et al., 2015; Rockwell Automation,

2014) proposent des activités selon le niveau de maturité, ce qui peut être considéré comme une forme de modèle de procédure. Les autres types de modèles quant à eux ont toujours un modèle de procédure et la séquence des activités est souvent regroupée par phase. Ces phases sont identifiées très clairement au sein de ces méthodes, ce qui n'est pas toujours le cas pour les activités qui sont expliquées textuellement sans être identifiées distinctement lors de l'explication de la méthode.

Pour ce qui est des techniques, une seule méthode, celle de Ghobakhloo (2018), n'en mentionne aucune tandis que toutes les autres méthodes font mention d'au moins une technique. Néanmoins, une technique étant une façon de générer des résultats et supportant une activité (Zellner, 2011), il devrait y avoir un minimum d'une technique allouée à chaque activité, alors qu'aucune méthode évaluée lors de cette revue de littérature critique ne répond à ce critère. Ainsi, puisque très peu de méthodes définissent clairement les activités, nous pouvons supposer un impact direct sur l'identification des techniques par activité.

Puis, seulement cinq méthodes (De Carolis et al., 2018; Ganzarain & Errasti, 2016; Heberle et al., 2017; Schuh et al., 2017; Tonelli et al., 2016) font mention de résultats. Toutefois, aucune de ces méthodes ne le fait pour chaque activité, les résultats étant plutôt identifiés par phase. Par conséquent, les résultats préalables, soit des extrants qui seront utilisés ensuite en tant qu'intrants, ne sont nullement déterminés. Cela démontre, une fois de plus, un manque de structure au sein des méthodes identifiées.

Concernant les rôles, le contexte est similaire à celui des techniques et résultats, car certaines méthodes (De Carolis et al., 2018; Ghobakhloo, 2018; Hamzeh et al., 2018a; Heberle et al., 2017; Tonelli et al., 2016) mentionnent quelques rôles seulement lors de l'explication de leur méthode. Cependant, aucune méthode ne le fait pour chaque activité.

En ce qui a trait au modèle d'information, soit le dernier élément obligatoire d'une méthode (Zellner, 2011), il n'est présent dans aucune des quinze méthodes issues de cette revue de littérature. Puisque cet élément permet d'illustrer les résultats et les interrelations des différents éléments de la méthode, seulement trois méthodes (De Carolis et al., 2018; Heberle et al., 2017; Tonelli et al., 2016) auraient pu être en mesure d'inclure cet élément obligatoire, car ce sont les seules méthodes qui intègrent les quatre autres éléments d'une méthode selon le modèle MEM (Zellner, 2011), soit un prérequis au modèle d'information. Pourtant, aucune de ces méthodes ne présente un modèle d'information.

Malgré un grand nombre de publications portant sur Industrie 4.0 et sa grande popularité auprès des communautés scientifiques et industrielles (Danjou et al., 2017; Strozzi et al., 2017), nous constatons qu'aucune méthode ne supporte l'acte de transition vers I4.0 pour les entreprises manufacturières lorsque nous appliquons la méthode d'évaluation de Zellner (2011), car aucune méthode ne possède les cinq éléments obligatoires.

D'autre part, un type de modèle fortement représenté lors de cette revue de littérature est le modèle de maturité. Ce dernier comporte les plus grandes lacunes lorsque confronté à la définition d'une méthode d'amélioration des processus d'affaires de Zellner (2011). Par conséquent, les cinq modèles de maturité (Gokalp et al., 2017; Leyh et al., 2017a; Lichtblau et al., 2015; Mittal et al., 2018; Rockwell Rockwell Automation, 2014) ne sont pas en mesure de répondre à plus de deux éléments obligatoires d'une méthode. Ce type de modèle ne semble donc pas adéquat pour aider les entreprises à effectuer leur transformation vers Industrie 4.0. De ce fait, les modèles de maturité font l'analyse de l'état actuel et proposent très peu de solutions pour procéder à une transformation permettant d'atteindre un plus haut niveau de maturité technologique. Il est alors approprié d'intégrer ce modèle au sein d'une méthode plus complète, en tant que technique, comme l'ont fait De Carolis et al. (2018), Ganzarain et Errasti (2016) ainsi que Schuh et al. (2017), que de l'utiliser de façon seule, afin d'obtenir de meilleurs résultats lors du développement d'une méthode d'implantation et de gestion de projets d'Industrie 4.0.

Considérant les méthodes exposées dans la littérature possédant des lacunes au niveau du support offert lors de la transition vers Industrie 4.0, il peut être difficile pour une entreprise manufacturière de prendre les bonnes décisions concernant la sélection et l'intégration des technologies clés afin de progresser vers la numérisation de leurs processus en vue de rendre leur manufacture plus intelligente. Ainsi, les entreprises ont de la difficulté à identifier des champs d'action et des projets concrets (Schumacher et al., 2016) et doivent sélectionner et prioriser adéquatement les divers leviers technologiques (Jung et al., 2016). D'ailleurs, Ganzarain et Errasti (2016) mentionnent que les PME ne savent pas par où commencer pour créer des opportunités de croissance ou ne savent pas comment relever les défis d'Industrie 4.0 et visualiser ce changement de paradigme. Malgré la reconnaissance de cette problématique, les auteurs ne sont pas en mesure de proposer une méthode qui y répond entièrement. En outre, Ghobakhloo (2018) pose comme grand défi d'I4.0 la façon dont une entreprise manufacturière fait sa transition de son état actuel vers l'état visé grâce à des processus de numérisation. L'auteur apporte cette problématique lors de la conclusion de son article

en expliquant que la façon d’y répondre serait avec une feuille de route stratégique approfondie alors que le modèle qu’il a développé est une feuille de route stratégique holistique. Il est donc possible d’interpréter que l’auteur est conscient que sa méthode n’est pas complète et qu’il travaille sur l’approfondissement de son modèle actuel. Puis, Heberle et al. (2017) apportent des défis similaires, soit la sélection des processus à numériser et des technologies à utiliser, ce qui doit être fait en premier, comment le faire et comment procéder ensuite, ainsi que les changements dans l’organisation qui sont nécessaires au niveau de compétences et rôles. Toutefois, leur méthode ne réussit pas à répondre à tous ses défis. De ce fait, ces auteurs (Ganzarain & Errasti, 2016; Ghobakhloo, 2018; Heberle et al., 2017) ciblaient bien les difficultés auxquelles les entreprises font face, mais n’ont tout de même pas été en mesure de développer une méthode permettant d’y remédier.

2.5 Conclusion

Suite à une revue de littérature et au meilleur de la connaissance des auteurs, nous constatons qu’il n’existe actuellement aucune méthode d’implantation d’Industrie 4.0 aidant concrètement les entreprises manufacturières à effectuer leur transformation vers I4.0, lorsque la méthode d’évaluation de Zellner (2011) est appliquée. Par conséquent, les méthodes intégrant la dimension de sélection et priorisation de plusieurs leviers technologiques ne possèdent pas les cinq éléments obligatoires d’une méthode (Zellner, 2011); elles ne supportent pas adéquatement les entreprises lors de l’amélioration de leurs processus (Zellner, 2011), via la numérisation de ceux-ci afin de s’insérer au sein du contexte d’Industrie 4.0. Cependant, ces méthodes offrent des pistes de solution pouvant être utilisées comme base pour le développement d’une nouvelle méthode. Cette dernière devra être en mesure d’offrir un meilleur support aux entreprises manufacturières lors de la sélection et priorisation des leviers technologiques, permettant la numérisation de leurs processus. La méthodologie de recherche utilisée pour répondre à cette problématique est décrite au prochain chapitre.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.1 Introduction

Le chapitre 3 présente la méthodologie de recherche employée lors de cette étude. La problématique est d'abord présentée afin d'introduire les objectifs généraux et spécifiques ainsi que les hypothèses. Puis, l'approche méthodologique utilisée est décrite.

3.2 Objectifs de recherche

Industrie 4.0 présente de nouvelles possibilités pouvant perturber l'approche traditionnelle de la planification et du contrôle de la production (Moeuf et al., 2017). La problématique de ce travail de recherche porte donc sur les difficultés qu'ont les entreprises manufacturières ayant l'intention de moderniser leurs processus de gestion de la production en les numérisant avec les technologies d'Industrie 4.0, afin de répondre rapidement au marché volatil, fortement compétitif et en constante évolution. Par conséquent, les entreprises ne savent pas comment entreprendre ces projets de transformation puisqu'aucune méthode actuelle ne permet de répondre adéquatement à cette problématique, en leur offrant un support adéquat.

D'ailleurs, la sélection et l'implantation d'un ou de multiples leviers technologiques a un impact sur la stratégie de l'entreprise ainsi que sur la surveillance, le contrôle, l'optimisation et l'autonomie de ses processus, produits et services (Danjou et al., 2017). De ce fait, en analysant les caractéristiques des projets de transformation d'I4.0, il est possible de faire un parallèle avec la gestion de portefeuille puisque chaque levier technologique représente une ou plusieurs initiatives, soit un ou plusieurs projets. Ainsi, selon l'Institut de gestion de projet (Project Management Institute (PMI), 2017a), un portefeuille est défini comme un ensemble de projets, programmes, portefeuilles secondaires et opérations gérés collectivement pour atteindre des objectifs stratégiques. La gestion de portefeuille permet alors de gouverner efficacement plusieurs projets et programmes ayant cours à tout moment (Project Management Institute, 2017a). En raison de son impact sur les modèles d'affaires et les processus d'affaires des entreprises (Drath & Horch, 2014; Leyh et al., 2017b; Moica et al., 2018; Tortorella & Fettermann, 2017), le volet stratégique de la gestion de portefeuille semble particulièrement pertinent pour l'implantation d'Industrie 4.0. De

plus, la gestion efficace de plusieurs projets simultanés grâce à la gestion de portefeuille représente un avantage considérable à l'implantation des divers leviers technologiques d'Industrie 4.0.

Par conséquent, *l'objectif général consiste à développer une méthode claire et structurée, basée sur les méthodes issues de la revue de littérature et de la gestion de portefeuille, permettant de sélectionner et prioriser les différents leviers technologiques d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières*. De cet objectif général, quatre objectifs spécifiques ont été déterminés, soit :

1. Identifier les modèles existants permettant de structurer le développement d'une nouvelle méthode, tout en considérant leurs forces et faiblesses;
2. Déterminer les besoins et contraintes des entreprises manufacturières, permettant de recueillir les informations nécessaires à l'initiation de la méthode développée, consistants aux intrants de la méthode;
3. Proposer une méthode comprenant les cinq éléments obligatoires d'une méthode selon Zellner (2011); et
4. Valider la faisabilité de la méthode développée en l'appliquant à un contexte réel d'entreprise manufacturière.

De plus, les objectifs fixés dans le cadre de ce travail reposent sur les deux hypothèses suivantes :

1. Les entreprises manufacturières peuvent coordonner différents projets technologiques afin de mettre en œuvre Industrie 4.0 et maximiser ses bénéfices; et
2. Les principes de la gestion de portefeuille peuvent être utilisés pour développer une méthode de sélection et priorisation des projets d'implantation de technologies d'I4.0.

La revue de littérature justifie ainsi l'originalité de ces hypothèses puisque la grande majorité des méthodes d'implantation d'Industrie 4.0 se concentre sur une seule technologie (Jung et al., 2016) et que seule une méthode, celle d'Heberle et al. (2017), considère brièvement la gestion de portefeuille de projets. En outre, il est considéré que la gestion de portefeuille facilite la réponse aux objectifs de ce travail en raison de sa structure et de l'inclusion des activités, techniques et résultats, soit des éléments obligatoires d'une méthode selon l'évaluation MEM (Zellner, 2011). Les principes de gestion de portefeuille agissent donc comme cadre structurel lors du développement de la méthode d'implantation de projets technologiques d'Industrie 4.0.

3.3 Méthodologie de recherche

Ce projet de maîtrise propose de lier des modèles de gestion de portefeuille à des méthodes d'implantation d'Industrie 4.0, afin de développer une méthode unifiée. Celle-ci sera mieux adaptée aux entreprises manufacturières désirant numériser leurs processus dans le but de s'intégrer au concept d'Industrie 4.0 et ne sachant actuellement pas comment amorcer ce changement. Considérant la nouveauté du phénomène étudié, une étude de type empirique basée sur une approche de recherche qualitative semble adéquate. Cependant, la contrainte de temps imposée par un projet de maîtrise ainsi que la durée du cycle de vie d'un portefeuille de projet ont écarté les méthodologies de recherche qualitative expérimentale de type transformative et collaborative, telles la recherche-action et la recherche-intervention (Cappelletti, 2010). Les études de cas ont également été rejetées puisqu'ils sont appropriés pour des phénomènes existants dont l'étude doit être approfondie (Yin, 2009). De ce fait, le phénomène étudié lors de ce travail de recherche est inexistant aujourd'hui. De plus, à la connaissance des auteurs, il n'existe pas de méthode de gestion de portefeuille de projets connu et adapté au contexte d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières.

Par conséquent, une méthodologie mixte, soit empirique et expérimentale, mieux connue sous le nom de DRM (*Design Research Methodology*), établie par Blessing et Chakrabarti (2009), sera mise en pratique lors de ce projet de maîtrise. Cette méthodologie de recherche scientifique permettra ainsi de formuler et valider le développement de modèles, théories, techniques et connaissances répondant à un besoin en structurant rigoureusement la démarche scientifique (Blessing & Chakrabarti, 2009). Elle paraît donc pertinente pour le développement d'une méthode de sélection et priorisation de projets technologiques 4.0. Celle-ci se base sur quatre phases, soit la clarification du sujet, une première étude descriptive, une étude normative, puis une seconde étude descriptive. Ces étapes consistent en des boucles itératives, elles ne représentent pas un processus séquentiel (Blessing & Chakrabarti, 2009). Ces quatre phases se retrouvent au sein de la méthodologie de recherche employée pour ce projet de recherche, tel qu'exposé au sein de la figure 3.1.

Une première revue de littérature sur les méthodes de sélection et priorisation de projets d'I4.0 a permis de clarifier le sujet de recherche et ses objectifs ainsi que de valider sa pertinence. Cette revue de littérature nous a permis d'établir l'état actuel des connaissances du domaine étudié, et

ce, afin d'identifier les contributions possibles, le besoin déterminé étant la proposition d'une méthode supportant les entreprises manufacturières lors de leur intégration au sein d'Industrie 4.0.

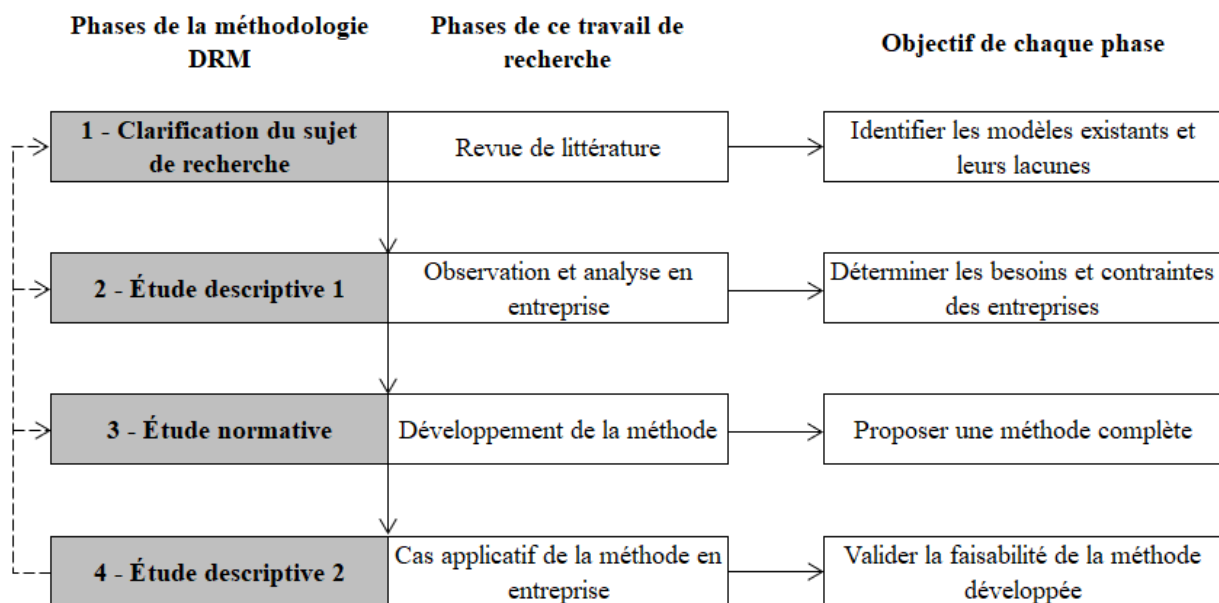


Figure 3.1 Méthodologie de recherche utilisée

Puis, lors de la première étude descriptive, une entreprise manufacturière souhaitant effectuer une transformation vers I4.0 a été sélectionnée. Pour des fins de confidentialité, cette entreprise manufacturière sera désignée sous le nom de XYZ. De façon plus précise, cette entreprise s'est adressée à des partenaires promouvant la technologie au sein de son industrie afin d'obtenir des recommandations quant à l'implantation d'un système central d'information. Nous avons donc analysé les processus d'affaires de cette entreprise dans la perspective d'effectuer des recommandations. Les observations et analyses obtenues lors de ce diagnostic permettent ainsi de comprendre la réalité en industrie et de relativiser la compréhension du contexte suite à la lecture des publications analysées lors de la revue de littérature. Ainsi, nous pouvons déterminer les besoins et contraintes pertinents lors du développement d'une méthode dans le but d'offrir un réel support aux entreprises. C'est d'ailleurs à ce stade que le parallèle entre l'implantation d'Industrie 4.0 et la gestion de portefeuille sera mis de l'avant afin de développer une méthode de gestion de portefeuille de projets d'I4.0 lors de la phase suivante.

De ce fait, une méthode sera développée lors d'une étude normative. Considérant le résultat d'analyse de la phase méthodologique précédente, les méthodes critiquées lors de la revue de littérature seront évaluées une seconde fois, sous une approche de processus de gestion de portefeuille. Cette seconde analyse critique permettra alors d'identifier les méthodes se rapprochant le plus de la gestion de portefeuille, afin d'appliquer notre deuxième hypothèse, et voir rapidement leurs lacunes à ce niveau. Ainsi, deux méthodes se démarquent lors de cette évaluation et sont sélectionnées comme base lors du développement d'une nouvelle méthode. Par la suite, une méthode de gestion de portefeuille sera également sélectionnée, de manière à effectuer la liaison entre les méthodes d'Industrie 4.0 et la gestion de portefeuille. Ces trois méthodes seront ensuite analysées en profondeur pour déceler leurs similitudes et différences, ainsi que leurs forces et faiblesses. Le tout, dans le but de sélectionner les processus, les activités et les techniques qui seront présents au sein de la méthode de gestion de portefeuille d'Industrie 4.0 et qui sera développée lors de ce projet de recherche. Puis, la méthode sera évaluée selon la méthode d'évaluation MEM (Zellner, 2011) afin de s'assurer que tous les éléments d'une méthode sont bien présents. Certaines corrections, si nécessaires, seront effectuées lors de cette vérification.

Dans le but de démontrer la faisabilité de la méthode créée lors de ce projet de recherche, la méthode sera par la suite appliquée à un cas réel d'entreprise manufacturière désirant implanter les principes et technologies d'Industrie 4.0, soit l'entreprise XYZ. Cette collecte de données étant la seconde étude descriptive, elle intégrera un effort d'observation et d'analyse permettant également de déceler les forces et faiblesses de la méthode développée afin de proposer des améliorations lorsque nécessaire. Cependant, il est important de noter qu'en raison de la durée de la gestion du portefeuille et du calendrier de ce projet de recherche, il ne sera pas possible de suivre le portefeuille préalablement défini par cette méthode durant son cycle de vie complet. Par conséquent, il est à noter que seuls les processus de définition de portefeuille seront validés.

3.4 Conclusion

En raison de la nature de la problématique, ce travail de recherche s'appuie sur la méthodologie DRM développée par Blessing et Chakrabarti (2009). De ce fait, cette méthodologie est adéquate pour développer de nouvelles méthodes alors qu'un nouveau phénomène est étudié. À partir des observations en entreprise et analyses de l'état de l'art des méthodes d'intégration de multiples technologies d'Industrie 4.0, plusieurs éléments ont donc été identifiés comme essentiels lors du

développement d'une méthode de gestion de portefeuille d'Industrie 4.0. La méthode développée permettra ainsi de supporter les entreprises manufacturières lors de la sélection et priorisation de plusieurs leviers technologiques. La prochaine étape consiste en l'observation en entreprise afin d'améliorer la compréhension du contexte, des besoins et des contraintes des entreprises manufacturières. Cette étude descriptive est présentée au prochain chapitre.

CHAPITRE 4 PREMIÈRE ÉTUDE DESCRIPTIVE

4.1 Introduction

La revue de littérature étant faite, une première étude descriptive débute. Une mise en contexte de l'entreprise XYZ est d'abord présentée, suivie de la description du cas d'étude, soit une PME manufacturière dans le secteur du vêtement, et des besoins et contraintes identifiés lors des observations et analyses effectuées.

4.2 Mise en contexte

Le secteur de l'industrie textile et de produits textiles du Québec est composé à 95% de petites entreprises et à 5% de moyennes entreprises (Service Canada, 2018), il est donc envisageable de reconnaître l'ampleur économique des petites entreprises puisque l'industrie textile au Québec est composée exclusivement de petites et moyennes entreprises (PME). Sachant l'ampleur de cette catégorie d'entreprises, il est intéressant de noter leurs particularités. Ainsi, la proximité possède un rôle important dans le fonctionnement de ces entreprises et cette proximité est visible dans différentes sphères de la PME :

- Les dirigeants sont fortement impliqués au sein des diverses décisions, ce qui leur donne une fonction omniprésente au sein de plusieurs départements;
- La gestion n'est pas décomposée par fonctions, ce qui crée une absence de séparation des fonctions et des tâches;
- Les systèmes d'information et de coordination sont simplifiés et peu structurés puisque la dimension relationnelle est privilégiée, découlant du fait que la communication orale est priorisée;
- La stratégie est sous un horizon à court terme, ce qui fait en sorte que les comportements stratégiques sont de types réactif, intuitif et souple; et
- Une forte insertion territoriale et une clientèle locale, ce qui permet d'économiser des coûts de transport, de mieux fidéliser leurs clients et d'être plus attentif et réactif aux changements du marché (Moeuf et al., 2017; Torres, 1999).

De plus, le secteur textile, tout comme les divers secteurs de l'industrie manufacturière, doit faire face à la concurrence mondiale croissante. D'ailleurs, un événement notable a eu un fort impact sur ce secteur, soit l'abolition des quotas sur les importations en 2005 ; cela a augmenté le pouvoir concurrentiel des pays où les coûts de la main-d'œuvre sont inférieurs à ceux du Canada et a entraîné une décroissance de la production de produits textiles au Québec en raison d'un contexte d'affaires négatif (Service Canada, 2018). Les entreprises locales doivent alors se démarquer en fournissant et supportant divers types de commandes grâce à un mode de réponse rapide et flexible. En outre, l'industrie du textile est reconnue pour la moyenne d'âge élevée de ces employés, puisque le pourcentage d'employés entre 45 et 64 ans est supérieur à la moyenne des diverses industries du Québec (Service Canada, 2018). Par ailleurs, les manufactures de l'industrie textile, que ce soit les usines de textiles, de produits textiles, de vêtements et de produits en cuir, ont majoritairement un niveau d'intégration technologique moyen à faible (Institut de la statistique du Québec, 2014).

4.3 Description du cas étudié

L'entreprise XYZ représente un portrait assez similaire de ce contexte industriel. Ainsi, c'est une PME familiale proposant des services de production de vêtements depuis plus de quarante ans. Elle a constaté les changements majeurs de l'industrie depuis l'abolition des quotas et, par conséquent, la délocalisation de la production vers des pays où la main-d'œuvre est moins dispendieuse, soit principalement en Asie. L'expertise s'est perdue peu à peu, car les besoins ont diminué. Conséquemment, elle opère avec une main-d'œuvre vieillissante alors qu'il est difficile de recruter de la main-d'œuvre. Cependant, l'arrivée d'une directrice des ressources humaines semble diminuer l'impact de cette menace. Pour ce qui est de sa clientèle, elle est locale et composée d'entreprises de diverses envergures, soit des designers commandant des petits lots, de même que des détaillants et donneurs d'ordres commandant des lots de plus grande taille. Par contre, son nombre de clients est très restreint et un effort de prospection n'a jamais été fait. Au niveau de la gestion de l'entreprise, XYZ est gérée par la présidente et fondatrice ainsi que par son fils. La majorité des employés est donc des employés de production. La petite équipe de gestionnaires fait en sorte que les dirigeants sont impliqués au sein de toutes les décisions de l'entreprise et que celle-ci n'est pas séparée par fonctions. Puis, leur système d'information et de gestion de la production étant de base, la présidente s'occupe de l'ordonnancement des commandes avec très peu de support

technologique. Il est alors difficile de faire une planification à moyen et long terme du plancher de production.

En outre, un transfert de connaissances est à prévoir, car la relève de l'entreprise est actuellement en transition vers le fils de la propriétaire. Ce dernier ayant une formation et un intérêt dans les technologies tandis que le niveau de technologie de l'entreprise est faible, il désire effectuer une transformation vers une usine intelligente pour être en mesure de se démarquer des entreprises concurrentes et mieux maîtriser les temps de production, l'efficacité et les coûts de production de la manufacture. La modernisation de l'usine doit permettre d'augmenter la capacité de production et de diminuer les coûts, car leur stratégie concurrentielle est basée sur le prix. Cependant, cela représente un écart important avec le modèle d'affaires actuel puisque cette entreprise ne possède pas de planification stratégique à court et long terme. Le directeur général souhaite donc avoir du support afin de structurer ses projets de transformation.

D'ailleurs, au courant des trois dernières années, quelques diagnostics ont été faits par différentes entreprises offrant des services de conseil. Malgré les recommandations proposées lors de ces diagnostics, l'usine n'est toujours pas en transition vers leur nouveau modèle d'affaires désiré. Par conséquent, nous pouvons conclure que l'entreprise XYZ a besoin d'une aide différente pour déployer ces projets de transformation. De plus, une demande d'évaluation de besoins sur le plan du système d'information et de solutions intégrées dans le but de réaliser une transformation du plancher de production a été faite à l'été 2017. Cette étude descriptive s'amorce suite à cette demande.

4.4 Diagnostic et observations

De ce fait, les chercheurs ont profité de cette opportunité pour mieux comprendre les besoins et contraintes des entreprises manufacturières, en analysant ses processus d'affaires et proposant des solutions technologiques pour leur système d'information qui ne permet pas de répondre adéquatement à leurs besoins. Ce projet a été effectué, avec l'aide de partenaires promouvant la technologie au sein de l'industrie de la mode, entre juin 2017 à mars 2018.

Afin d'être en mesure de proposer des solutions intégrées, une évaluation des besoins et requis a d'abord été faite, basée sur une approche de réingénierie des processus. Pour commencer, une collecte de données a été réalisée. Ainsi, les chercheurs ont rencontré à quelques reprises le

président général afin de comprendre les processus d'affaires de l'entreprise XYZ et d'être en mesure de déceler les problématiques et pistes de solutions. Pour ce faire, une liste de processus a été établie, exposée au tableau 4.1.

Tableau 4.1 Liste des processus de l'entreprise XYZ

Numéro	Processus
1	Traiter une demande de client
1.1	Faire la gamme de montage
1.2	Estimer le temps de production
1.3	Définir le prix de vente
1.4	Évaluer la demande du client
1.5	Négocier le prix et les conditions
2	Approvisionner/Planifier
2.1	Commander les garnitures
2.2	Créer une fiche technique
2.3	Trier et séparer les lots reçus
2.4	Créer la commande
3	Préparer la production
3.1	Imprimer les coupons
3.2	Faire les paquets
3.3	Effectuer les échantillons
4	Produire/Exécuter la commande
4.1	Effectuer l'ordonnancement
4.2	Exécuter la commande
5	Contrôler la qualité
6	Expédier la commande
6.1	Gérer l'expédition
7	Facturer le client
8	Analyser les données de production
9	Recruter la main-d'œuvre
10	Former le personnel
11	Payer le personnel
12	Entretenir et maintenir l'équipement
13	Prospecter de nouveaux clients

Puisque les chercheurs avaient déjà des connaissances de l'entreprise en raison des diagnostics effectués précédemment et que le but de cette étude était la proposition d'un système central d'information, seulement les processus liés au traitement de commandes ont été analysés. En somme, des documents présentant la procédure de chaque processus ont été développés. Ces

documents comprennent une description générale, une cartographie (ANNEXE A pour la cartographie de tous les processus analysés) ainsi que les problèmes et améliorations souhaitées par l'entreprise. Une analyse qualitative de valeur a ensuite permis d'identifier les processus sans valeur ajoutée. Puis, ces informations recueillies ont été analysées afin de regrouper les problématiques, issues des analyses de processus et de valeur, par catégories et de créer une meilleure vue globale de la situation actuelle de l'entreprise.

Une catégorie de problématique a d'ailleurs été mise de l'avant suite à ces observations, soit la planification déficiente. Puis, une analyse causale de cette problématique, démontrée à la figure 4.1, a été effectuée afin d'identifier les causes fondamentales et pouvoir hiérarchiser les différentes causes.

Cette analyse causale était particulièrement pertinente lors de l'évaluation des solutions technologiques proposées, car elle permettait la vérification des causes corrigées suite à l'implantation de logiciels ou progiciels identifiés. Par conséquent, les chercheurs ont évalué le potentiel de résolution de problèmes des différents types d'outils technologiques. Nous avons donc recommandé l'implantation d'un outil de type MES (*Manufacturing Execution System*) permettant le suivi de la production plutôt que l'implantation d'un progiciel de gestion intégrée, mieux connu sous le nom d'ERP (*Enterprise Resource Planning*), en raison du nombre de causes pouvant être résolues suite à l'implantation de ce type de logiciel.

Cependant, nous comprenons les avantages qu'apporte l'implantation d'un ERP. Nous pensons toutefois que la priorité de l'entreprise XYZ consiste en l'amélioration de la planification via un MES, plutôt que l'intégration d'un plus grand nombre de processus de l'entreprise via un ERP. De plus, les contraintes de l'entreprise, principalement au niveau des ressources financières, ne permettent pas l'implantation de plusieurs technologies simultanément. Il est donc important d'établir clairement les besoins et leurs priorités afin de sélectionner adéquatement les technologies à planter.

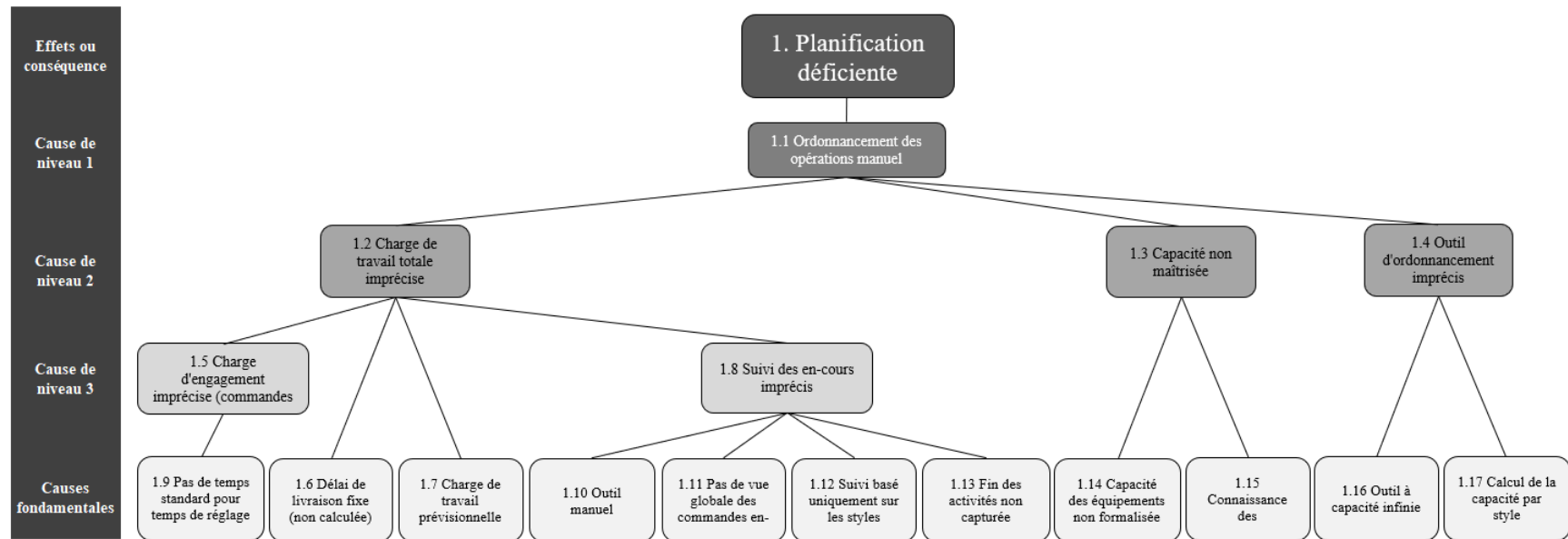


Figure 4.1 Diagramme d'arborescence des problèmes

4.5 Analyse

En outre, l'intégration et la connectivité de différentes technologies propres à Industrie 4.0 créent des synergies menant à diverses alternatives d'implantation technologique (Kagermann, 2015). De ce fait, les différents domaines d'application de chaque levier technologique, anciennement distincts, auront des nouvelles relations, interdépendances et interactions lorsqu'ils convergeront entre eux dans l'avenir (Drath & Horch, 2014; Kagermann, 2015). D'ailleurs, une combinaison de diverses technologies rend possible un haut niveau d'automatisation et de flexibilité, soit deux caractéristiques cruciales aux entreprises manufacturières en raison d'un environnement d'affaires dynamique (Klocke et al., 2014) spécifique au contexte de cette quatrième révolution industrielle en cours. Les entreprises sont alors confrontées à un défi de taille lors de l'implantation d'usines intelligentes puisque cette transformation est systémique (Sjodin et al., 2018) et peut être mise en œuvre de façon graduelle, car les décisions sont décentralisées (Danjou et al., 2017).

L'interdépendance des différents leviers technologiques et l'importance de la sélection et priorisation des technologies constatées lors de l'étude de ce cas ont mis en lumière des similarités avec la gestion de portefeuille. Ainsi, la sélection et l'implantation d'un levier technologique représentent un projet. De plus, l'intégration et la combinaison de ces différents leviers font en sorte que plusieurs projets doivent être gérés simultanément. Par conséquent, la gestion de portefeuille, adaptée à Industrie 4.0, permettrait de mieux gérer un ensemble de projets afin d'atteindre des objectifs stratégiques. Une rapide analyse de l'état de l'art a permis de constater qu'aucune publication ne fait mention d'une méthode de gestion de portefeuille au sein du contexte d'Industrie 4.0, il semble donc intéressant d'approfondir cette orientation lors de ce travail de recherche.

4.6 Conclusion

Cette étude a permis de mieux comprendre ce qui initie une transformation vers Industrie 4.0, soit la volonté d'effectuer une réingénierie des processus d'affaires grâce à l'implantation de technologies. Lors de cette première étude descriptive, des similarités avec les principes de gestion de portefeuilles sont notées, soit l'importance de sélectionner, prioriser et gérer l'interdépendance des projets afin d'atteindre les objectifs des entreprises. Ainsi, les besoins et contraintes des entreprises manufacturières ont été déterminés, soit le deuxième objectif spécifique de ce travail

de recherche, et la gestion de portefeuille semble être la bonne façon de les intégrer au sein d'une nouvelle méthode. Par conséquent, le prochain chapitre présente une méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières.

CHAPITRE 5 ÉTUDE NORMATIVE

5.1 Introduction

Ce chapitre présente la troisième phase de la méthodologie de recherche, soit l'étude normative. Dans le cadre de ce travail de recherche, elle consiste à proposer une méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières. De ce fait, les différentes étapes effectuées pour développer cette méthode sont expliquées. Par la suite, la méthode développée est présentée.

5.2 Développement de la méthode

Puisque la première étude descriptive a mis de l'avant les principes de gestion de portefeuille pouvant être appliqués aux méthodes de déploiement d'Industrie 4.0, les méthodes identifiées lors de la revue de littérature ont été analysées selon une dimension gestion de portefeuille. Pour constituer une base pour la nouvelle méthode proposée, les deux méthodes d'Industrie 4.0 ont été sélectionnées, ainsi qu'une méthode de gestion de portefeuille. Ces trois méthodes ont ensuite été analysées en profondeur afin de les combiner, dans le but d'obtenir une méthode adéquate pour les entreprises manufacturières désirant numériser leur processus et ne sachant pas par quel projet d'implantation technologique commencer. Cette section présente donc le processus de développement de la méthode.

5.2.1 Analyse et sélection des méthodes

En raison du parallèle évident entre la sélection, la priorisation et l'interdépendance des technologies à implanter pour effectuer une transition vers Industrie 4.0, de même que la gestion de portefeuille, l'analyse des méthodes existantes identifiées lors de la revue de littérature se base sur les processus de gestion de portefeuille établis par l'Institut de gestion de projet (PMI), afin de mettre de l'avant leurs limitations. Ainsi, le PMI (2008) propose différents processus au sein du groupe d'alignement stratégique, ceux-ci sont expliqués dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1 Processus d'alignement stratégique

Processus	Définition
Identification	Création d'une liste à jour des projets en cours et des futurs projets à gérer
Catégorisation	Classification en groupes stratégiques les éléments identifiés précédemment afin de faciliter les décisions qui seront prises lors des processus suivants
Évaluation	Identification de facteurs d'évaluation pertinents permettant l'évaluation des éléments catégorisés, incluant une pondération et une représentation graphique, afin d'effectuer des recommandations pour le processus de sélection
Sélection	Sélection des projets basée sur la valeur établie lors de l'évaluation et les critères des sélections
Identification et analyse des risques	Évaluation du risque au niveau des forces, faiblesses, opportunités et menaces afin de pouvoir prévoir leur impact sur l'atteinte des stratégies et objectifs de l'entreprise
Priorisation	Attribution d'une note permettant d'accorder le niveau de priorités aux projets, basée sur la pondération des critères d'évaluation
Développement de la réponse au risque	Développement d'options et d'actions pour accroître les opportunités et réduire les menaces aux objectifs du portefeuille
Balancement	Combinaison des différents projets ayant le plus haut potentiel stratégique tout en considérant le risque
Communication	Communication de l'ajustement du portefeuille aux parties prenantes afin de susciter leur engagement
Autorisation	Communication des décisions concernant le portefeuille aux parties prenantes afin d'obtenir leur autorisation et l'allocation des ressources financières et humaines

Sources : Project Management Institute (2008, 2013, 2017b); Ross et Shaltry (2006)

Déoulant de ces processus et des résultats de la revue de littérature, le tableau 5.2 synthétise cette analyse exposant seulement les processus intégrés au sein des méthodes recensées. Ainsi, certains auteurs soulignent implicitement certains processus ou les mentionnent seulement, sans expliquer comment les mettre en œuvre. Par conséquent, il est considéré que ces méthodes répondent partiellement aux processus de gestion de portefeuille. L'explication du processus doit donc être plus approfondie, proposant minimalement des activités et des techniques, afin d'être considérée comme une réponse complète au processus.

Tableau 5.2 Classification des méthodes existantes d'implantation d'I4.0

Auteurs	Processus du groupe d'alignement stratégique								
	Identifier	Catégoriser	Évaluer	Sélectionner	Identifier et analyser le risque	Prioriser	Balancer	Communiquer	Autoriser
De Carolis et al. (2018)	✓	≈	≈	≈		≈			
Ganzarain et Errasti (2016); (2018)	✓	≈	≈			≈			
Geissbauer et al. (2016)	✓	≈		≈		≈			
Ghobakhloo (2018)	✓	≈	≈						
Gokalp et al. (2017)	≈	≈							
Hamzeh et al. (2018a)	✓		≈	≈		≈			≈
Hamzeh et al. (2018b)	✓		≈		≈				
Heberle et al. (2017)	✓	✓	✓		≈	≈	≈	≈	≈
Leyh et al. (2017a); (2017b)	≈	≈							
Lichtblau et al. (2015)	≈	≈							
Mittal et al. (2018)	≈	≈							
Rockwell Automation (2014)	✓	≈							
Schuh et al. (2017); (2018; 2018)	✓	≈	≈		≈	≈			
Tonelli et al. (2016)	✓		≈		≈	≈			≈
Von Leipzig et al. (2017)	✓	✓	✓	≈	≈	≈	≈		

Légende :

✓ : Répond au processus

≈ : Répond partiellement au processus

Cette analyse démontre qu'aucune méthode issue de la revue de littérature n'intègre tous les processus de gestion de portefeuille. De plus, tout comme lors de la revue critique, les modèles de maturité (Gokalp et al., 2017; Leyh et al., 2017b; Lichtblau et al., 2015; Mittal et al., 2018; Rockwell Automation, 2014) sont les méthodes les plus faibles, incluant seulement deux processus

alors que les autres types de méthodes répondent en moyenne à près de cinq processus. Ainsi, deux méthodes se démarquent lors de cette analyse de processus de gestion de portefeuille, soit ceux d'Heberle et al. (2017) et Von Leipzig et al. (2017), puisqu'elles répondent partiellement à plus de sept processus. Elles sont donc sélectionnées pour une analyse approfondie.

Afin de les lier plus facilement aux principes de gestion de portefeuille lors du développement d'une méthode de gestion de portefeuille de projets adaptée au contexte d'I4.0, la méthode du PMI (2008) est sélectionnée en raison de sa réputation dans le domaine de la gestion de projets. Par conséquent, ces observations et analyses des méthodes actuelles influenceront la méthode développée lors de ce travail de recherche.

5.2.2 Description des méthodes sélectionnées

Les trois méthodes sélectionnées sont présentées afin de mieux comprendre la base de la méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 qui sera développée lors cette étude.

La première méthode sélectionnée, provenant de la revue de littérature concernant les modèles de sélection et priorisation d'Industrie 4.0, est celle d'Heberle et al. (2017). C'est la seule méthode recensée faisant mention de la gestion de portefeuille et c'est d'ailleurs la méthode qui intégrait le plus grand nombre de processus de gestion de portefeuille de projets, soit huit, c'est donc sa plus grande force. Ses processus, activités et techniques sont illustrés à la figure 5.1. Par contre, il est important de noter que les éléments de cette méthode ont été identifiés par l'auteur de ce projet de maîtrise suite à la lecture de l'article d'Heberle et al. (2017), puisque la méthode est expliquée au sein d'un texte continu et que les processus, activités et techniques ne sont pas identifiés de façon distincte au sein de cet article. Cela représente la plus grande faiblesse de ce modèle, soit son manque de structure. De plus, très peu de techniques sont énumérées, ce qui est également une faiblesse. Elles semblent d'autant plus importantes pour les activités plus complexes des processus d'évaluation, de sélection, de priorisation et de balancement, mais très peu de techniques sont recommandées lors de ces processus.

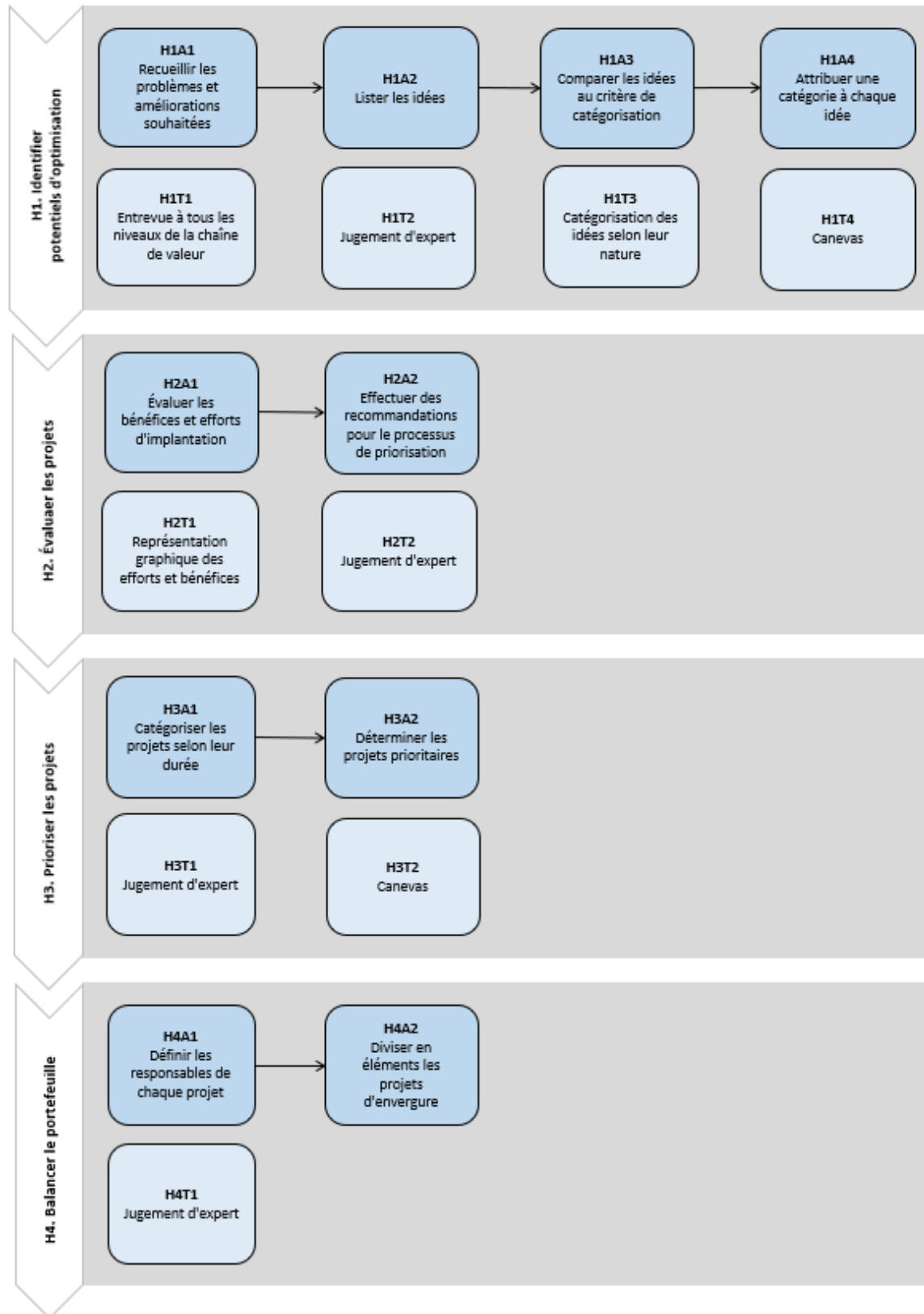


Figure 5.1 Processus, activités et techniques du canevas de digitalisation d'Heberle et al. (2017)

De plus, le canevas de digitalisation d'Heberle et al. (2017) intègre une catégorisation, ce qui est recommandé au sein de la gestion de portefeuille (Project Management Institute, 2008). Cependant, elle n'est nullement utilisée lors des activités suivantes, elle n'est donc d'aucune utilité. Toutefois, l'intégration partielle de la réingénierie des processus, de l'amélioration continue et de la modélisation des processus lors de l'étape d'identification de nouveaux projets semble particulièrement pertinente et constitue une force pour ce modèle. En somme, Heberle et al. (2017) ont développé un canevas de gestion de projets permettant d'illustrer un portefeuille de projets et impliquant un grand nombre de processus de gestion de portefeuille, mais c'est un modèle manquant de structure et ressemblant plutôt à un outil qu'à une méthode en soi.

La deuxième méthode sélectionnée, provenant également de la revue de littérature, est celle de Von Leipzig et al. (2017), schématisée à la figure 5.2. Elle intègre sept processus de gestion de portefeuille alors, elle représente la seconde méthode incorporant le plus grand nombre de ces processus. Comme pour la méthode précédente, celle de Von Leipzig et al. (2017) manque de structure. De ce fait, les processus et techniques sont identifiés clairement, mais ce n'est pas le cas pour les activités. Par conséquent, celles-ci ont été identifiées par l'auteur de ce mémoire. D'ailleurs, seulement quelques techniques sont suggérées par Von Leipzig et al. (2017) et leur utilisation manque d'explication au sein de ce modèle conceptuel. Il est donc difficile de comprendre l'utilité de chacune de ces techniques et comment celles-ci s'interrelient. En outre, ce modèle conceptuel orienté client intègre des activités et techniques pour déterminer les nouveaux projets afin d'initier la numérisation des processus de l'entreprise. Celles-ci sont directement en lien avec les besoins des clients, puisque c'est la direction stratégique prise par les auteurs de ce modèle. Par ailleurs, la catégorisation de ce modèle intègre la dimension client, car elle est basée sur le diagramme de Kano. Cette catégorisation permet de balancer la sélection des initiatives en les classifiant par leur utilité pour le client final. Ce modèle conceptuel expliqué brièvement par Von Leipzig et al. (2017) incorpore ainsi un certain nombre de principes de gestion de portefeuille et il gagnerait à être approfondi pour combler ses lacunes au niveau de l'explication de son exécution.

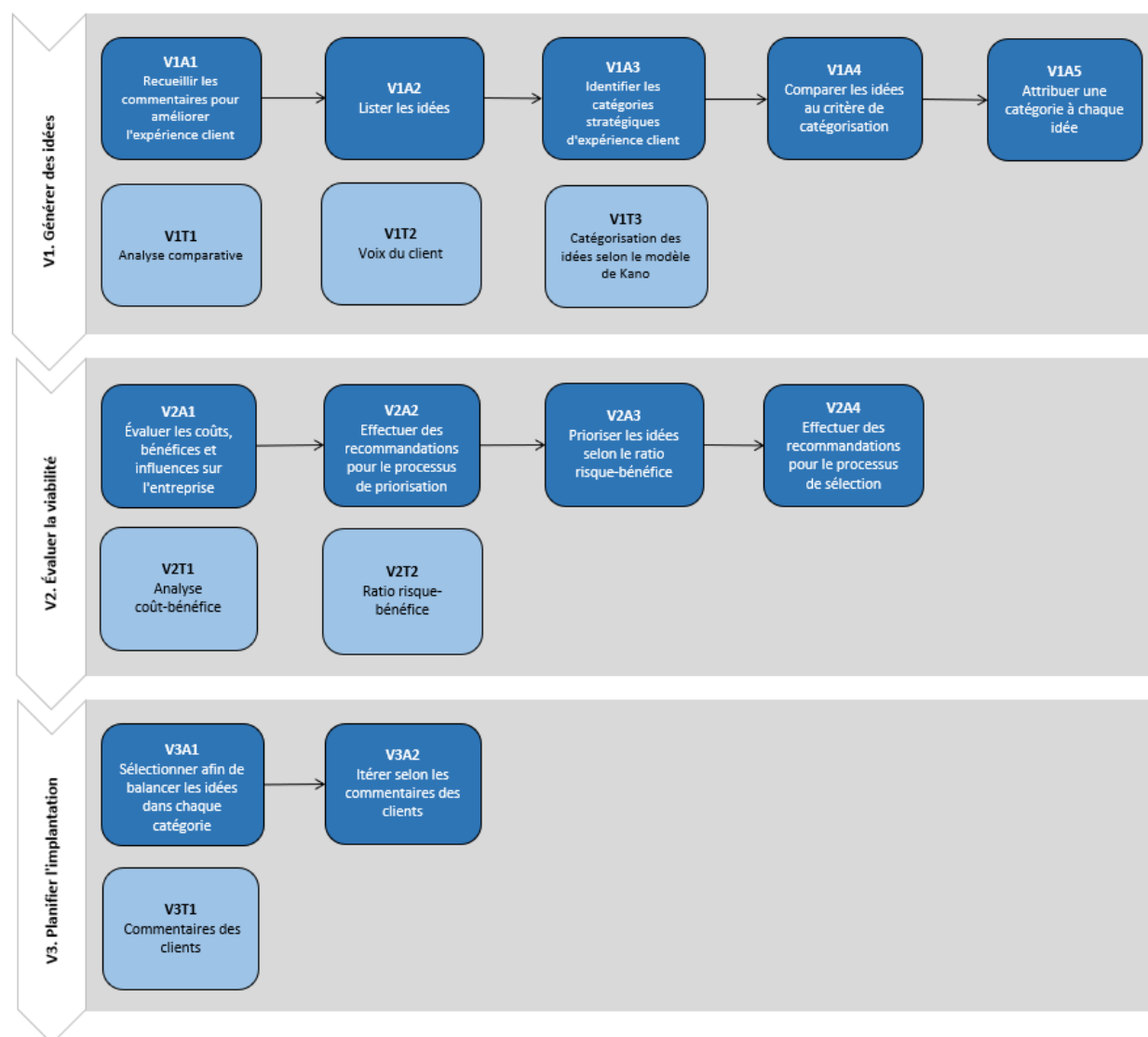


Figure 5.2 Processus, activités et techniques du modèle conceptuel pour initier la numérisation et maintenir la compétitivité de Von Leipzig et al. (2017)

La dernière méthode est celle de gestion de portefeuille du PMI (2008), soit une association reconnue en gestion de projets. Sa sélection est basée sur sa réputation et la version choisie est celle présentant les activités de façon séquentielle, avant qu'elles ne soient regroupées par groupe de connaissance au sein des éditions suivantes et que la structure devienne plus complexe pour utiliser comme base pour le développement d'une nouvelle méthode. C'est la méthode parmi les trois modèles sélectionnés qui offre la plus grande structure, car les processus, activités, techniques, intrants et résultats sont clairement identifiés. Cependant, les processus étant séparés par domaine de connaissance, soit la gouvernance et la gestion du risque, la séquence des processus varie au

sein du livre du PMI (2008). De ce fait, les processus d'identification et d'analyse des risques sont parfois illustrés entre ceux de sélection et de priorisation alors qu'ils sont également illustrés suite au processus d'évaluation. Cette deuxième option étant montrée à la figure 5.3, puisque c'est celle qui était privilégiée lors de l'explication des processus de gestion du risque au sein du livre du PMI (2008). Ainsi, la séparation des processus par domaine de connaissance de processus rend vague la séquence des processus. Pour ce qui est des techniques, elles ne sont pas mises en lien direct avec les activités, elles sont plutôt proposées par processus. De plus, le PMI (2008) recense un grand nombre de techniques, pouvant créer une sorte de paradoxe du choix tandis que les avantages et inconvénients de chacune de ces techniques ne sont pas identifiés, ce qui ne facilite pas le choix. Au niveau de l'identification, la gestion de portefeuille du PMI (2008) n'inclut pas d'activités pour déterminer les nouveaux projets; il semblerait que ceux-ci aient déjà été établis précédemment et qu'il faille simplement les identifier. Au niveau des activités, il y a parfois des redondances et des activités qui semblent plutôt représentées des livrables ou des techniques, tels *P7A1 Confirmer la catégorisation des composants selon les catégories stratégiques prédéterminées*, *P6A3 Produire une liste de composants pour la priorisation* et *P4A2 Représenter graphiquement pour faciliter la prise de décision*. En somme, la méthode de gestion de portefeuille du PMI (2008) est assez complète, mais il semble pertinent de la simplifier et de l'adapter au contexte d'I4.0.

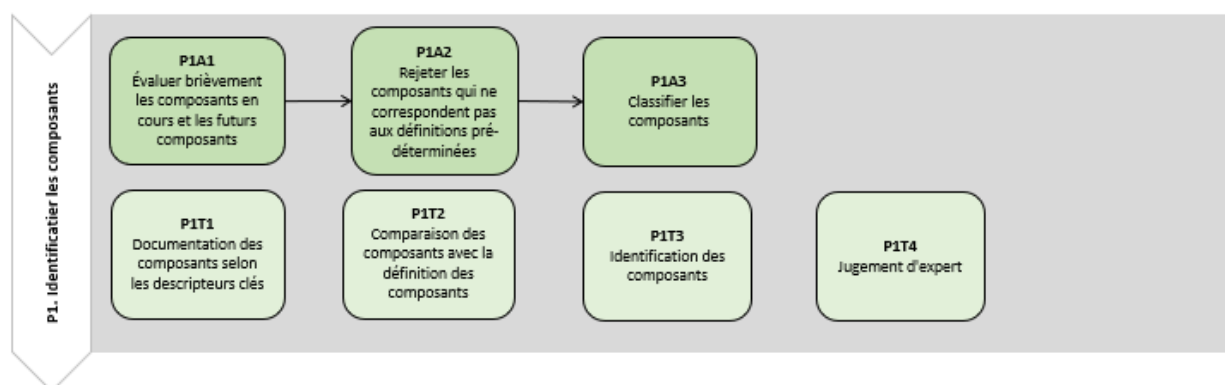


Figure 5.3 Processus, activités et techniques de la gestion de portefeuille du Project Management Institute (2008)

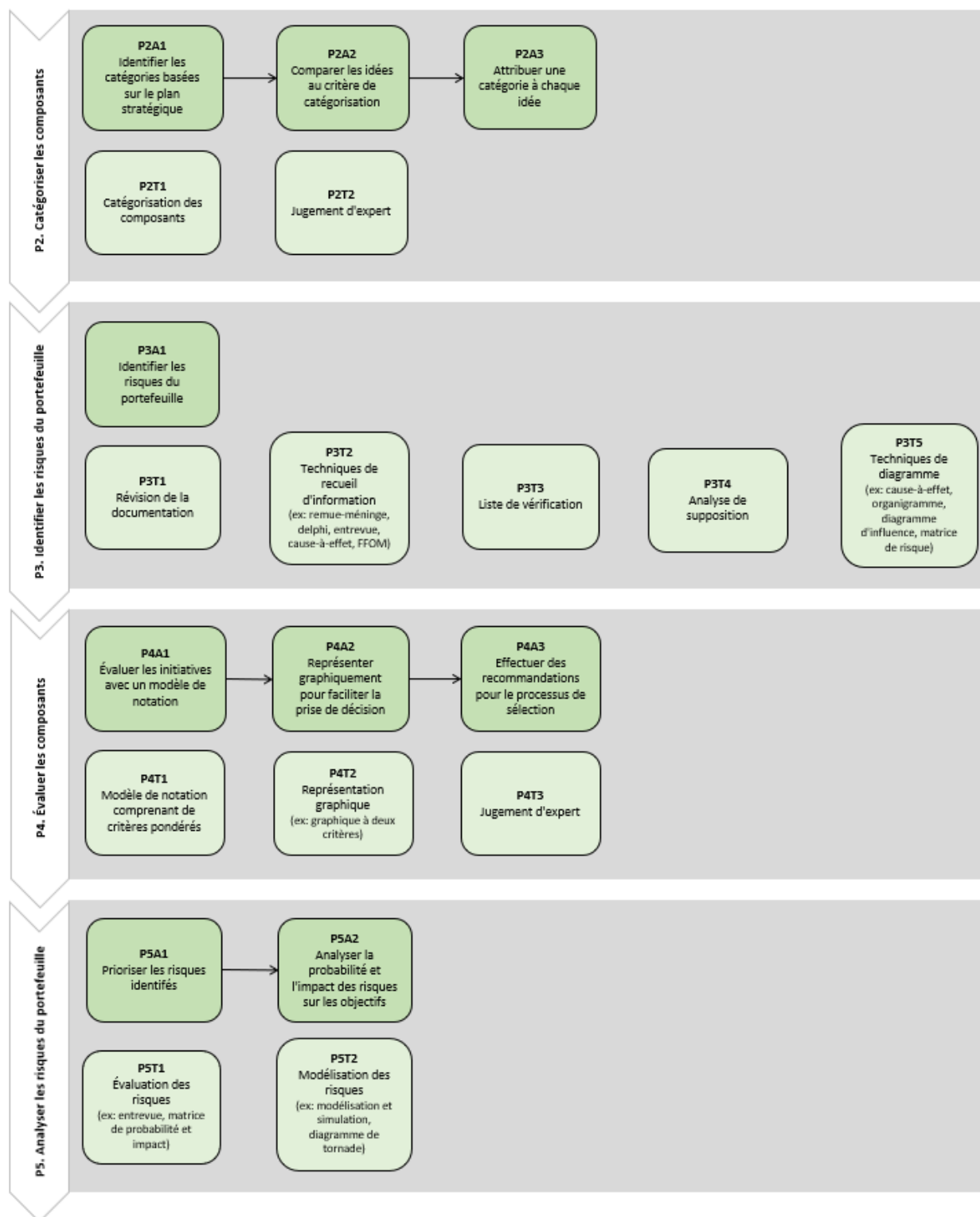


Figure 5.3 Processus, activités et techniques de la gestion de portefeuille du Project Management Institute (2008) (suite)

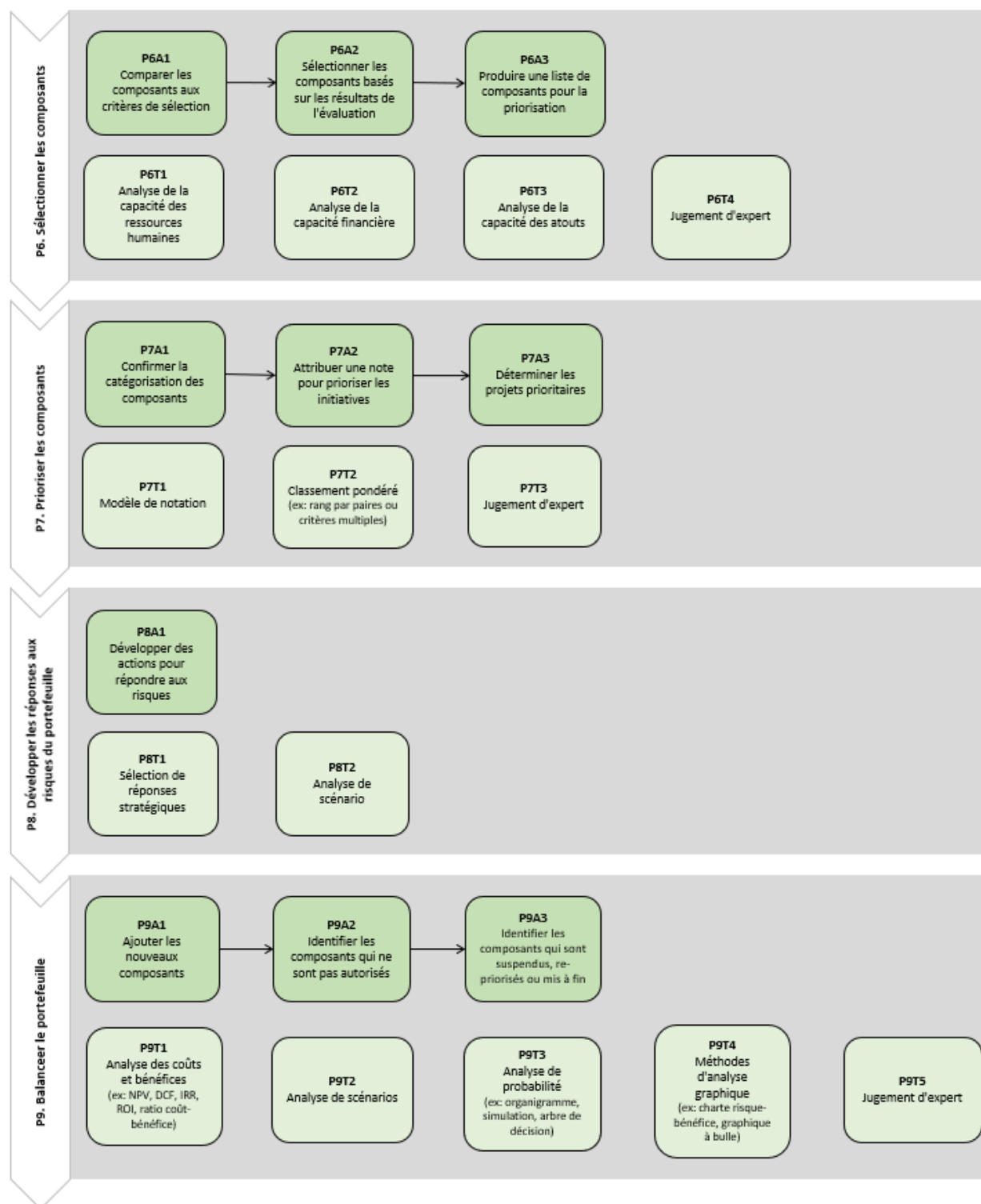


Figure 5.3 Processus, activités et techniques de la gestion de portefeuille du Project Management Institute (2008) (suite)

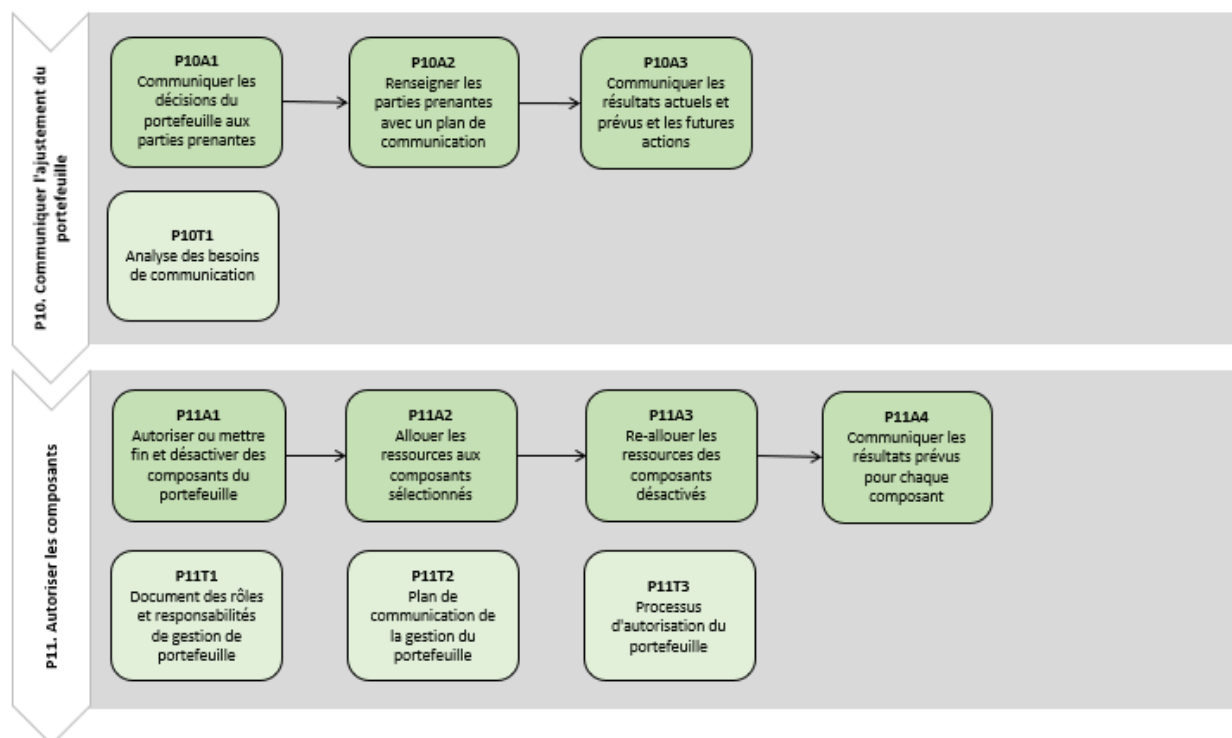


Figure 5.3 Processus, activités et techniques de la gestion de portefeuille du Project Management Institute (2008) (suite et fin)

L'analyse des méthodes d'Heberle et al. (2017), de Von Leipzig et al. (2017) et du Project Management Institute (2008), tout en considérant les diverses références qui ont été consultées lors de ce projet de recherche, permet donc de déceler leurs forces et faiblesses, afin de faciliter le développement d'une méthode répondant mieux aux entreprises manufacturières désirant numériser leurs processus dans le but d'intégrer les technologies I4.0, mais ne sachant actuellement pas par où commencer. Suite à cette analyse, il est possible de conclure que certaines forces des méthodes d'Industrie 4.0 représentent les faiblesses des méthodes de gestion de portefeuille de projets, et vice-versa, tel que démontré dans le tableau 5.3.

Tableau 5.3 Comparaison des forces et faiblesses des types de méthodes

	Faiblesses	Forces
Gestion de portefeuille	○ Pas d'activités intégrant l'identification des futurs projets	○ Processus de sélection ○ Processus identifiés clairement ○ Suggestion d'un grand nombre de techniques
Implantation I4.0	○ Intègre des processus d'élimination plutôt que de sélection ○ Manque de structure dans les méthodes ○ Peu de techniques énumérées	○ Intègre des activités pour l'idéation de nouveaux projets

Par conséquent, il semble judicieux de combiner ces modèles afin d'obtenir une méthode plus complète et répondant mieux à la problématique identifiée lors de ce projet de recherche. L'intégration des méthodes d'implantation d'Industrie 4.0 à la gestion de portefeuille permettra donc de mieux encadrer les entreprises lors de l'identification de nouveaux projets en lien avec leur stratégie d'affaires, alors que l'intégration de la gestion de portefeuille à l'implantation d'I4.0 permettra d'offrir une méthode plus structurée et de proposer un plus grand nombre de techniques, afin de mieux soutenir les entreprises lors de la numérisation de leurs processus.

5.2.3 Combinaison des modèles

L'analyse approfondie lors de la comparaison de ces méthodes a permis d'effectuer une synthèse afin de sélectionner divers éléments permettant de créer une nouvelle méthode. De ce fait, les processus (ANNEXE B pour la sélection des processus), les activités (ANNEXE C pour la sélection des activités) et les techniques (ANNEXE D pour la sélection des techniques) ont été mis en relation dans le but de faire ressortir facilement les similitudes et différences des trois méthodes. Au niveau des processus, un travail de simplification a été effectué. Les processus sélectionnés découlent de la gestion de portefeuille du PMI (2008) puisque ceux-ci permettent de couvrir un plus grand ensemble de processus et d'instaurer une structure lors de la création de la séquence d'activités. Cependant, les processus liés au domaine de connaissance de la gestion du risque ont été éliminés dans le but de les intégrer parmi d'autres processus et d'en simplifier la chaîne; le risque sera donc intégré plus explicitement au sein de certaines activités. À cet effet, un effort d'analyse a permis de mettre en relief les différences au niveau des activités pour s'assurer qu'aucun élément pertinent au développement de la méthode ne soit oublié, tout en voyant les similarités afin de les consolider. Les techniques ont ensuite été sélectionnées de façon à s'assurer

que chaque activité soit soutenue par au moins une technique et puisse créer un résultat. Une consolidation ainsi qu'une recherche au sein de publications de gestion de portefeuille recensant des techniques ont été exécutées afin de faciliter cette sélection. Les principales références consultées à cette étape sont Ramani (2016), Bonham (2005) et Cooper et al. (2001).

5.2.4 Amélioration de la méthode initiale

Ayant identifié préalablement les intrants, extrants, rôles et techniques de chaque activité au sein d'un tableau (ANNEXE E), cela a mis en relief les manques à combler de la méthode. Ainsi, il est possible de déceler des redondances au niveau de l'ordre des activités, de s'apercevoir que certaines activités et techniques n'étaient pas en mesure de produire un extrant, que certaines activités n'avaient pas de technique allouée, etc. Par conséquent, des lacunes de la méthode apparaissent et peuvent maintenant être corrigées.

Ensuite, sous un effort de validation, les intrants et extrants de la méthode développée lors de la combinaison sont identifiés et illustrés sous forme d'un diagramme d'interrelation (ANNEXE F) afin de s'assurer que chaque extrant est pertinent pour l'exécution de la méthode et est donc utilisé pour une prochaine activité. Ce diagramme d'interrelation représente un modèle d'information.

En cherchant à respecter la définition formelle d'une méthode, la méthode développée initialement doit être évaluée selon les cinq éléments obligatoires du modèle MEM (Zellner, 2011). Ainsi, l'ordre des activités étant déjà défini, le modèle de procédure est présent dans la nouvelle méthode proposée. Les techniques sont également existantes et chaque activité est maintenant supportée par au moins une technique. Lors de la création du tableau résumant la méthode, les extrants ont été définis ce qui fait en sorte que les résultats sont aussi présents. Puis, lors de la validation sous forme de diagramme d'interrelations des résultats, un modèle d'information a été créé. Tous les éléments de la méthode ne se retrouvent pas au sein de ce schéma afin d'éviter la surcharge d'information au sein d'une même figure, mais la mise en lien des intrants et extrants permet d'intégrer implicitement les autres éléments de la méthode puisque chaque trait est lié à une activité de transformation et représente une activité, des techniques et un rôle.

À cet effet, il a été possible de constater que les rôles étaient manquants jusqu'à cette étape. D'ailleurs, Von Leipzig et al. (2017) ne font jamais mention des personnes responsables à l'exécution des activités, tandis qu'Heberle et al. (2017) citent quelques rôles critiques seulement.

Au niveau de la méthode du PMI (2008), elle explique différents types de postes et nomme l'équipe de gestion de portefeuille comme responsable de certains processus, sans mettre en lien des rôles avec chaque activité. Cette situation concernant le manque de rôle a donc été corrigée afin de qualifier cette méthode développée comme une méthode formelle. De ce fait, un rôle pour chaque activité est identifié dans la méthode de gestion de portefeuille de projets I4.0. Ils représentent des équivalences dans ce domaine puisque nous supposons que les entreprises manufacturières qui utiliseraient cette méthode ne sont pas familières avec la gestion de portefeuille. Ils découlent alors des observations effectuées en entreprise lors de la première étude descriptive.

5.3 Méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0

Enfin, suivant le processus de développement exposé, la méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières est créée. Il est important de noter que certaines activités doivent être réalisées préalablement à cette méthode puisque celle-ci est axée sur le processus d'alignement stratégique. Ces activités créeront donc les intrants nécessaires pour mettre en œuvre cette méthode et doivent être réalisées au cours de la planification stratégique par la haute direction de l'entreprise manufacturière. Ces intrants préliminaires sont :

- la définition des objectifs;
- l'analyse des processus opérationnels;
- l'identification des ressources disponibles pour la définition des capacités;
- les principaux critères de performance à prendre en compte lors de l'évaluation et de la sélection des projets;
- les éléments clés de la définition des projets;
- la liste des projets en cours;
- la liste des parties prenantes; et
- les critères de communication.

Les autres intrants seront directement créés par cette méthode, en tant que résultats d'activités qui seront utilisés ultérieurement comme intrants.

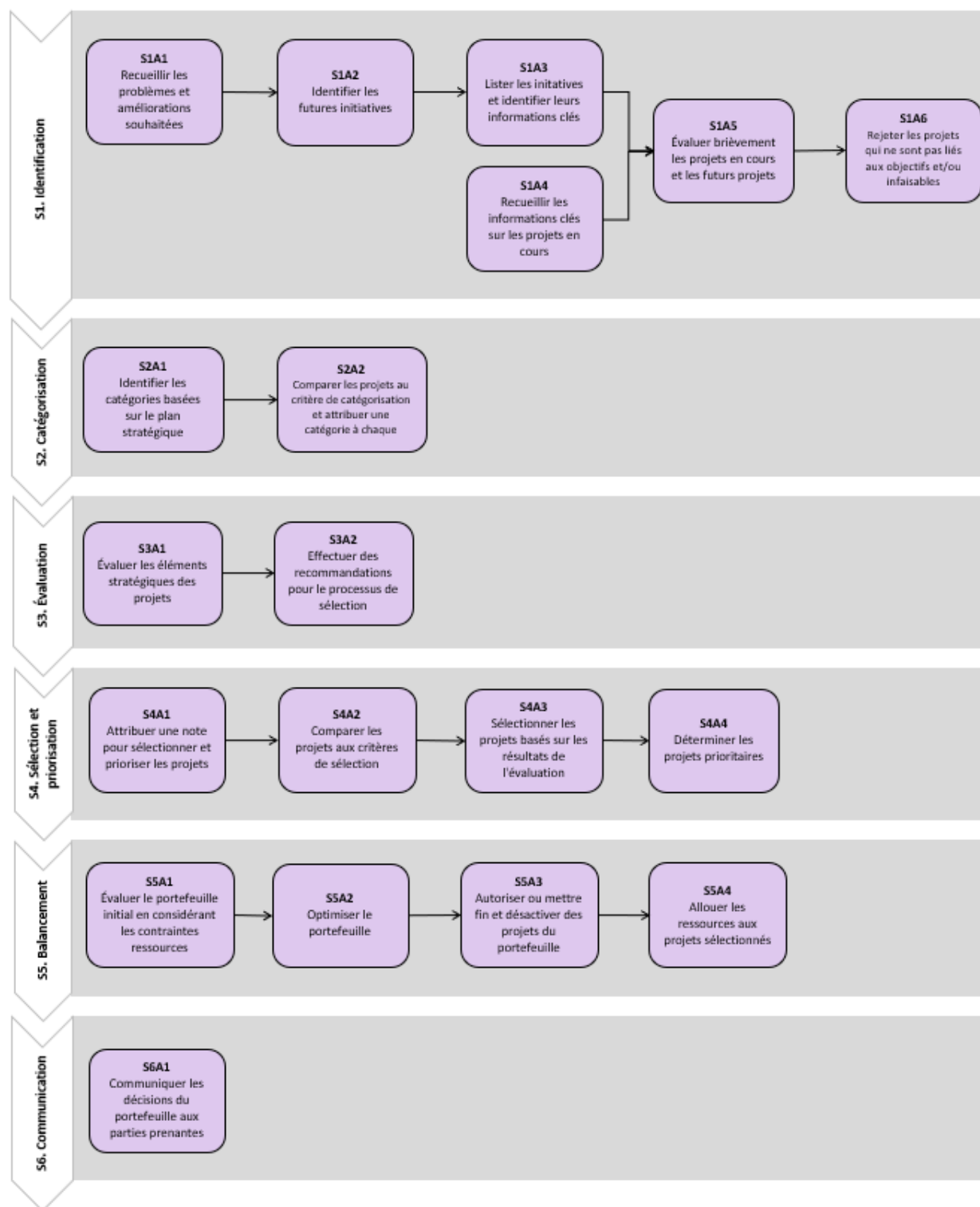


Figure 5.4 Modèle de procédure de la méthode proposée

La section suivante décrit la méthode développée. Elle est composée de six processus, soit l'identification, la catégorisation, l'évaluation, la sélection et priorisation, le balancement ainsi que la communication. Ces processus regroupent des activités et permettent d'apporter une structure à la méthode. Ces deux éléments de méthodes sont représentés au sein de la figure 5.4, formant un modèle de procédure alors que l'ANNEXE E synthétise les divers éléments de cette méthode sous forme d'un tableau.

5.3.1 Identification

Suivant une planification stratégique où une analyse des processus a permis de déceler les problèmes et améliorations souhaitées, le directeur des opérations de l'entreprise doit alors recueillir ces informations afin d'identifier les futures initiatives. Nous recommandons l'utilisation d'un diagramme d'arborescence illustrant les causes fondamentales des problèmes, tel qu'exposé à la figure 4.1. En proposant des projets technologiques corrigeant les causes fondamentales, il sera possible de corriger par la suite les causes de niveaux supérieurs créant la problématique que l'entreprise désire améliorer en numérisant ses processus. La réingénierie des processus guide donc le processus d'idéation pour l'identification de futures initiatives. De plus, il est utile d'avoir en main la liste des groupes technologiques d'Industrie 4.0, tel qu'exposé dans le tableau 5.4, lors de cette idéation.

L'entreprise ayant préalablement identifié les éléments clés pertinents à la description des projets, le directeur des opérations doit lister les initiatives en cours ainsi que leurs éléments clés, tels la description du projet, les objectifs stratégiques supportés, les bénéfices qualitatifs et quantitatifs prévus, les ressources nécessaires, etc. Les éléments clés des nouveaux projets proposés doivent également être identifiés de façon sommaire afin de faciliter leur brève évaluation.

En ayant la description des projets en cours et proposés, le directeur des opérations peut évaluer brièvement les différents projets en vue de rejeter les projets qui ne sont pas liés aux objectifs ou jugés infaisables au niveau des contraintes ressources. La liste consolidée des projets retenus, ceux en cours et ceux proposés, permet de ne pas perdre du temps sur l'évaluation de projets n'ayant aucune chance d'être sélectionnés lors de la définition du portefeuille.

Tableau 5.4 Groupes technologiques

Groupe technologique	Définition
Données massives (<i>Big data and analytics</i>)	Technologie permettant de traiter une énorme quantité de données dans le but d'améliorer la prise de décision.
Intelligence artificielle (<i>Artificial intelligence</i>)	Programme informatique effectuant des tâches et/ou prenant des décisions de façon autonome.
Infonuagique (<i>Cloud</i>)	Modèle permettant un accès répandu à des ressources informatiques partagées.
Internet des objets (IdO) (<i>Internet of Things, IoT</i>)	Infrastructure d'interconnexion des entités physiques, des systèmes, des sources d'information et des services intelligents traitant l'information des mondes virtuel et physique et influençant ce dernier.
Systèmes cyberphysiques (<i>Cyber-physical system, CPS</i>)	Mécanisme échangeant des informations, déclenchant des actions et se contrôlant mutuellement de façon autonome.
Cybersécurité (<i>Cybersecurity</i>)	Protocole de communication contrôlant les accès aux systèmes vu l'omniprésence de la connectivité et l'échange de données.
Robots/machines autonomes (<i>Autonomous robots</i>)	Machines dotées de technologies de connectivité devenant plus autonomes, flexibles et coopératives et interagissant les unes avec les autres.
Communication inter machines (<i>Machine-to-machine, M2M</i>)	Technologie de communication inter machines créant des réseaux locaux de machines autonomes.
Systèmes de simulations (<i>Simulation system</i>)	Système consistant à simuler les opérations de production afin de tester et optimiser le paramétrage des machines avant d'effectuer les changements dans le monde réel.
Réalité augmentée (<i>Augmented reality</i>)	Système superposant les informations à la réalité environnante en temps réel dans le but de fournir des instructions aux opérateurs.

Source : Danjou et al. (2017)

5.3.2 Catégorisation

L'entreprise manufacturière ayant des objectifs précis et une description de projets, le directeur général doit être en mesure de faire le pont entre ces objectifs et ces projets en identifiant des catégories stratégiques. Le directeur des opérations alloue ensuite une catégorie à chaque projet.

5.3.3 Évaluation

Ayant en main la liste des projets catégorisés et les éléments stratégiques à évaluer, soit les critères de performance identifiés lors du développement de la stratégie, le directeur des opérations développe une grille d'évaluation multicritères pondérés permettant d'évaluer les projets. Les

résultats de cette évaluation sont validés avec le directeur général afin de s'assurer que la stratégie de l'entreprise manufacturière est bien respectée. Par la suite, ce dernier effectue des recommandations pour les prochains processus.

5.3.4 Sélection et priorisation

Le directeur des opérations reprend cette même grille d'évaluation multicritères dans le but d'attribuer une note à chaque projet; cette note étant calculée selon la pondération des critères multipliée par les résultats de l'évaluation. Puis, la technique d'enveloppe stratégique est utilisée, classant les projets selon leur note au sein de leur catégorie stratégique respective. Cette technique constitue donc un effort de sélection et priorisation simultanément. Ainsi, le classement des projets, mis en relief avec les coûts, supporte le directeur général lors de la sélection des projets selon le budget alloué par l'entreprise parmi les catégories. Une matrice de dépendance des projets sélectionnés permet ensuite au directeur général d'approuver la liste de projets priorisés. Elle met de l'avant l'interdépendance des projets afin de s'assurer que l'ordre de priorité des projets est logique.

5.3.5 Balancement

Le processus précédent ayant permis de créer un portefeuille initial, le directeur des opérations évalue les résultats prévus de ce portefeuille, tout en considérant les contraintes ressources et les objectifs stratégiques. Cette évaluation est possible grâce à un ordonnancement bref jumelé à une analyse des coûts et bénéfices. Le portefeuille initial étant rarement optimal, le directeur des opérations effectue diverses itérations de manière à optimiser le portefeuille. Des méthodes d'analyse graphique peuvent faciliter la prise de décision du directeur des opérations tandis que différentes options de portefeuilles sont développées. Le portefeuille et les résultats prévus sont actualisés selon l'option sélectionnée. Le directeur général révisé ensuite le portefeuille afin d'autoriser ou mettre fin aux projets du portefeuille. Ayant obtenu son approbation, le directeur des opérations peut alors approfondir le plan d'implantation du portefeuille en allouant les ressources.

5.3.6 Communication

Pour finir, le directeur des opérations communique les différentes informations pertinentes du portefeuille de projet aux parties prenantes concernées. Considérant que le portefeuille de projet

peut être itéré lors de son exécution, les parties prenantes devront également être informées des ajustements. En raison des changements qu'un tel portefeuille de projets peut apporter à une entreprise manufacturière, la communication représente donc une étape importante pour gérer adéquatement la résistance au changement.

5.4 Conclusion

En somme, la méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 pour les entreprises manufacturières proposée lors de ce travail de recherche est issue des connaissances assimilées lors de la revue de littérature critique et de l'analyse effectuée lors de la première étude descriptive. Ainsi, la revue de littérature critique a permis d'identifier les méthodes actuelles fournissant des pistes de solution à intégrer, tout en identifiant leurs limites, afin de les corriger lors de la proposition d'une nouvelle méthode de sélection et priorisation des technologies d'Industrie 4.0, intégrant la gestion de portefeuille. D'ailleurs, c'est la première étude descriptive qui a permis de mettre de l'avant les similarités avec la gestion de portefeuille de projets et les avantages possibles lorsqu'adaptée au contexte de transformation d'Industrie 4.0.

En outre, nous pouvons noter qu'elle comprend un modèle de procédure, des techniques, des résultats, des rôles et un modèle d'information, soit tous les éléments obligatoires d'une méthode selon Zellner (2011). Cette méthode répond alors au troisième objectif spécifique de ce travail de recherche. La seconde étude descriptive, se concentrant sur le quatrième et dernier objectif spécifique, est présentée au prochain chapitre et démontre l'application de la méthode développée pour une entreprise manufacturière.

CHAPITRE 6 SECONDE ÉTUDE DESCRIPTIVE

6.1 Introduction

La deuxième étude descriptive, constituant la dernière phase de cette recherche, fut effectuée auprès de l'entreprise XYZ, soit l'entreprise étudiée lors de la première étude descriptive. Presque aucun levier technologique I4.0 n'est présent au sein de leur manufacture actuellement. Cette PME manufacturière de l'industrie du vêtement entame alors sa transformation vers Industrie 4.0. Par conséquent, elle doit sélectionner, prioriser et mettre en œuvre plusieurs projets d'implantation technologiques afin de numériser ses processus. Cette phase consiste à l'application du modèle proposé lors de l'étude normative à un contexte réel d'entreprise. Cet effort de validation permettra ainsi de confirmer ou d'infirmer la faisabilité de la méthode de gestion de portefeuille de projet d'Industrie 4.0 au sein des entreprises manufacturières. Ce chapitre présente donc les résultats de l'application de la méthode à l'entreprise XYZ.

6.2 Données recueillies lors de l'application de la méthode

Déoulant des observations et analyses de l'entreprise XYZ effectuées lors de la première étude descriptive, la méthode développée est appliquée à cette entreprise en tant que cas expérimental. Puisque ce travail de recherche se base sur la méthodologie DRM, et non sur la recherche-intervention ou recherche-action, les chercheurs sont responsables d'appliquer la méthode et de développer le portefeuille de projets pour l'entreprise XYZ, plutôt que celui-ci soit effectué par les gestionnaires de l'entreprise. Par conséquent, les rôles identifiés dans la méthode sont ignorés volontairement, car toutes les activités seront effectuées par les chercheurs et non par le directeur général de l'entreprise XYZ. Cette section présente ainsi les résultats de cette étude descriptive.

6.2.1 Identification

D'abord, une analyse des processus ayant été faite préalablement lors de la plus récente demande de conseil par l'entreprise XYZ, elle fut utilisée comme intrant initial de la méthode proposée lors de ce projet de maîtrise. La modélisation et la description des processus recensent alors les problèmes et améliorations souhaitées de l'entreprise, dans un contexte de numérisation des processus de traitement de commande, énoncés par le directeur général. Basée sur les résultats de cette analyse approfondie de processus, cela a mis de l'avant les causes de ces problèmes en les

hiérarchisant. De ce fait, un diagramme d'arborescence, soit le diagramme de causalité effectuée lors de la première étude descriptive et illustrée à la figure 4.1, a permis de mieux comprendre les causes fondamentales et de nommer la conséquence générique de ces problèmes, soit la planification déficiente. Par conséquent, cela a permis de cibler efficacement les problèmes à corriger. Cela assure ainsi l'alignement des objectifs et de la stratégie de l'entreprise, puisque l'objectif primaire est d'améliorer la planification. Pour ce faire, l'entreprise désire avoir une meilleure visibilité des commandes et de la capacité du plancher de production à moyen et long terme, car seule la planification à court terme, soit l'ordonnancement, est effectuée actuellement, et ce, principalement de façon manuelle. Alors, l'entreprise XYZ n'est pas en mesure de calculer les délais de production pour les nouvelles commandes et informe tous ses clients d'un délai standard.

Puis, une fois ce diagramme en main, nous avons pu identifier différents projets permettant de résoudre les causes fondamentales, et qui pourront, par la suite, corriger les problèmes de niveaux supérieurs. Le diagramme d'arborescence des problèmes a permis de structurer le processus d'idéation en appliquant un filtre d'idées tandis que la liste des groupes technologiques a permis de considérer les différentes technologies possibles. D'ailleurs, chaque levier technologique pertinent au contexte de l'entreprise XYZ a été transformé en projets lors de ce processus d'identification. De plus, chaque cause a été transformée en objectif spécifique, tel qu'exposé dans le tableau 6.1, afin de s'assurer que la transition vers Industrie 4.0 de l'entreprise XYZ sera bénéfique au niveau de l'amélioration continue et de la réingénierie des processus.

Tableau 6.1 Causes transformées en objectifs

Causes exposées dans le diagramme d'arborescence	Objectifs
1.5 Charge d'engagement imprécise (commandes fermes)	O1 Préciser la charge d'engagement
1.2 Charge de travail totale imprécise	O2 Améliorer la précision de la charge totale de travail
1.8 Suivi des en-cours imprécis	O3 Améliorer la gestion des en-cours
1.3 Capacité non maîtrisée	O4 Maîtriser la capacité
1.4 Outil d'ordonnancement imprécis	O5 Améliorer le processus d'ordonnancement
N/A (objectif général)	O6 Améliorer la productivité

Tableau 6.2 Exemples de description clé des projets proposés

Codification du projet	P1	P2	P3
Description du projet	Implantation ERP	Implantation MES	Implantation d'un système de suivi
Stade du projet	Proposition	Proposition	Proposition
Objectifs stratégiques supportés	Préciser la charge d'engagement	Préciser la charge d'engagement Améliorer le processus d'ordonnancement Améliorer la gestion des en-cours Améliorer la précision de la charge totale de travail Améliorer la productivité	Améliorer la gestion des en-cours
Problèmes corrigés	1.5 Charge d'engagement imprécise 1.7 Charge de travail prévisionnelle non calculée 1.9 Pas de temps standard pour temps de réglage 1.10 Outil manuel 1.11 Pas de vue globale des commandes en-cours 1.14 Capacité des équipements non formalisée 1.16 Outil à capacité infinie	1.4 Outil d'ordonnancement imprécis 1.5 Charge d'engagement imprécise 1.6 Délai de livraison fixe 1.7 Charge de travail prévisionnelle non calculée 1.9 Pas de temps standard pour temps de réglage 1.10 Outil manuel 1.11 Pas de vue globale des commandes en-cours 1.13 Fin des activités non capturée automatiquement 1.14 Capacité des équipements non formalisée 1.16 Outil à capacité infinie 1.17 Calcul de la capacité par style	1.10 Outil manuel 1.11 Pas de vue globale des commandes en-cours 1.13 Fin des activités non capturée automatiquement 1.16 Outil à capacité infinie
Estimation des bénéfices	Amélioration de l'intégration Faciliter les diverses analyses	Amélioration de l'intégration Optimisation de la production Amélioration de la visibilité du plancher de production	Amélioration de la visibilité du plancher de production
Parties prenantes	Fournisseur du progiciel Directeur général Directrice de production Superviseur de production	Fournisseur du logiciel Directeur général Directrice de production Superviseur de production	Fournisseur du logiciel Directeur général Directrice de production Superviseur de production Employés du plancher de production
Estimation des besoins en ressources humaines	Directeur général et ressources externes	Directeur général et ressources externes	Directeur général, directrice de production et ressources externes
Estimation des besoins financiers	Budget : 50 000\$	Budget : 50 000\$	Budget : 50 000\$
Dépendance avec autres projets	Intégration des données des autres systèmes	Intégration avec des capteurs Formalisation des compétences	Intégration avec des capteurs

Les éléments clés d'un projet ont ensuite été identifiés pour chaque projet proposé à l'entreprise XYZ afin d'être en mesure de structurer leur évaluation, des exemples que nous avons élaborés sont illustrés dans le tableau 6.2. Il est à noter que, lors de cette description de projets, s'il est constaté qu'un projet ne répond à aucun objectif, il doit être éliminé du portefeuille et donc des activités suivantes.

Un diagramme d'interrelations des projets et objectifs, tel que démontré à la figure 6.1, a également permis de s'assurer que les projets sont alignés avec la stratégie. L'alignement a aussi été vérifié lors de la description des projets, mais ce diagramme permet de s'assurer qu'aucun objectif ne soit oublié puisqu'il est plus difficile de faire ce type de vérification sous forme de tableau si l'entreprise possède de nombreux projets et objectifs. D'ailleurs, le projet 7 (P7) a été ajouté suite à ce diagramme, car il fût constaté que l'objectif 4 (O4) ne possédait aucun projet relié jusqu'alors.

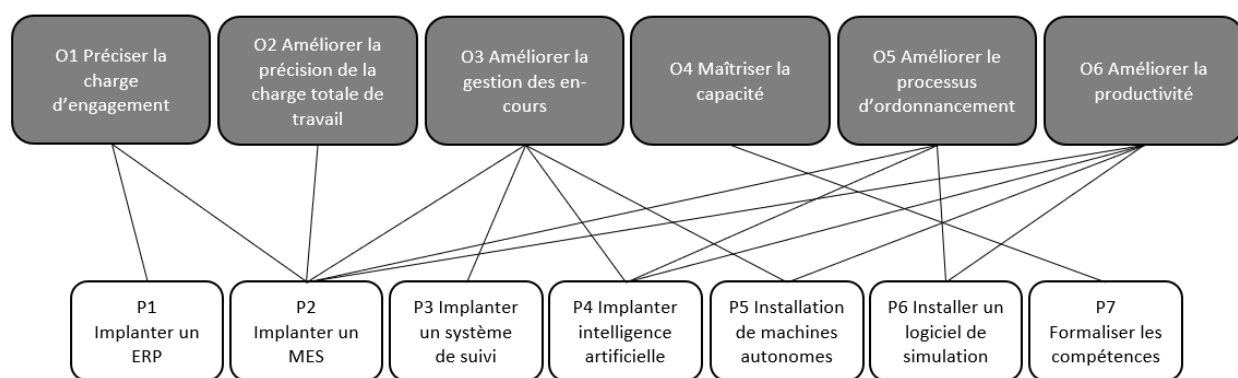


Figure 6.1 Cartographie des initiatives et objectifs

Une brève évaluation a ensuite été effectuée afin d'éliminer les projets jugés infaisables, ceux non reliés aux objectifs ayant été éliminés précédemment lors de l'identification des éléments clés. Cette analyse s'est basée principalement sur les contraintes budgétaires de l'entreprise manufacturière, car c'est la plus grande contrainte de l'entreprise XYZ. Cette analyse budgétaire a donc éliminé les éléments P4 et P5, malgré que le directeur général souhaitait implanter des machines autonomes dans le but de transformer son usine traditionnelle en usine intelligente. De ce fait, l'implantation de telles technologies représente un trop grand coût pour cette entreprise, en plus de constituer un changement radical. En raison de la forte résistance au changement que

possède cette entreprise, nous conseillons plutôt des changements incrémentaux. La liste des projets et leur description sont alors mises à jour suite à cette élimination.

6.2.2 Catégorisation

Tout en ayant en tête le processus de balancement et en considérant la stratégie de l'entreprise, des catégories stratégiques ont été identifiées. Les trois catégories identifiées sont :

- Incontournable : Implantation de nouvelles technologies améliorant la productivité, jugées comme essentielles aux processus de l'entreprise afin d'assurer sa survie;
- Amélioration : Amélioration incrémentale des technologies utilisées actuellement afin d'améliorer la productivité et assurer sa croissance; et
- Innovateur : Investissement stratégique pouvant intégrer un changement du modèle d'affaires.

Ce classement sera utile au balancement, car il permettra de distribuer le risque. Ensuite, une catégorie a été attribuée à chaque projet, tel que démontré dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3 Projets catégorisés

Incontournable	Amélioration	Innovateur
○ P2 MES ○ P7 Formalisation	○ P1 ERP ○ P3 Système de suivi	○ P6 Simulation

6.2.3 Évaluation

Puis, les projets ont été évalués avec l'aide d'une grille multicritères pondérés. Les critères identifiés lors de cette activité sont les objectifs de l'entreprise XYZ, qui eux découlaient de la résolution des problématiques identifiées lors de l'analyse des processus d'affaires. De cette façon, nous nous assurons que les projets sont alignés avec la stratégie de l'entreprise. Les résultats de cette évaluation sont présentés dans le tableau 6.4.

Nous remarquons que le projet 2 (P2) s'est démarqué positivement des autres projets, contrairement au projet 3 (P3) qui possède la note pondérée la plus basse. Les totaux calculés seront alors pertinents lors des processus suivants.

Tableau 6.4 Grille d'évaluation multicritères pondérés

		Projets									
		P1 ERP		P2 MES		P3 Système de suivi		P6 Simulation		P7 Formaliser	
Critères	Poids	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
O1 Préciser la charge d'engagement	0,50	5	2,5	5	2,5	0	0	3	1,5	3	1,5
O2 Améliorer la précision de la charge totale de travail	2,25	3	6,75	4	9	0	0	3	6,75	3	6,75
O3 Améliorer la gestion des en-cours	2,00	3	6	4	8	4	8	3	6	2	4
O4 Maîtriser la capacité	1,50	3	4,5	3	4,5	3	4,5	3	4,5	5	7,5
O5 Améliorer le processus d'ordonnancement	1,25	2	2,5	5	6,25	2	2,5	4	5	4	5
O6 Améliorer la productivité	2,50	2	5	4	10	3	7,5	4	10	3	7,5
Total		27,25		40,25		22,5		33,75		32,25	

6.2.4 Sélection et priorisation

Ainsi, ces totaux représentent les notes permettant de sélectionner et prioriser les projets. Les projets sont donc classés par catégorie, selon l'ordre de leurs notes, avec l'aide de la méthode d'enveloppe stratégique, comme montré au tableau 6.5. Nous constatons que l'enveloppe budgétaire de l'entreprise XYZ ne permet pas l'implantation d'un ERP et d'un système de suivi. Par conséquent, le projet 1 (P1) est sélectionné tandis que le projet 3 (P3) est rejeté en raison du budget et de la note déterminée lors du processus d'évaluation.

Tableau 6.5 Enveloppe stratégique

Incontournable		Amélioration		Innovateur	
P2 MES	40,3	P1 ERP	27,3	P6 Simulation	33,75
P7 Formalisation	32,3	P3 Système de suivi	22,3		

Puis, une matrice de dépendance, exposée au tableau 6.6, est faite afin de revoir la priorité des projets et s'assurer que celle-ci est logique. Nous constatons ainsi que les projets 2 (P2) et 6 (P6) dépendent du projet 7 (P7). De ce fait, celui-ci doit être effectué prioritairement.

Tableau 6.6 Matrice de dépendance

	P1	P2	P6	P7
P1		0	0	0
P2	0		0	1
P6	0	1		1
P7	0	0	0	
Total	0	1	0	2

Le tableau 6.7 montre alors la différence du classement de priorité suite à cette matrice de dépendance. Conséquemment, un portefeuille de projets est obtenu.

Tableau 6.7 Changements des priorités

Priorité selon les notes	Priorité ajustée selon la dépendance
P2 MES	P7 Formalisation
P6 Simulation	P2 MES
P7 Formalisation	P6 Simulation
P1 ERP	P1 ERP

6.2.5 Balancement

Le portefeuille de projets de l'entreprise XYZ étant très petit, soit seulement 4 projets, et ceux-ci étant répartis à travers trois catégories de projet, un certain balancement a déjà été effectué. Ainsi, la catégorie Innovateur peut représenter celle qui comporte le plus grand risque. Cependant, un seul projet est présent dans cette catégorie et celui-ci est très bénéfique aux objectifs de l'entreprise, son niveau de risque est donc minime. De plus, selon l'interdépendance des projets et leur note attribuée lors de leur évaluation, il n'y a pas d'autres options de priorités de projets au sein de ce portefeuille que celui identifié lors du processus précédent. D'ailleurs, les ressources de l'entreprise XYZ étant fortement limitées, les projets seront faits de façon séquentielle. Il y a seulement le projet 7 (P7) qui peut être fait en partie parallèlement au projet 2 (P2) puisqu'il requiert très peu de ressources.

Au fil du cycle de vie de ce portefeuille, de nouveaux projets pourront être ajoutés si nécessaire. De ce fait, si les projets sont un succès et permettent de dégager de nouvelles ressources, de nouveaux projets pourront être identifiés afin d'atteindre la vision stratégique que le directeur général a établie, soit une usine intelligente. La base doit toutefois être solide avant de se lancer dans un projet de transformation aussi éloigné du modèle d'affaires actuel de l'entreprise.

6.2.6 Communication

La dernière activité de cette méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 consiste en la communication de ce portefeuille aux parties prenantes. Cependant, en raison de la méthodologie utilisée lors de ce travail de recherche, cette activité n'est pas effectuée, car cette étude descriptive avait pour but de vérifier la faisabilité de la méthode.

6.3 Discussion

Plutôt que l'identification des nouveaux projets soit guidée par les désirs des personnes participant à la définition du portefeuille, ce qui fait en sorte que l'alignement stratégique n'est pas toujours adéquat, elle découle de la réingénierie des processus. Par conséquent, elle permet d'assurer la pertinence et la valeur des projets présents au sein du portefeuille, puisqu'elle dirige l'idéation de façon objective. D'ailleurs, lors des premières rencontres effectuées avec le directeur général, il a communiqué aux chercheurs son intention d'implanter des machines autonomes et interconnectées. Toutefois, cela représente un projet de transformation fortement éloigné du modèle d'affaires actuel de l'entreprise XYZ, les capacités financières ne permettent pas de mettre de l'avant de telles technologies et la résistance au changement serait trop forte pour que ce projet puisse être un succès. De plus, plusieurs problèmes au niveau des processus d'affaires doivent être réglés avant de procéder à l'implantation de ce levier technologique. Il est donc essentiel de reconnaître que les technologies d'I4.0 sont des outils pour l'amélioration des processus, et non le moyen pour les améliorer.

L'entreprise XYZ étant actuellement en profond changement suite à l'éventuelle transition de la relève de la gestion, le portefeuille de projets obtenu lors de cette étude descriptive ne leur a malheureusement pas été présenté. Néanmoins, à la lumière des connaissances des chercheurs, le portefeuille de projets issus de cette étude descriptive est adapté au contexte de cette entreprise manufacturière puisqu'il permettrait de corriger les problématiques découlant de la planification

déficiente et qu'il a été défini de façon objective, sans être influencé par des désirs non motivés et non soutenus par la stratégie et l'amélioration continue.

6.4 Conclusion

Cette étude descriptive a donc confirmé la faisabilité de la méthode développée, soit le quatrième objectif spécifique de ce projet de recherche. Ainsi, elle a été appliquée à un contexte réel d'entreprise manufacturière et a permis de définir un portefeuille de projets pour l'entreprise XYZ. De plus, en offrant une méthode claire grâce à l'identification des activités, des techniques, des rôles, des intrants et des extrants, elle offre un réel encadrement pour les entreprises désirant s'intégrer à Industrie 4.0 via une méthode de gestion de portefeuille de projets. En outre, cette étude a permis de démontrer que la définition d'un portefeuille est facile à effectuer avec cette méthode et nous pensons que les personnes ayant peu ou pas d'expérience en gestion de portefeuille seront également en mesure d'obtenir un portefeuille de projets d'Industrie 4.0 en appliquant cette méthode.

Il faudra toutefois la valider avec d'autres entreprises et des portefeuilles ayant un plus grand nombre de projets afin de s'assurer de sa robustesse, d'autant plus que le processus de balancement n'a pas pu être effectué lors de cette étude en raison de la taille du portefeuille de projets de l'entreprise XYZ. Le dernier chapitre permet de relever les contributions, les limites et les opportunités de recherche.

CHAPITRE 7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans ce chapitre, les contributions théoriques et pratiques seront exposées. Par la suite, les limites et pistes futures de recherche seront présentées.

Premièrement, la contribution théorique principale de ce travail de recherche est d'offrir une méthode permettant aux entreprises manufacturières de définir et d'adapter leur plan d'intervention pour leur transformation numérique, dans une approche d'amélioration de leurs processus, grâce à l'intégration des leviers technologiques d'Industrie 4.0. Ainsi, notre méthode de portefeuille de projets nous a permis de sélectionner et prioriser les technologies d'I4.0. Nous proposons donc une méthode offrant un meilleur support aux entreprises lors de leur transformation, comparativement à ce qui est disponible dans la littérature. De ce fait, les méthodes critiquées lors de la revue de littérature manquent de structure et/ou de techniques permettant de supporter les entreprises lors de leur transition vers Industrie 4.0. Afin de ne pas reproduire ces faiblesses, notre méthode de gestion de portefeuille de projets d'I4.0 intègre les cinq éléments obligatoires d'une méthode et peut alors être considérée comme une méthode formelle selon la définition de Zellner (2011). Par conséquent, elle répond à notre objectif général de recherche. Quant aux objectifs spécifiques, chaque phase de la méthodologie de recherche a permis de répondre à un de ces objectifs.

En outre, en s'initiant sur une démarche de réingénierie des processus, notre méthode s'assure de l'alignement stratégique et de la valeur que prendra le portefeuille de projets, dès le premier processus, soit l'identification, en apportant une dimension objective. Elle enrichit les méthodes de gestion de portefeuille actuelles qui ne dirigent pas l'idéation et qui sont plutôt influencées par les personnes participant aux processus de définition de portefeuille de projets.

En ce qui a trait à notre contribution pratique, notre méthode semble être un bon point de départ pour les entreprises ayant peu d'expérience en gestion de portefeuille, puisqu'elle facilite un encadrement en exposant clairement les intrants, les activités, les techniques, les rôles et les extrants. De plus, lors de la seconde étude descriptive, nous avons pu constater qu'elle est d'autant plus facile à utiliser pour des portefeuilles de plus petite taille. Basés sur les observations de l'entreprise XYZ, nous sommes donc en mesure d'affirmer la faisabilité de cette méthode.

En optant pour des techniques simples et plus faciles à utiliser, cela nous a permis d'intégrer le contexte des PME et d'éliminer la surabondance de choix dans les approches disponibles de gestion

de portefeuille. D'ailleurs, en raison de la structure de la méthode de portefeuille de projets d'I4.0, il est à noter que celle-ci est facilement adaptable et que les techniques peuvent être substituées, si nécessaire, afin de mieux répondre au contexte spécifique de chaque entreprise. Un effort d'adaptation sera donc nécessaire pour son utilisation au sein d'entreprises ayant différentes contraintes puisque cette méthode de gestion de portefeuille de projets d'Industrie 4.0 est générique. Pour ce faire, les entreprises devront réévaluer les rôles et les techniques à utiliser. Pour ce qui est des activités, intrants et extrants, ils devraient rester similaires, peu importe le contexte de l'entreprise.

Malgré l'encadrement que la méthode proposée offre, le développement de compétences pour les entreprises l'utilisant semble essentiel, particulièrement pour les PME dont les ressources spécialisées sont limitées. En effet, des compétences en gestion de portefeuille et en réingénierie des processus sont primordiales pour exploiter notre méthode. Par conséquent, les entreprises devront investir dans la formation de leurs employés ou choisir un service d'accompagnement. En outre, une maîtrise des alternatives possibles et une connaissance des solutions 4.0 sont nécessaires lors de l'identification de projets technologiques afin de répondre adéquatement aux problèmes identifiés lors du diagnostic de processus.

Sur le plan scientifique, notre étude comporte aussi des limites. Il est à noter que la plus grande faiblesse de notre étude repose sur sa méthodologie de validation puisqu'elle a été appliquée à une seule entreprise manufacturière possédant un très petit portefeuille de projets. C'est plutôt une vérification de la faisabilité qui a été effectuée. Cette méthodologie peut toutefois être justifiée en raison de sa nature exploratoire quant à la nouveauté du phénomène étudié. Ce projet de recherche s'inscrit donc comme la première phase de gestion de portefeuille I4.0 et les prochaines phases devront permettre d'approfondir la validation de la méthode développée. La validation de notre méthode, tout comme celle des autres modèles de la littérature, nécessite de futurs travaux pour la consolider. De ce fait, la méthode de portefeuille de projets d'I4.0 pourrait être appliquée à d'autres entreprises manufacturières dans l'intention de la valider auprès d'un plus grand nombre d'entreprises et de contextes variés. De plus, il serait pertinent de l'appliquer à une entreprise ayant un plus grand nombre de projets afin d'être en mesure de valider le processus de balancement et ainsi bonifier cette méthode.

En outre, il serait intéressant de suivre le portefeuille de projets d'I4.0 définie avec notre méthode tout au long de son cycle de vie, auprès d'une entreprise manufacturière, afin de voir comment celui-ci évolue et ainsi être en mesure d'en évaluer sa robustesse. Cependant, une telle évaluation nécessite le développement de mesures de performance de la qualité de portefeuilles de projets. Par ailleurs, un portefeuille ayant une portée sur différents volets d'une entreprise, allant de la santé financière à la transformation des opérations, l'évaluation devra tenir compte de plusieurs critères. Une étude longitudinale de la performance de portefeuille de projets créée à partir d'une méthode donnée n'est certainement pas chose facile. Cette perspective de recherche répondrait donc à une seconde limitation de ce projet de recherche, qui peut être justifiée par la contrainte temporelle d'un projet de maîtrise confrontée à la durée de vie d'un portefeuille de projet.

En conclusion, la méthode proposée vise à créer un portefeuille de projets 4.0 alignés sur la stratégie de l'organisation tout en misant sur l'amélioration de lacunes ou la résolution de problèmes opérationnels. Elle s'adapte aux objectifs de chaque entreprise, comparativement aux modèles de maturité qui sous-entendent que le but d'une entreprise est d'atteindre un certain niveau de maturité. Ces modèles sont souvent rigides et très génériques. Ceci soulève l'importance pour une entreprise de toujours se questionner et de s'adapter à un contexte changeant afin d'assurer sa pérennité et sa profitabilité. Notre approche s'inscrit ainsi dans un courant de recherche qui ne positionne pas la transformation comme l'atteinte d'un certain niveau de maturité, mais bien comme une quête d'amélioration unique et changeante pour chaque organisation.

RÉFÉRENCES

- Becker, J., Knackstedt, R., & Poppelbuss, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management : A Procedure Model and its Application. *Wirtschaftsinformatik*, 51(3), 249-260. doi:10.1007/s11576-009-0167-9
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a design research methodology*. London: Springer.
- Bonham, S. S. (2005). *IT project portfolio management*. Norwood, USA: Artech House.
- Cappelletti, L. (2010-05-10 2010). *La recherche-intervention: Quels usages en contrôle de gestion?* Communication présentée à Crises et nouvelles problématiques de la Valeur, Nice, France (p. CD-ROM). Tiré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00481090>
- Cooper, R., Edgett, S., & Kleinschmidt, E. (2001). Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. *R & D Management*, 31(4), 361-380. doi:10.1111/1467-9310.00225
- Danjou, C., Rivest, L., & Pellerin, R. (2017). *Industrie 4.0 : des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité*. Montréal, Qc: CEFRIO. Tiré de <http://www.cefrio.qc.ca/publications/transformation-organisationnelle/le-passage-au-numerique/>
- De Carolis, A., MacChi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2018). *Guiding manufacturing companies towards digitalization a methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap*. Communication présentée à 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings, Madeira Island, Portugal (vol. 2018-January, p. 487-495). doi:10.1109/ice.2017.8279925
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58. doi:10.1109/mie.2014.2312079
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihm, W. (2016). *Strategic guidance towards Industry 4.0: a three-stage process model*. Communication présentée à COMA 2016: International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch, Afrique du Sud. Tiré de <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-382579.html>
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119-1128. doi:10.3926/jiem.2073
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. Munich, Allemagne: PricewaterhouseCoopers (PwC). Tiré de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936. doi:10.1108/jmtm-02-2018-0057

- Gokalp, E., Sener, U., & Eren, P. E. (2017). *Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM*. Communication présentée à Communications in Computer and Information Science, Palma de Mallorca, Spain (vol. 770, p. 128-142). doi:10.1007/978-3-319-67383-7_10
- Hamzeh, R., Zhong, R., & Xu, X. W. (2018a). *A Survey Study on Industry 4.0 for New Zealand Manufacturing*. Communication présentée à 46th SME North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 46, Texas, USA (vol. 26, p. 49-57). Tiré de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918306772>
- Hamzeh, R., Zhong, R., Xu, X. W., Kajati, E., & Zolotova, I. (2018b). *A Technology Selection Framework for Manufacturing Companies in the Context of Industry 4.0*. Communication présentée à 2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA). Proceedings, Piscataway, NJ, USA (p. 267-276). doi:10.1109/disa.2018.8490606
- Heberle, A., Löwe, W., Gustafsson, A., & Vorrei, Ö. (2017). Digitalization Canvas : Towards Identifying Digitalization Use Cases and Projects *Journal of Universal Computer Science*, 23(11), 1070-1097. Tiré de <http://welf.se/files/HLGV17.pdf>
- Institut de la statistique du Québec. (2014). *Compendium d'indicateurs de l'activité scientifique et technologique au Québec*. Québec, Canada: Gouvernement du Québec. Tiré de <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/science-technologie-innovation/compendium-2011.pdf>
- Jung, K., Kulvatunyou, B., Choi, S., & Brundage, M. P. (2016). *An overview of a smart manufacturing system readiness assessment*. Communication présentée à IFIP Advances in Information and Communication Technology, Iguassu Falls, Brazil (vol. 488, p. 705-712). doi:10.1007/978-3-319-51133-7_83
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. Dans *Management of Permanent Change* (p. 23-45). Wiesbaden, Allemagne: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kagermann, H., Lukas, W. D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. Tiré de <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>
- Kannengiesser, U., & Muller, H. (2018). *Towards viewpoint-oriented engineering for Industry 4.0: a standards-based approach*. Communication présentée à 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). Proceedings, Piscataway, NJ, USA (p. 51-56). doi:10.1109/icphys.2018.8387636
- Klocke, F., Arntz, K., & Heeschen, D. (2014). *Decision-Making Process in Manufacturing Technology Planning for Small Scale Productions*. Communication présentée à 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Los Alamitos, CA, USA (p. 836-845). doi:10.1109/hicss.2014.111
- Kolberg, D., & Zuhlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC - Papers Online*, 48(3), 1870-1875. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.359
- Leyh, C., Bley, K., Schaffer, T., & Bay, L. (2017a). *The application of the maturity model SIMMI 4.0 in selected enterprises*. Communication présentée à AMCIS 2017 - America's

- Conference on Information Systems: A Tradition of Innovation, Boston, USA (vol. 2017-August, p. Bentley University; ESRI; et al.; Foisie Business School, Worcester Polytechnic Institute; Henry Ford Health System; Isenberg Umass Amherst).
- Leyh, C., Schaffer, T., Bley, K., & Forstenhausler, S. (2017b). *Assessing the it and software landscapes of industry 4.0-enterprises: The maturity model SIMMI 4.0*. Communication présentée à Lecture Notes in Business Information Processing, Gdansk, Poland (vol. 277, p. 103-119). doi:10.1007/978-3-319-53076-5_6
- Lichtblau, K., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., . . . Schroter, M. (2015). *Industrie 4.0 readiness* Aachen, Allemagne: VDMA's IMPULS-Stiftung. Tiré de https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. doi:10.1016/j.jii.2017.04.005
- Luder, A., Schleipen, M., Schmidt, N., Pfrommer, J., & Hencen, R. (2018). *One step towards an industry 4.0 component*. Communication présentée à IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, Xi'an, China (vol. 2017-August, p. 1268-1273). doi:10.1109/coase.2017.8256275
- Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018). *Towards a smart manufacturing maturity model for SMEs (SM3E)*. Communication présentée à IFIP Advances in Information and Communication Technology, Seoul, Republic of Korea (vol. 536, p. 155-163). doi:10.1007/978-3-319-99707-0_20
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2017). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 1-19. doi:10.1080/00207543.2017.1372647
- Moica, S., Ganzarain, J., Ibarra, D., & Ferencz, P. (2018). *Change made in shop floor management to transform a conventional production system into an 'Industry 4.0': Case studies in SME automotive production manufacturing*. Communication présentée à 2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management, ICITM 2018, Oxford, United kingdom (vol. 2018-January, p. 51-56). doi:10.1109/icitm.2018.8333919
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*. doi:10.1016/j.psep.2018.04.020
- OPC Foundation. (2018). Unified Architecture. Tiré de <https://opcfoundation.org/developer-tools/specifications-unified-architecture>
- Project Management Institute. (2008). *The Standard for Portolio Management* (2^e éd.). Newton Square, USA: Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2013). *The Standard for Portolio Management* (3^e éd.). Newton Square, USA: Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2017a). *A guide to Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide)* (6^e éd.). Newton Square, USA: Project Management Institute.

- Project Management Institute. (2017b). *The Standard for Portfolio Management* (4^e éd.). Newton Square, USA: Project Management Institute.
- Ramani, S. (2016). *Improving business performance : A project portfolio management approach*. Boca Raton, USA: CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Rockwell Automation. (2014). *The Connected Enterprise Maturity Model* (Rapport n° CIE-WP002-EN-P). Milwaukee, USA: Rockwell Automation. Tiré de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_-en-p.pdf
- Ross, D. W., & Shaltry, P. E. (2006). *The new PMI standard for portfolio management*. Communication présentée à PMI Global Congress 2006 - EMEA, Madrid, Spain. Tiré de <https://www.pmi.org/learning/library/pmi-standard-portfolio-management-8216#>
- Rübmman, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnish, M. (2015). *Industry 4.0 : The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston: The Boston Consulting Group (BCG). Tiré de http://image-src.bcg.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm79-61694.pdf
- Sanders, A., K. Subramanian, K. R., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2017). *Industry 4.0 and lean management synergy or contradiction?: A systematic interaction approach to determine the compatibility of industry 4.0 and lean management in manufacturing environment*. Communication présentée à IFIP Advances in Information and Communication Technology, Hamburg, HH, Germany (vol. 514, p. 341-349). doi:10.1007/978-3-319-66926-7_39
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies* (Rapport n° ISSN 2192-6174). Munich, Allemagne: Acatech.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). *A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises*. Communication présentée à 6th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production, Bath, United kingdom (vol. 52, p. 161-166). doi:10.1016/j.procir.2016.07.040
- Service Canada. (2018). *Portrait sectoriel du Québec 2017-2017: Usines de textiles, usines de produits textiles*. Ottawa, Canada: Gouvernement du Canada. Tiré de https://www.guichetemplois.gc.ca/content_pieces-eng.do?cid=11265
- Sjodin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research Technology Management*, 61(5), 22-31. doi:10.1080/08956308.2018.1471277
- Slack, N. (1994). The importance-performance matrix as a determinant of improvement priority. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(5), 59-75. doi:10.1108/01443579410056803
- Stich, V., Gudergan, G., & Zeller, V. (2018). *Need and Solution to Transform the Manufacturing Industry in the Age of Industry 4.0 – A Capability Maturity Index Approach*. Communication présentée à IFIP Advances in Information and Communication Technology, Cardiff, United kingdom (vol. 534, p. 33-42). doi:10.1007/978-3-319-99127-6_3

- Stock, T., & Seliger, G. (2016). *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*. Communication présentée à 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, Ho Chi Minh City, Vietnam (vol. 40, p. 536-541). doi:10.1016/j.procir.2016.01.129
- Strozzi, F., Colicchia, C., Creazza, A., & Noe, C. (2017). Literature review on the 'Smart Factory' concept using bibliometric tools. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6572-6591. doi:10.1080/00207543.2017.1326643
- Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A., & Testa, C. (2016). *A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era*. Communication présentée à Procedia CIRP, Stuttgart, Germany (vol. 57, p. 122-127). doi:10.1016/j.procir.2016.11.022
- Torres, O. (1999). *Les PME*. Paris France: Flammarion.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2017). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 1-13. doi:10.1080/00207543.2017.1391420
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222. doi:10.1111/1467-8551.00375
- Varghese, A., & Tandur, D. (2014). *Wireless requirements and challenges in Industry 4.0*. Communication présentée à 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), Piscataway, USA (p. 634-638). doi:10.1109/ic3i.2014.7019732
- Von Leipzig, T., Gamp, M., Manz, D., Schottle, K., Ohlhausen, P., Oosthuizen, G., . . . von Leipzig, K. (2017). Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises. *Procedia Manufacturing*, 8, 517-524. doi:10.1016/j.promfg.2017.02.066
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). *Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems*. Communication présentée à IFAC-PapersOnLine, Ottawa, ON, Canada (vol. 28, p. 579-584). doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.143
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods* (4^e éd.). Thousand Oaks, États-Unis: Sage Publications.
- Zeller, V., Hocken, C., & Stich, V. (2018). *Acatech industrie 4.0 maturity index a multidimensional maturity model*. Communication présentée à IFIP Advances in Information and Communication Technology, Seoul, Republic of Korea (vol. 536, p. 105-113). doi:10.1007/978-3-319-99707-0_14
- Zellner, G. (2011). A structured evaluation of business process improvement approaches. *Business Process Management Journal*, 17(2), 203-237. doi:10.1108/14637151111122329

ANNEXE A CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS

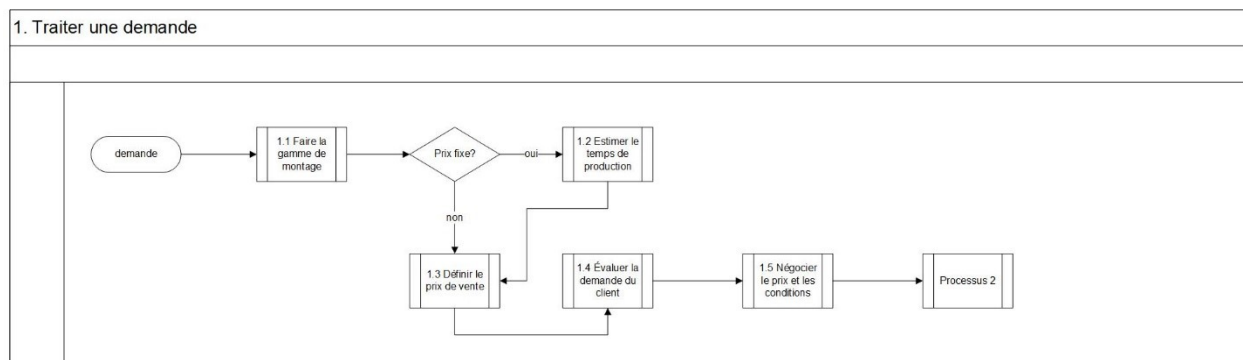


Figure A.1 Cartographie du processus traiter une demande

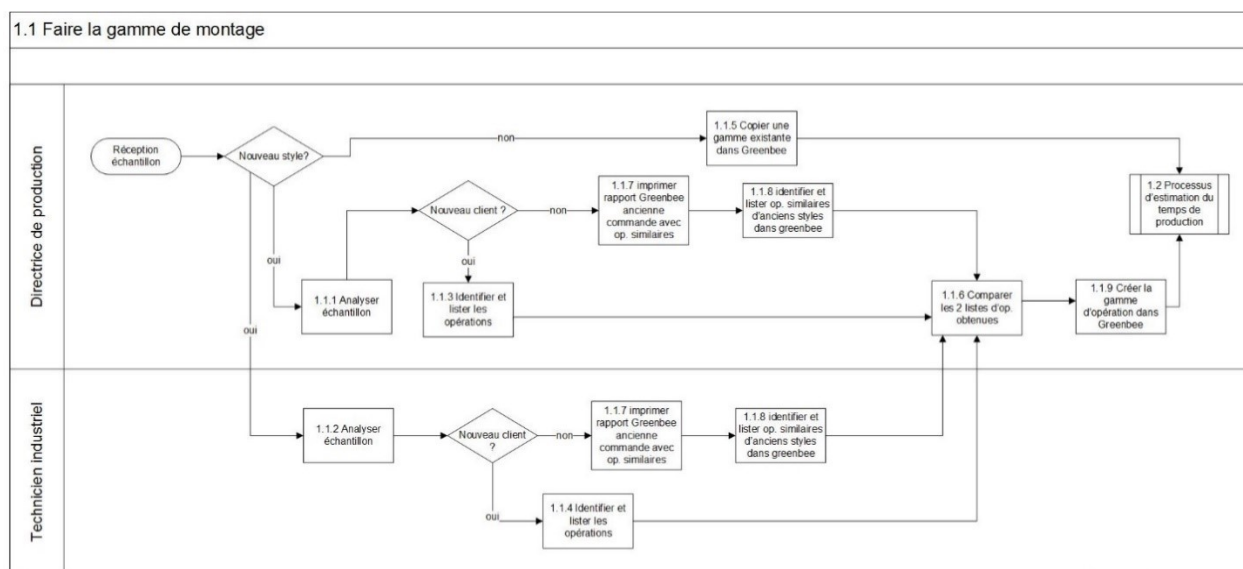


Figure A.2 Cartographie du processus faire la gamme de montage

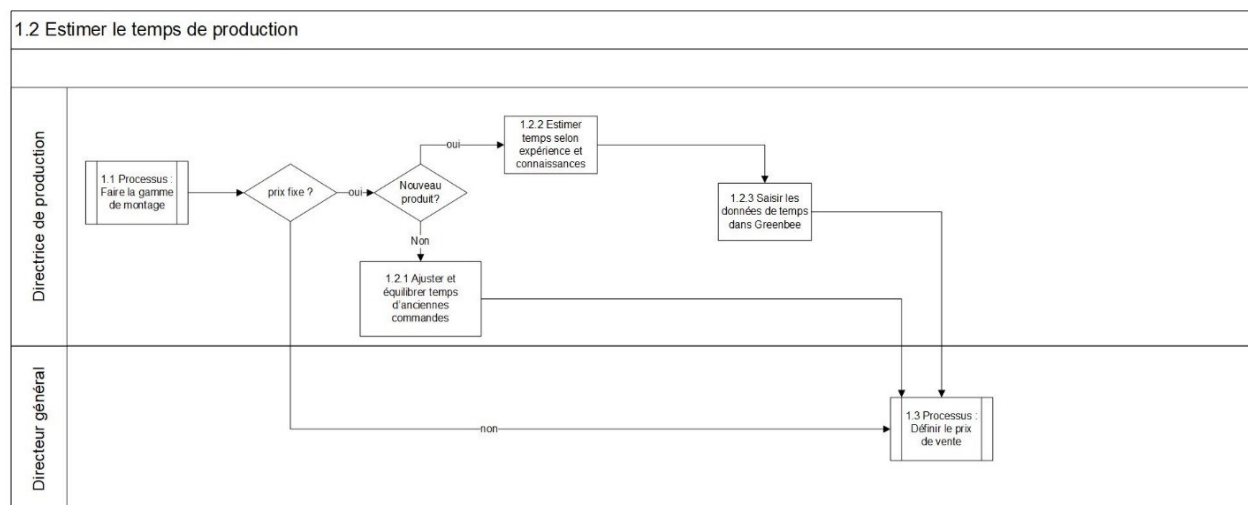


Figure A.3 Cartographie du processus estimer les temps de production

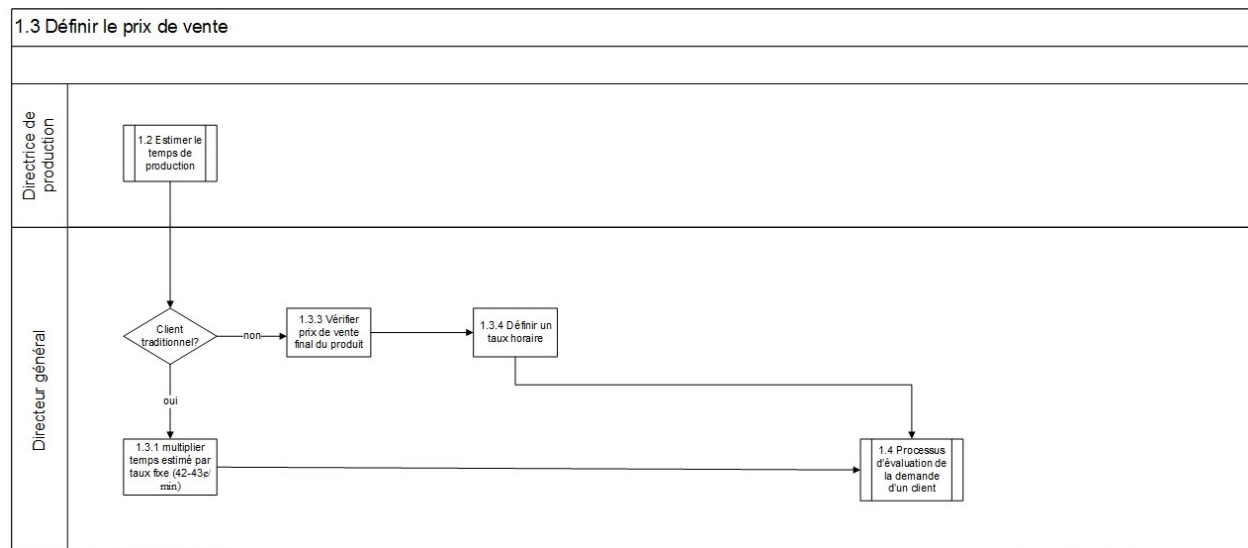


Figure A.4 Cartographie du processus définir le prix de vente

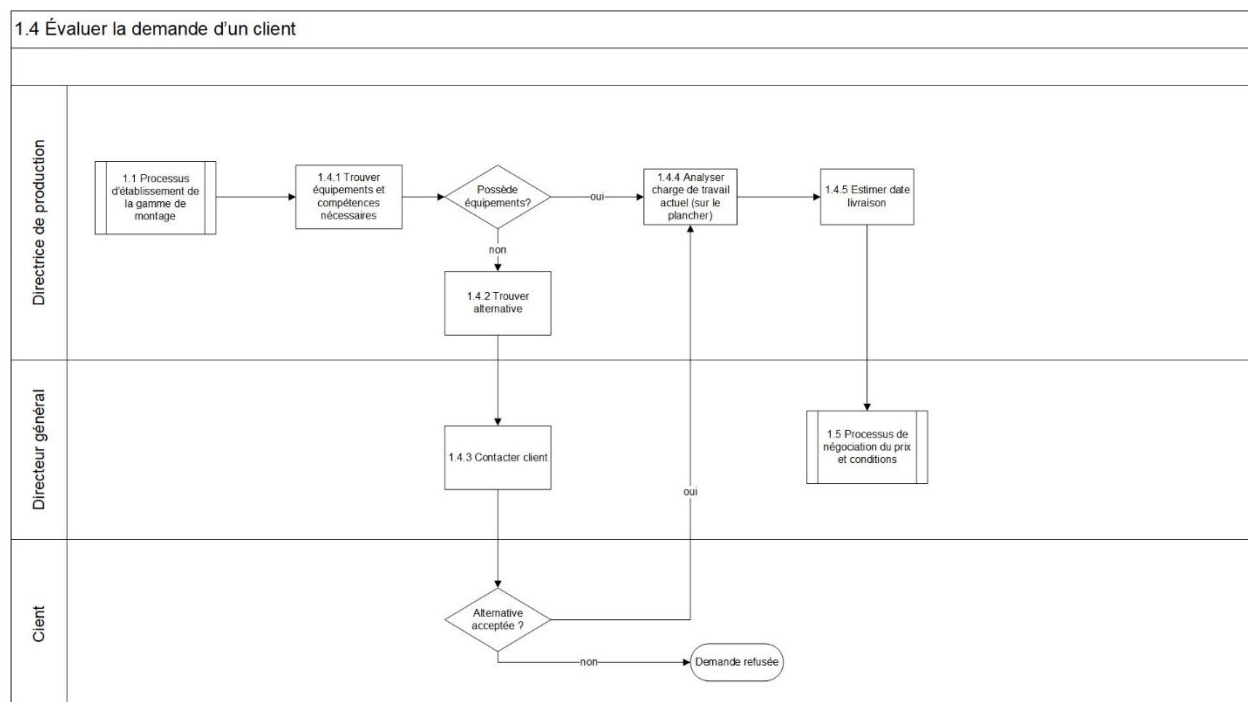


Figure A.5 Cartographie du processus évaluer la demande d'un client

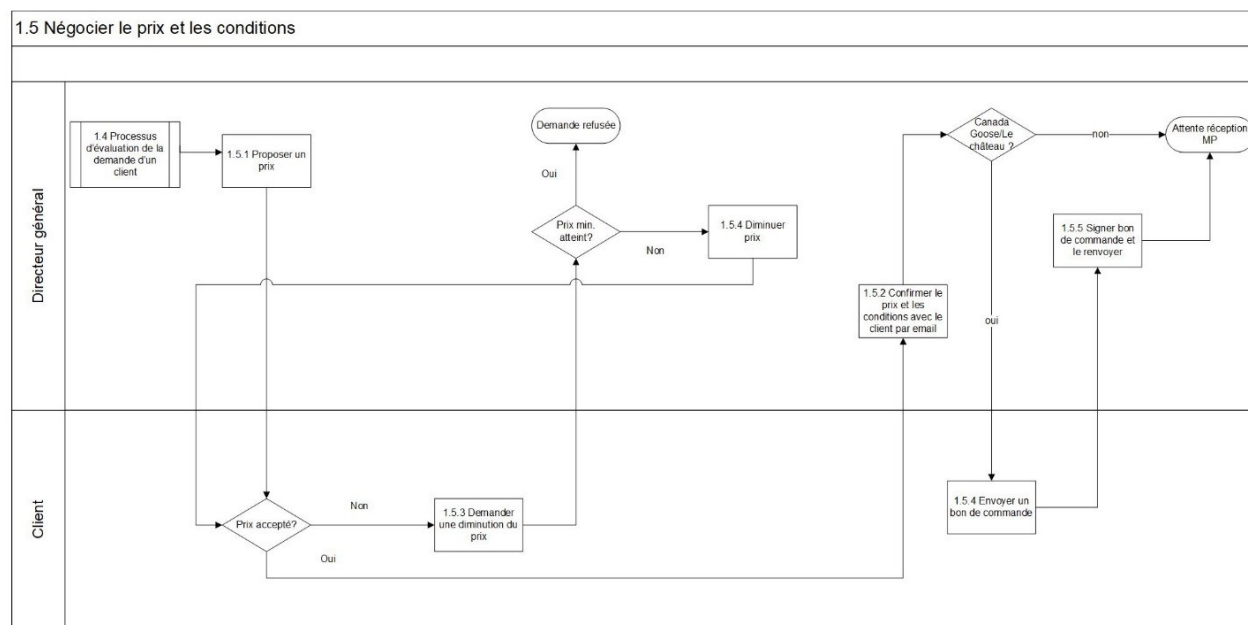


Figure A.6 Cartographie du processus négocier le prix et les conditions

Processus du bloc 2 et 3

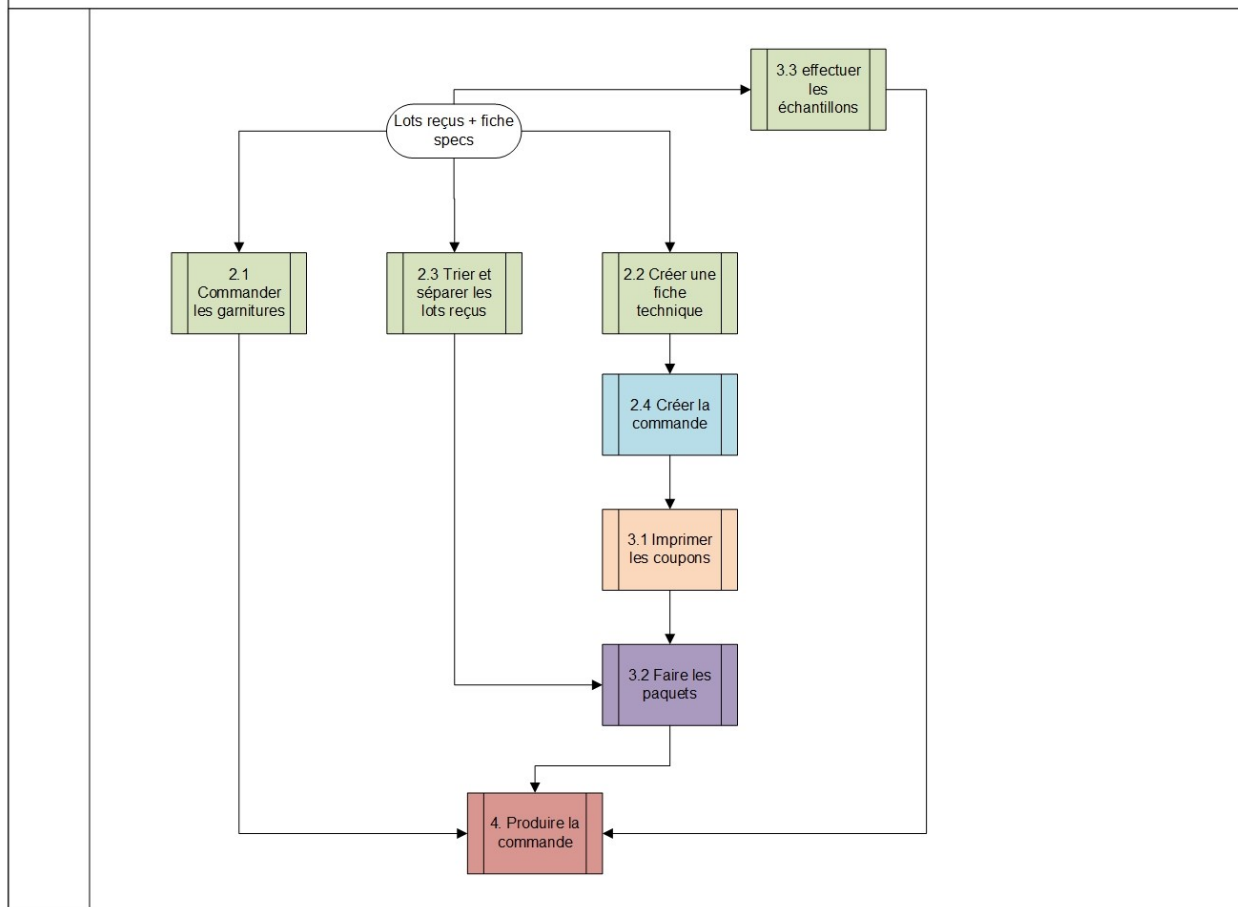


Figure A.7 Cartographie des processus approvisionner et planifier la production

2.1 Commander les garnitures

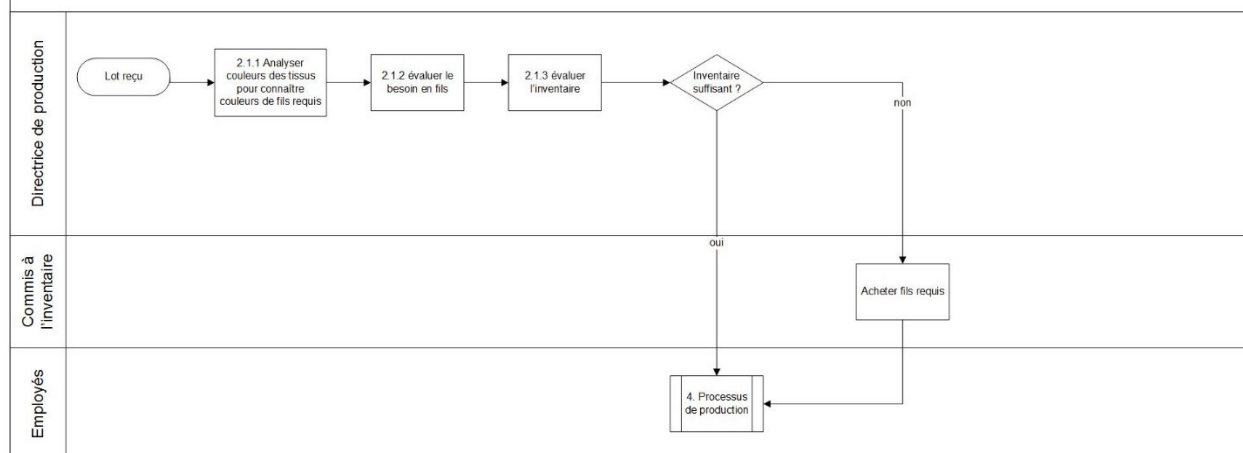


Figure A.8 Cartographie du processus commander les garnitures

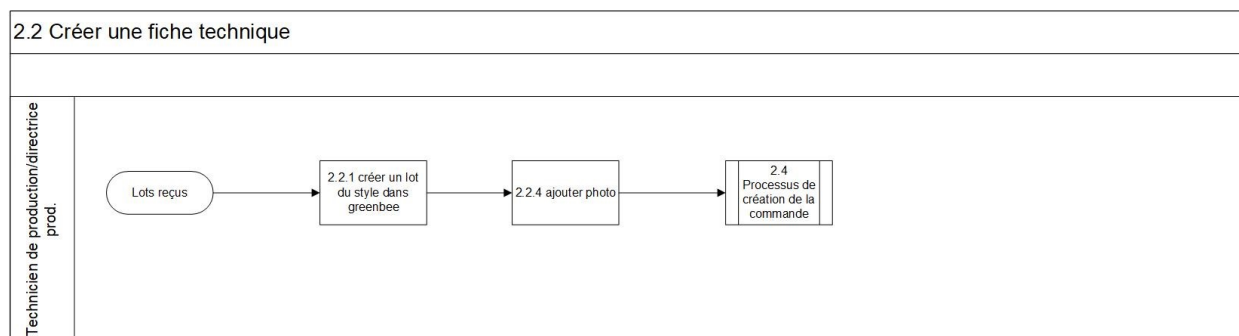


Figure A.9 Cartographie du processus créer une fiche technique

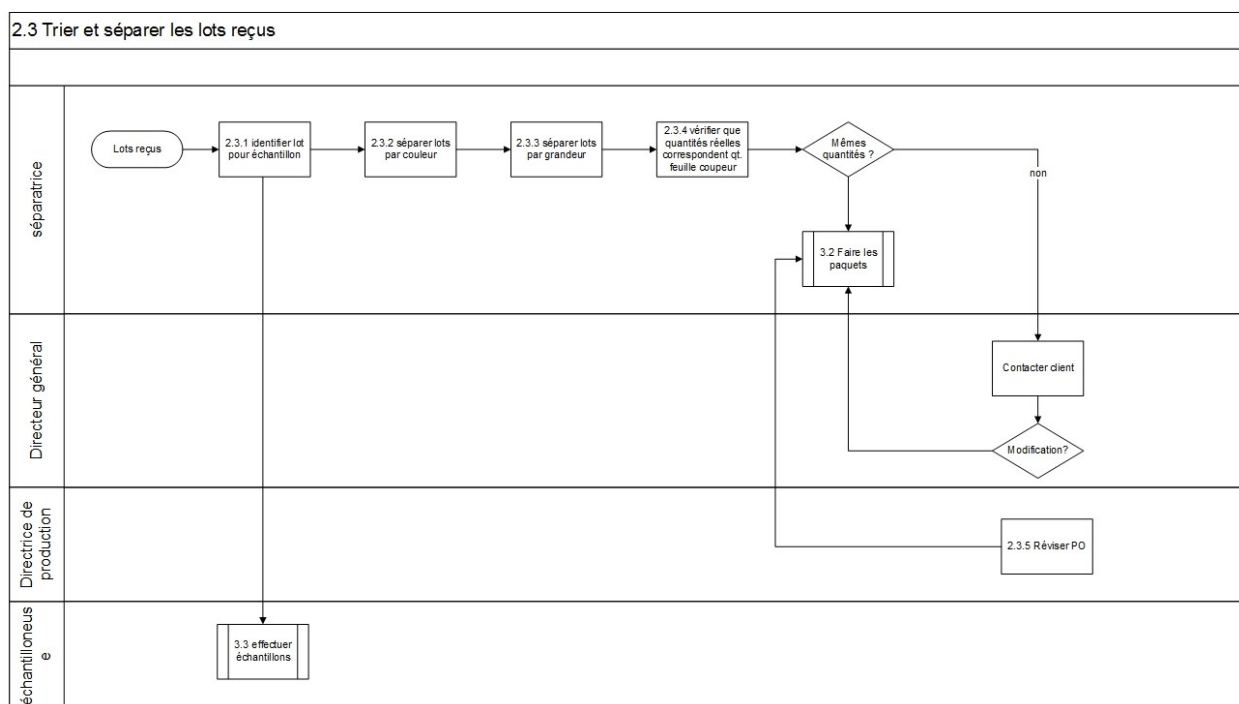


Figure A.10 Cartographie du processus trier et séparer les lots reçus

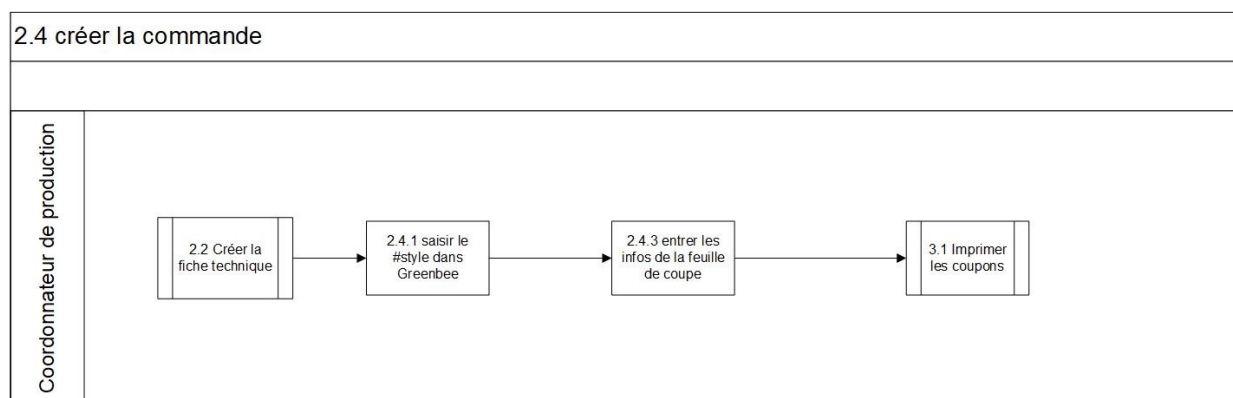


Figure A.11 Cartographie du processus créer la commande

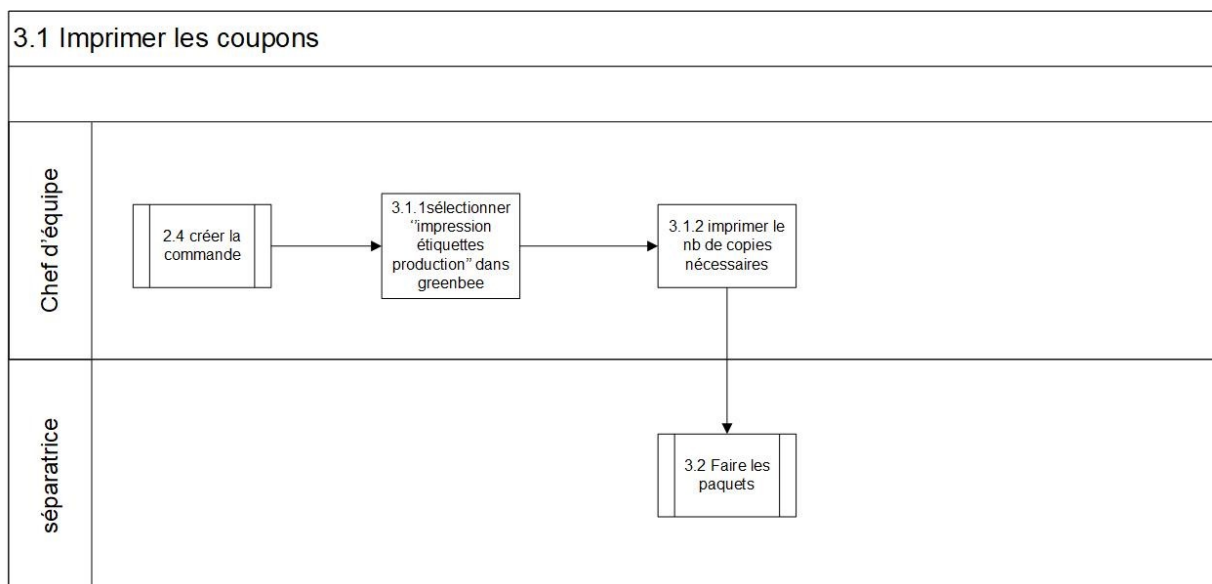


Figure A.12 Cartographie du processus imprimer les coupons

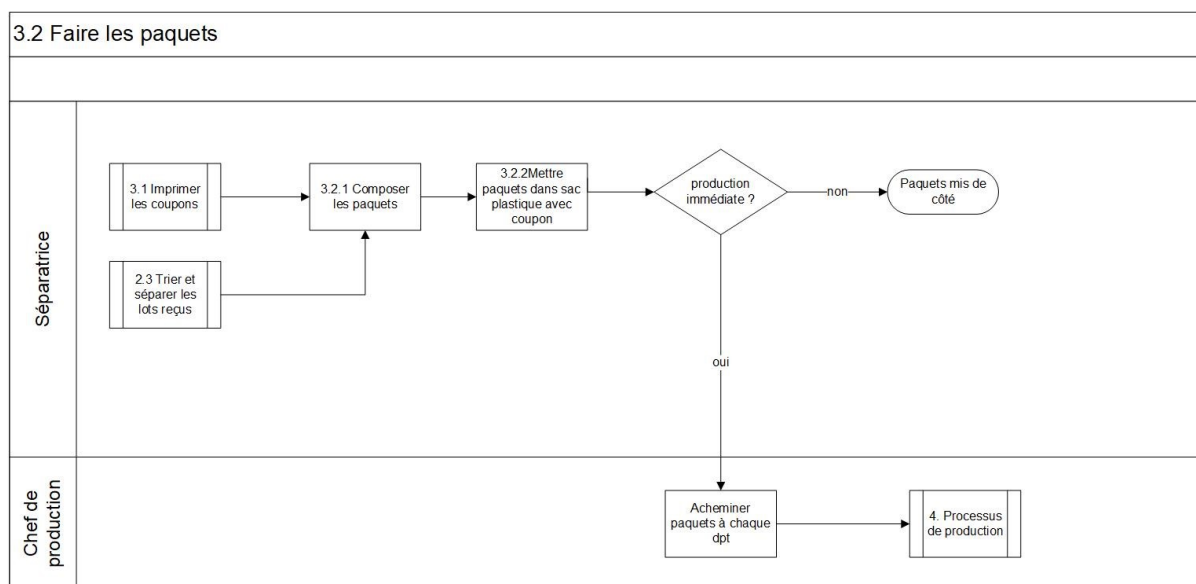


Figure A.13 Cartographie du processus faire les paquets

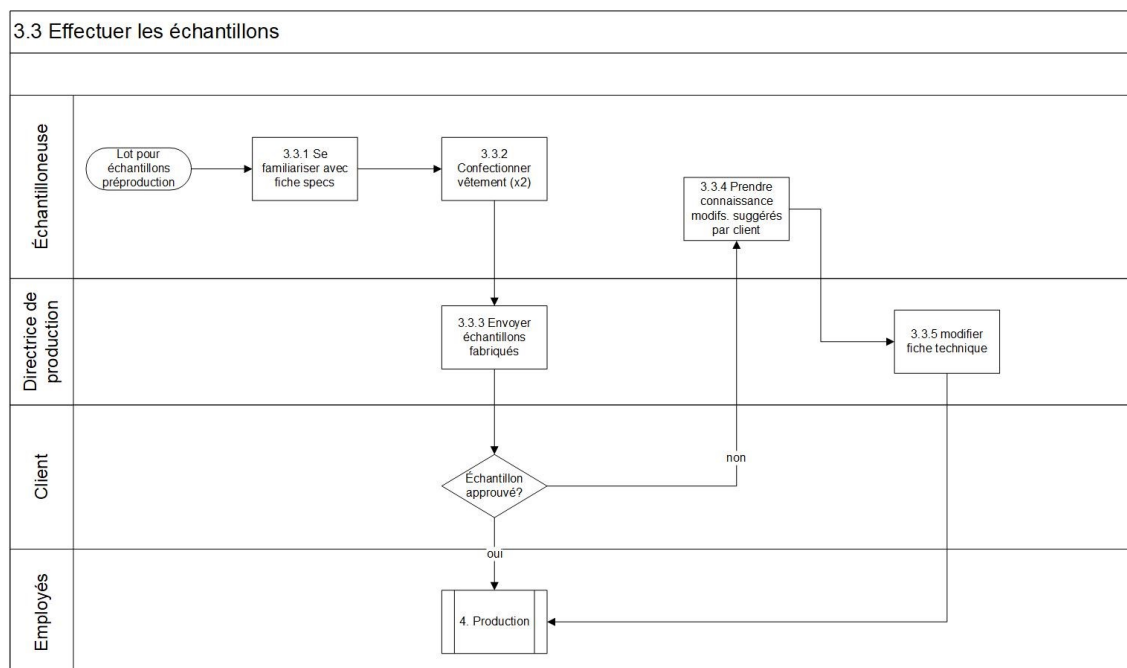


Figure A.14 Cartographie du processus effectuer les échantillons

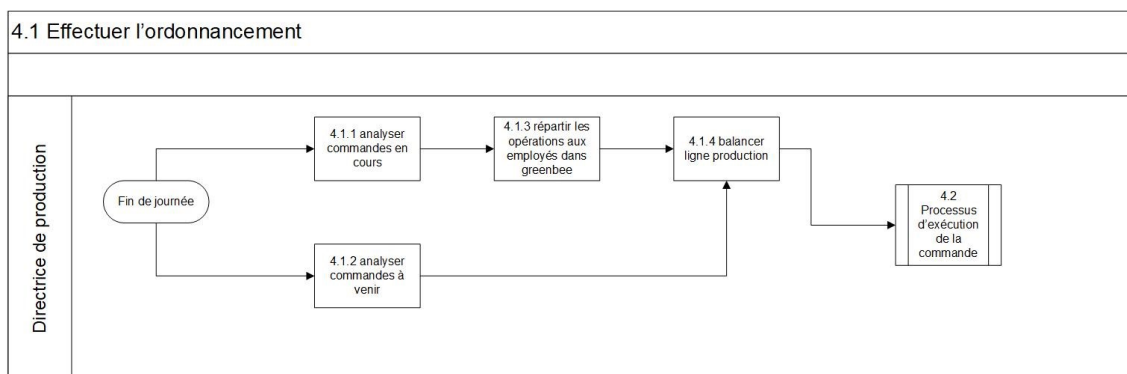


Figure A.15 Cartographie du processus effectuer l'ordonnancement

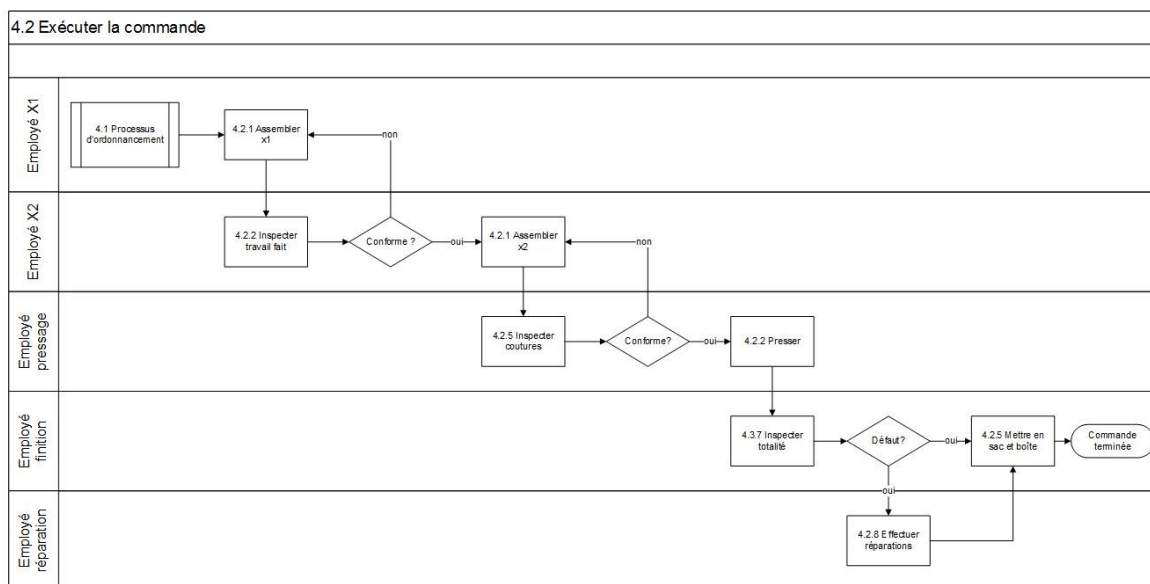


Figure A.16 Cartographie du processus exécuter la commande

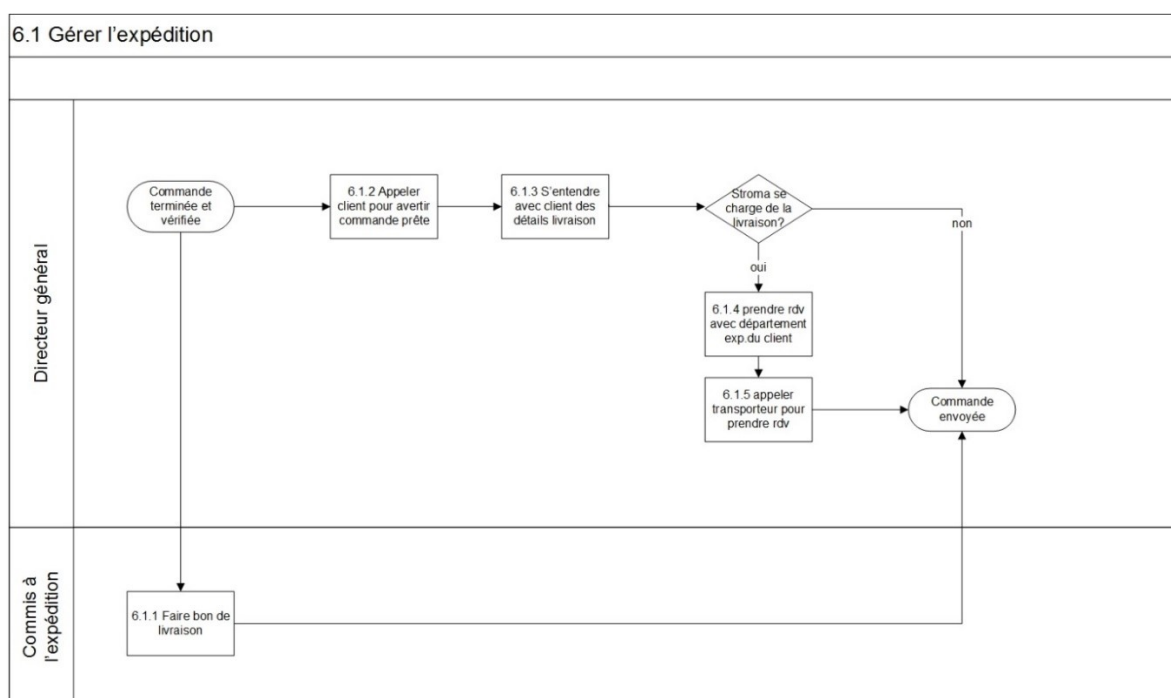


Figure A.17 Cartographie du processus gérer l'expédition

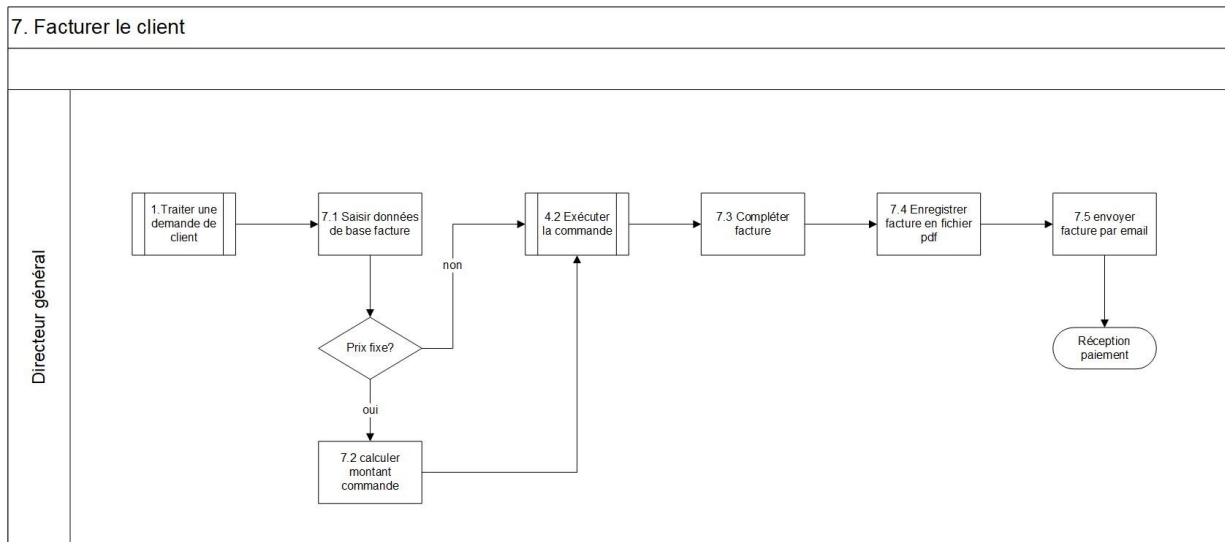


Figure A.18 Cartographie du processus facturer le client

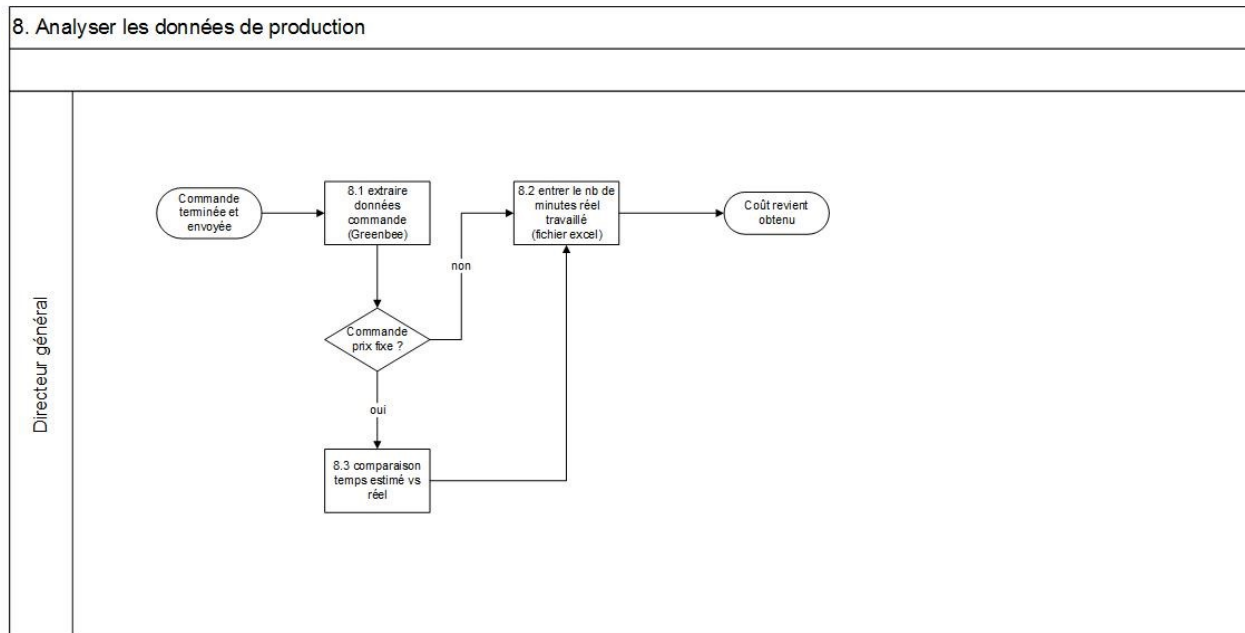


Figure A.19 Cartographie du processus analyser les données de production

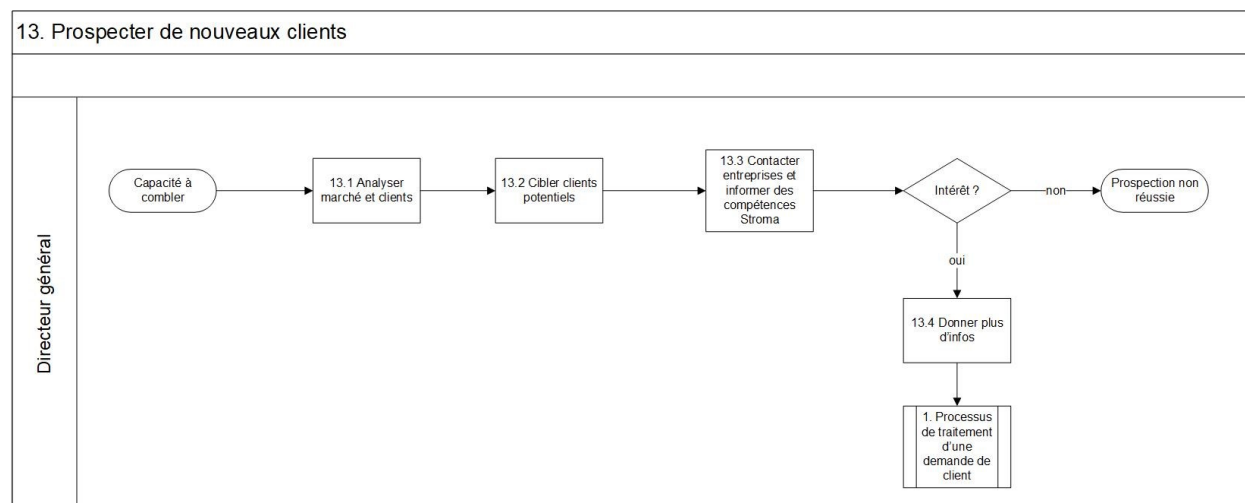


Figure A.20 Cartographie du processus prospector de nouveaux clients

ANNEXE B SÉLECTION DES PROCESSUS

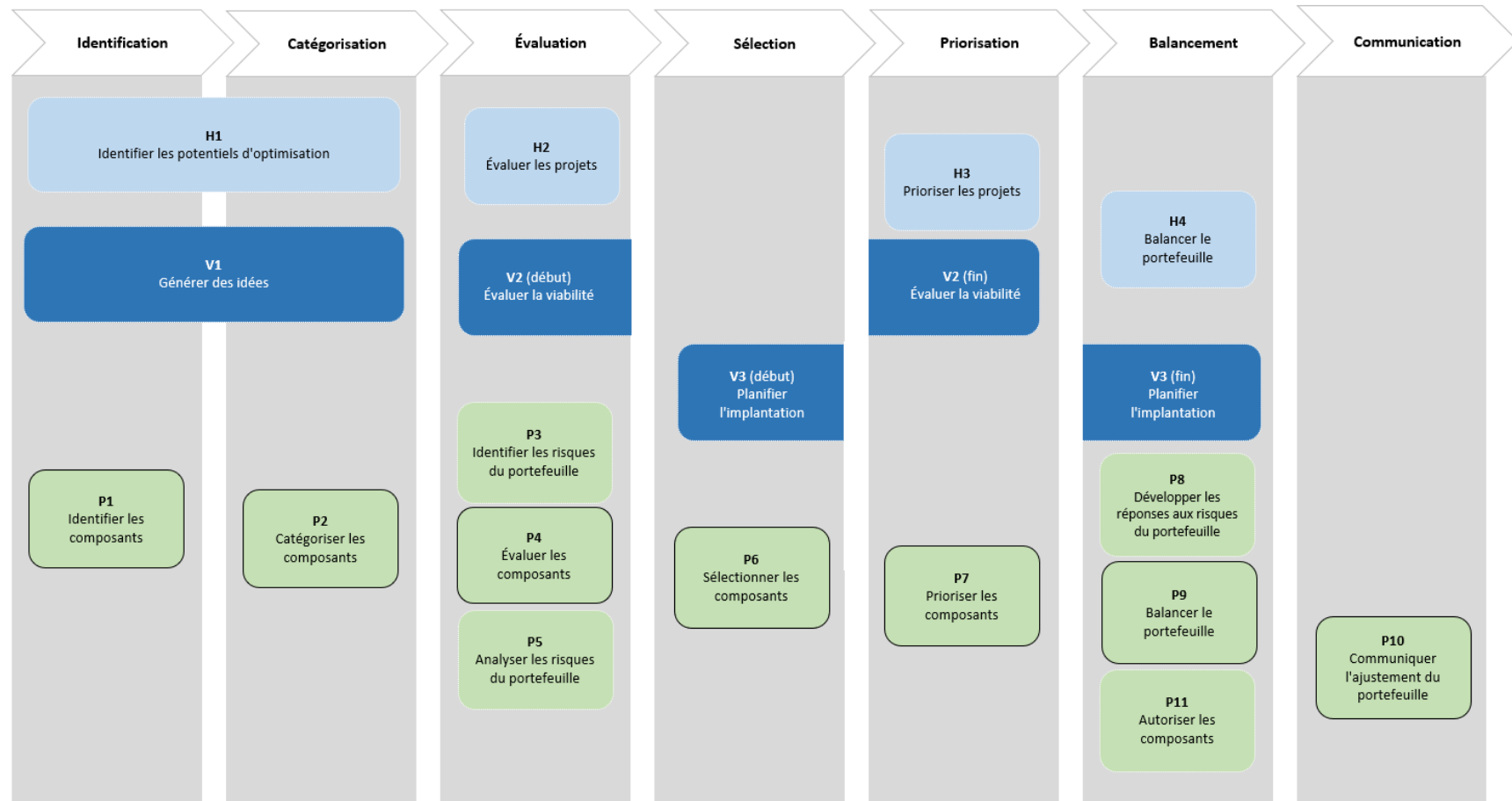


Figure B.1 Sélection des processus

Légende :

Case avec contour noir : Processus sélectionné

Case avec contour blanc : Processus éliminé

Codification :

Hn : Processus de Heberle et al. (2017)

Vn : Processus de Von Leipzig et al. (2017)

Pn : Processus de Project Management Institute (2008)

ANNEXE C SÉLECTION DES ACTIVITÉS

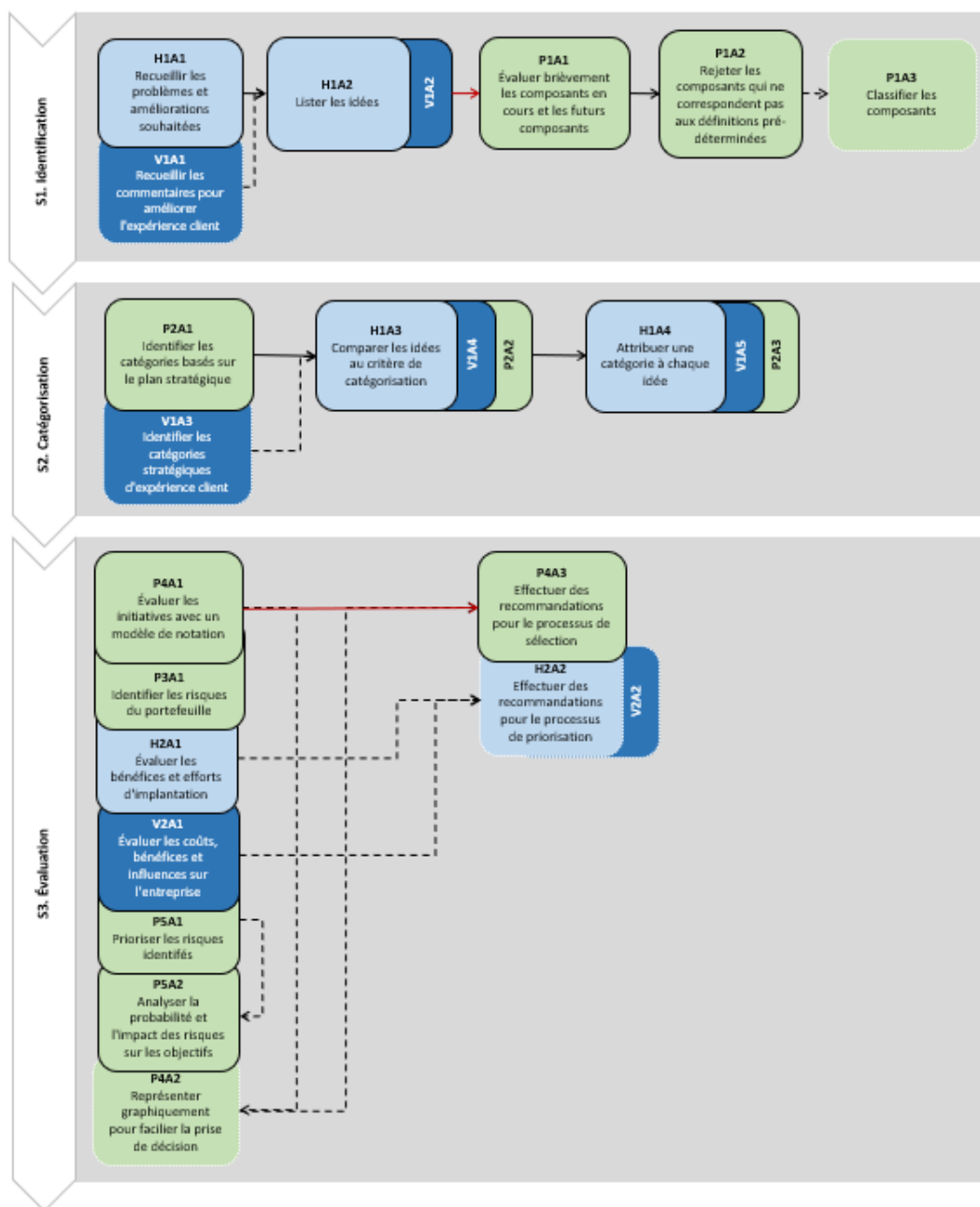


Figure C.1 Sélection des activités

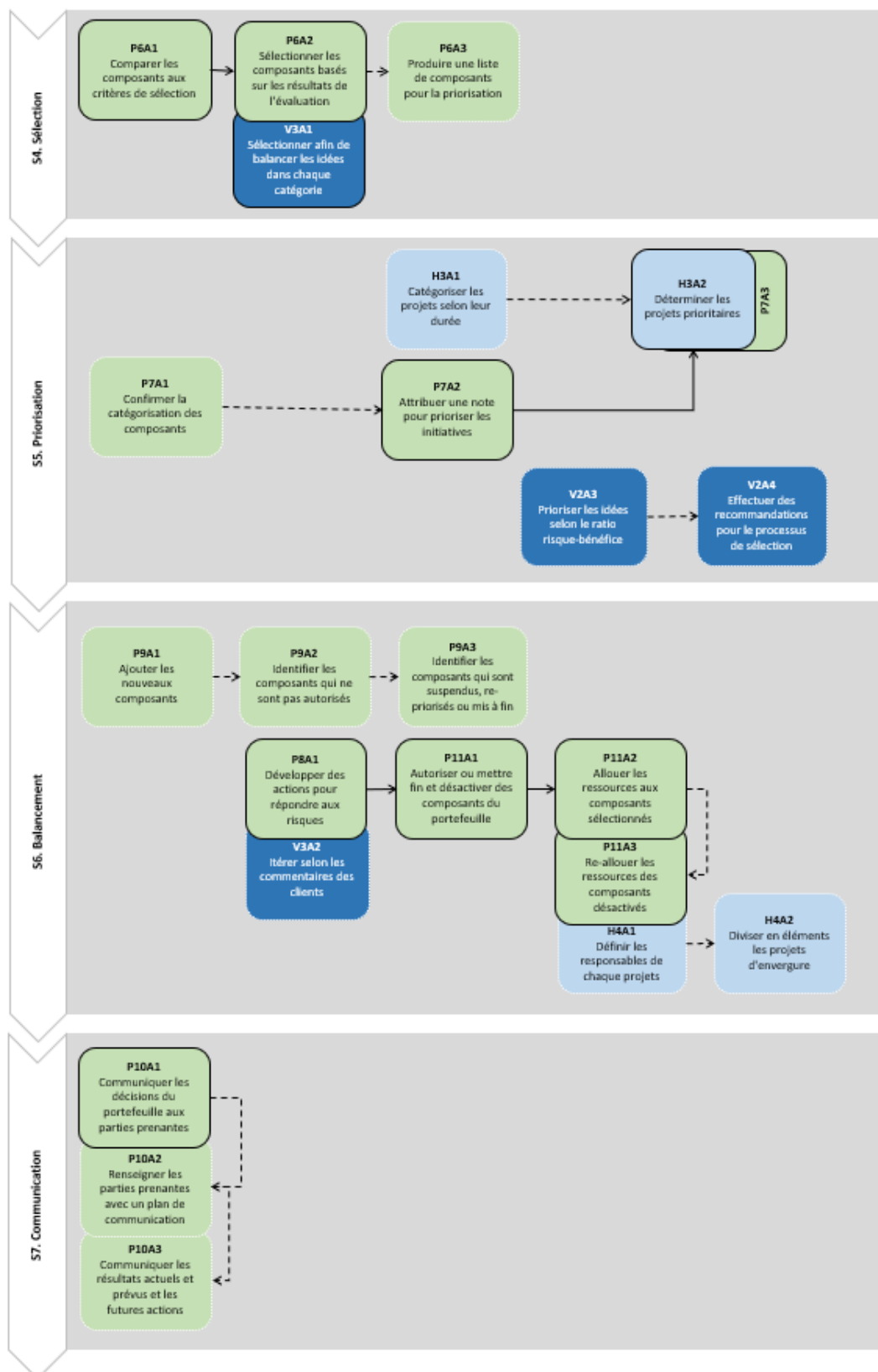


Figure C.1 Sélection des activités (suite et fin)

Légende :

Case avec contour noir : Activité sélectionnée

Case avec contour blanc : Activité éliminée

Case superposée horizontalement : Répétition de l'activité

Case superposée verticalement : Similitude de l'activité

Flèche noire pleine : Flux sélectionné

Flèche rouge pleine : Flux modifié et sélectionné

Flèche noire pointillée : Flux éliminé

Codification :

HnAn : Activités de Heberle et al. (2017), lié à un processus

VnAn : Activités de Von Leipzig et al. (2017), lié à un processus

PnAn : Activités de Project Management Institute (2008), lié à un processus

ANNEXE D SÉLECTION DES TECHNIQUES

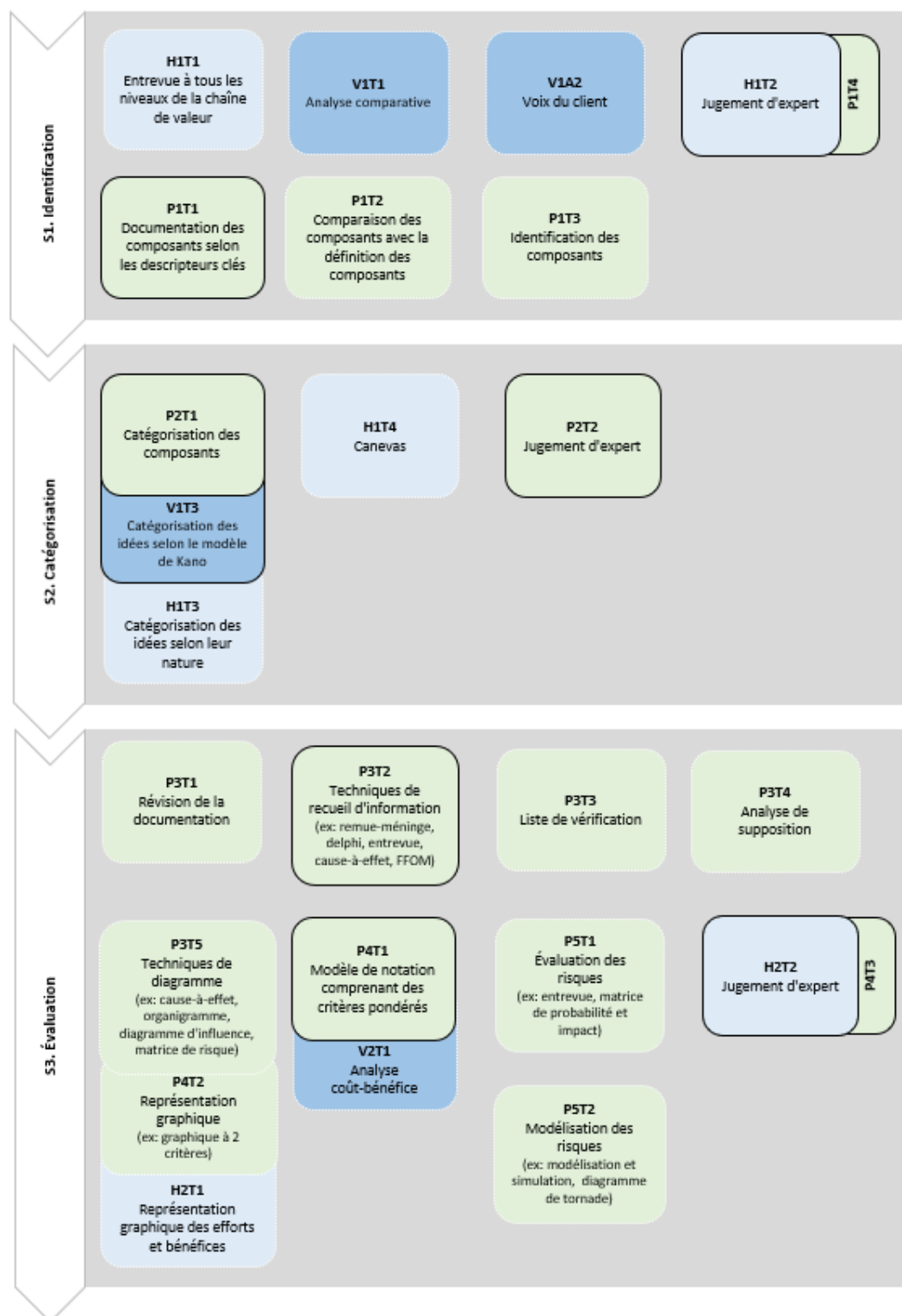


Figure D.1 Sélection des techniques

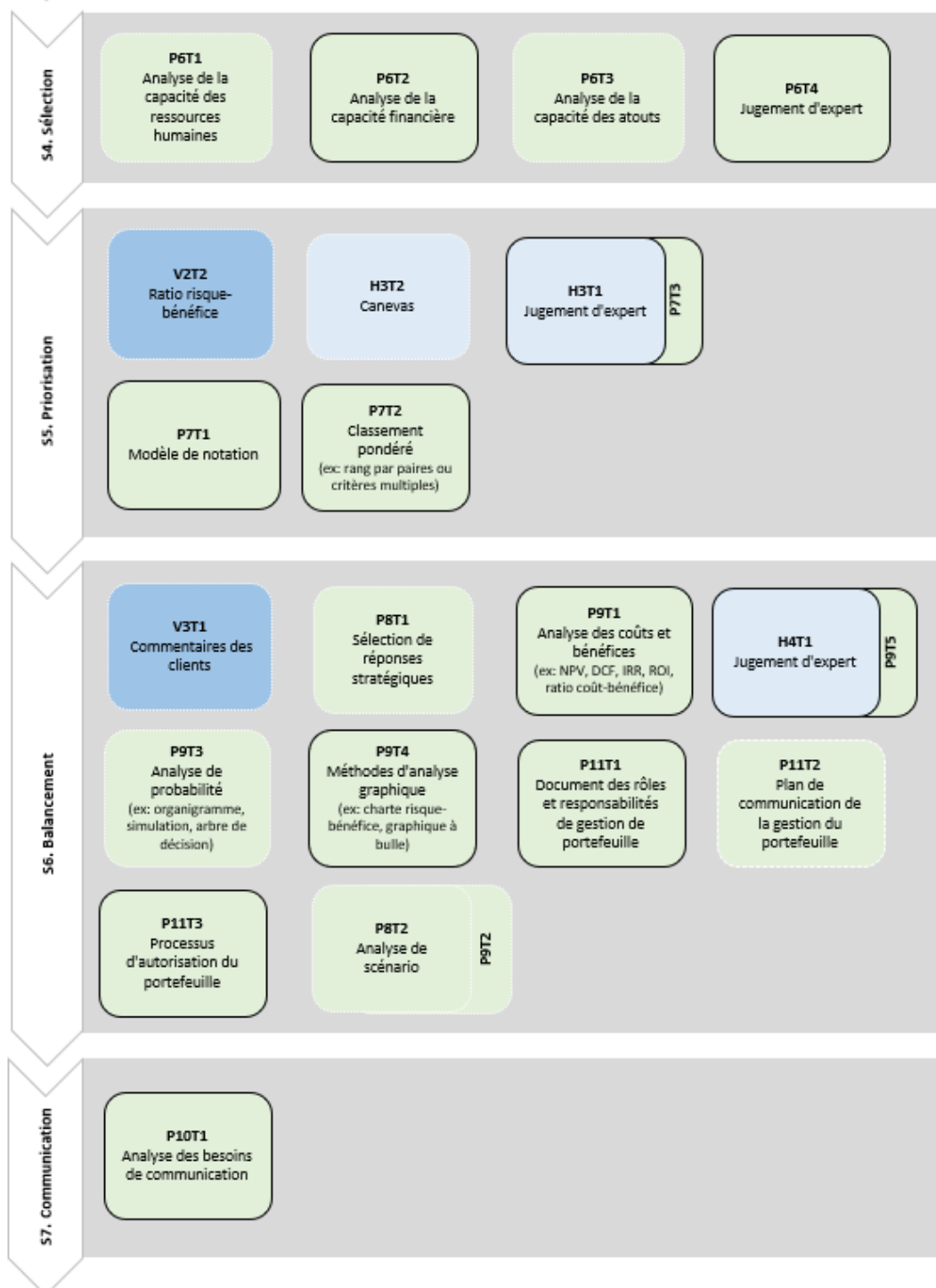


Figure D.1 Sélection des techniques (suite et fin)

Légende :

Case avec contour noir : Technique sélectionnée

Case avec contour blanc : Technique éliminée

Case superposée horizontalement : Répétition de la technique

Case superposée verticalement : Similitude de la technique

Codification :

HnAn : Techniques de Heberle et al. (2017), lié à un processus

VnAn: Techniques de Von Leipzig et al. (2017), lié à un processus

PnAn : Techniques de Project Management Institute (2008), lié à un processus

ANNEXE E PROCESSUS, ACTIVITÉS, TECHNIQUES, INTRANTS ET EXTRANTS DE LA MÉTHODE

Tableau E.1 Processus, activités, techniques, intrants et extrants de la méthode

Processus		Intrant		Activité		Rôle		Technique		Extrant		
S1	Identifier les composants	SI1	Analyse des processus	S1A1	Recueillir les problèmes et améliorations souhaitées	SR1	Directeur des opérations	S1T1	Technique de recueil d'information	SEI1	Liste de problèmes	
										SEI2	Liste d'améliorations souhaitées	
								S1T2	Diagramme d'arborescence	SEI3	Causes fondamentales des problèmes	
		SEI1	Liste de problèmes	S1A2	Identifier les futures initiatives	SR1	Directeur des opérations	S1T2	Diagramme d'arborescence	SEI4	Liste de proposition de projets	
		SEI2	Liste d'améliorations souhaitées					S1T3	Jugement d'expert			
		SEI3	Causes fondamentales des problèmes									
		SEI4	Liste de proposition de projets	S1A3	Lister les initiatives et identifier leurs informations clés	SR1	Directeur des opérations	S1T4	Documentation des composants selon les descripteurs clés	SEI5	Description des projets proposés	
		SI2	Éléments clés d'un composant					S1T3				Jugement d'expert
		SI3	Liste des projets en cours	S1A4	Recueillir les informations clés sur les projets en cours	SR1	Directeur des opérations	S1T4	Documentation des composants selon les descripteurs clés	SEI6	Description des projets en cours	
		SI2	Éléments clés d'un composant					S1T3				Jugement d'expert

Tableau E.1 Processus, activités, techniques, intrants et extrants de la méthode (suite)

Processus		Intrant		Activité		Rôle		Technique		Extrant	
S1 (suite)	Identifier les composants (suite)	SEI5	Description des projets proposés	S1A5	Évaluer brièvement les projets en cours et les futurs projets	SR1	Directeur des opérations	S1T5	Cartographie des initiatives et objectifs	SEI7	Liste des projets évalués brièvement
		SEI6	Description des projets en cours					S1T3	Jugement d'expert		
		SI4	Objectifs								
		SI5	Budget								
		SEI7	Liste des projets évalués brièvement	S1A6	Rejeter les projets qui ne sont pas liés aux objectifs et/ou infaisable	SR1	Directeur des opérations	S1T3	Jugement d'expert	SEI8	Liste des projets retenus
		SEI5	Description des projets proposés							SEI9	Description clés des projets
		SEI6	Description des projets en cours							SE1	Liste de projets rejetés
S2	Catégoriser les composants	SI4	Objectifs	S2A1	Identifier les catégories basées sur le plan stratégique	SR2	Directeur général	S2T1	Catégorisation stratégique des composants	SEI10	Définition des catégories stratégiques
		SEI9	Description clés des projets								
		SEI9	Description clés des projets	S2A2	Comparer les projets au critère de catégorisation et attribuer une catégorie à chaque projet	SR1	Directeur des opérations	S2T2	Jugement d'expert	SEI11	Liste des projets catégorisés
		SEI10	Définition des catégories stratégiques								
S3	Évaluer les composants	SEI11	Liste des projets catégorisés	S3A1	Évaluer les éléments stratégiques des projets	SR1	Directeur des opérations	S3T1	Techniques de recueil d'information	SEI12	Projets évalués
		SI6	Éléments stratégiques à évaluer					S3T2	Grille d'évaluation à multicritères pondérés		
								S3T3	Jugement d'expert		

Tableau E.1 Processus, activités, intrants et extrants de la méthode (suite et fin)

Processus		Intrant		Activité		Rôle		Technique		Extrant	
S5 (suite)	Balancer le portefeuille (suite)	SEI20	Mise à jour du portefeuille	S5A3	Autoriser ou mettre fin et désactiver des projets du portefeuille	SR2	Directeur général	S5T5	Processus d'autorisation du portefeuille	SEI22	Projets autorisés
		SEI21	Résultats prévus du portefeuille mis à jour					S5T3	Jugement d'expert	SE3	Projets désactivés
		SEI22	Projets autorisés	S5A4	Allouer les ressources aux projets sélectionnés	SR1	Directeur des opérations	S5T6	Document des rôles et responsabilités de gestion de portefeuille	SEI23	Plan d'implantation du portefeuille
		SI5	Budget							SEI24	Allocation des ressources
		SI8	Ressource humaines								
		SI4	Objectifs								
S6	Communiquer l'ajustement du portefeuille	SEI23	Plan d'implantation du portefeuille	S6A1	Communiquer les décisions du portefeuille aux parties prenantes	SR1	Directeur des opérations	S6T1	Analyse des besoins de communication	SEI25	Plan de communication
		SEI24	Allocation des ressources							SE4	Communication aux parties prenantes
		SEI21	Résultats prévus du portefeuille mis à jour								
		SI9	Parties prenantes								
		SI10	Critères de communication								

Légende :

Noir : Élément résultant de la combinaison des quatre méthodes

Bleu : Élément modifié suite à l'analyse au sein de ce tableau

Codification :

Sn : Processus de la méthode proposée

SIn : Intrant de la méthode proposée

SEn : Extrant de la méthode proposée

SEIn : Extrant se transformant en intrant de la méthode proposée

SnAn : Activité de la méthode proposée, liée à un processus

SRn : Rôle de la méthode proposée

SnTn : Technique de la méthode proposée, liée à un processus

ANNEXE F DIAGRAMME D'INTERRELATIONS DES INTRANTS ET DES EXTRANTS

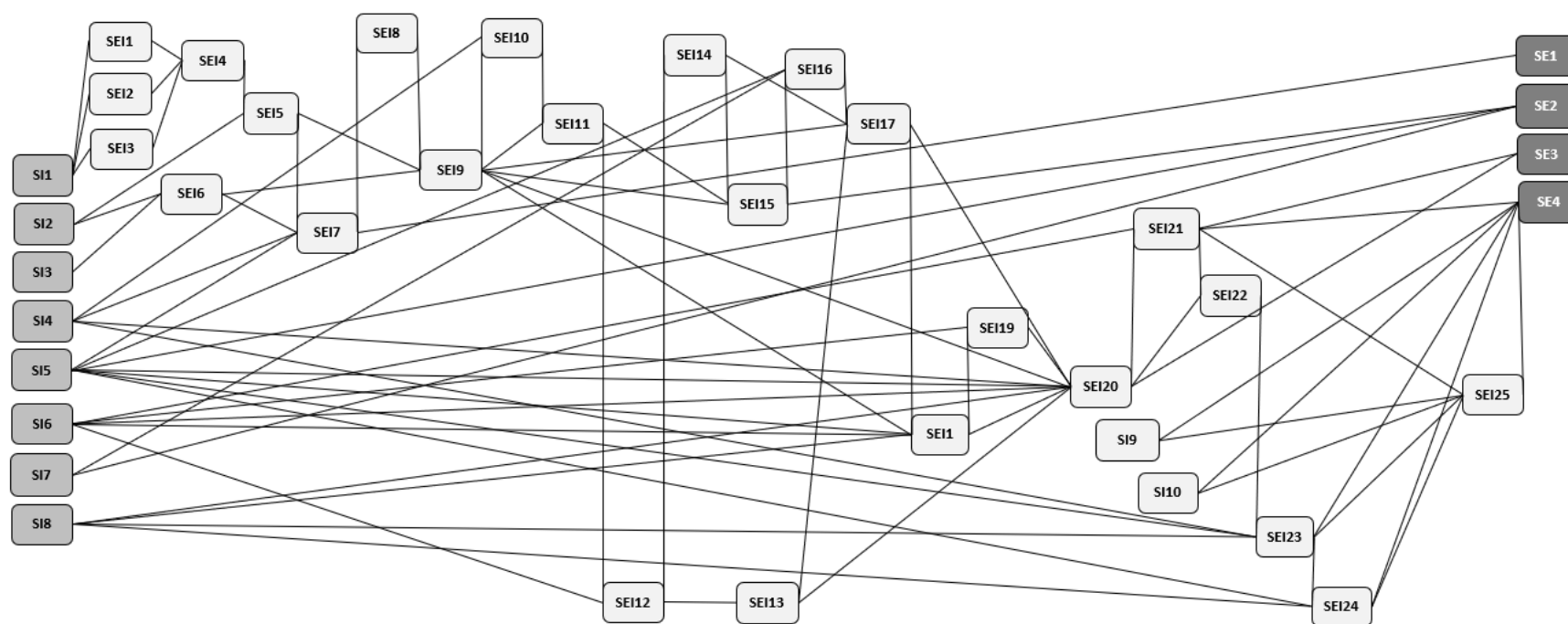


Figure F.1 Diagramme d'interrelations des intrants et extrants

Codification :

Basée sur les intrants et extrants exposés dans le tableau de l'Annexe E